

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:

Simon Mrak

Večkriterijska analiza za malo hidroelektrarno Kokra

Diplomska naloga št.: 148

Mentor:
prof. dr. Franc Steinman

Somentor:
asist. mag. Sašo Šantl

Ljubljana, 2010

ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU DELA

Podpisani Simon Mrak izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:

Večkriterijska analiza za mHE Kokra.

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

Ljubljana, 21. 9. 2010

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji študija Vodarstva in komunalnega inženirstva:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 004:627.8(043.2)
Avtor: Simon Mrak
Mentor: prof. dr. Franci Steinman
Somentor: asist. mag. Sašo Šantl
Naslov: Večkriterijska analiza za mHE Kokra
Obseg in oprema:
Ključne besede: Večkriterijska analiza, hidroelektrarna, obnovljivi viri energije

Izvodček

Zaradi tehnološkega razvoja si danes življenja ne moremo več predstavljati brez električne energije. Pričakovanemu trendu rasti njene porabe sledi Direktiva 2009/28/ES, z zahtevo po povečanju deleža električne energije, proizvedene iz obnovljivih virov energije. Rabo vodotokov kot pomembnega vira obnovljive energije omejuje Vodna direktiva 2000/60/ES, ki zahteva dobro ekološko stanje vodotokov. Izdelava večkriterijske analize za malo hidroelektrarno (mHE) Kokra, temelji na določitvi optimalnega posega v prostor, ki bi zadostil tako Direktivi 2009/28/ES kot 2000/60/ES.

Pred izdelavo večkriterijske analize za mHE Kokra sem podal opis mHE, analizo pretokov Kokre ter pregled zakonodaje, ki obravnava umestitev mHE v prostor. Predstavil sem uporabljene programe ter izdelal idejno zasnovo mHE Kokra. V idejni zasnovi sem opisal objekte, ki sestavljajo mHE Kokra, ter nekatere izmed njih dimenzioniral. S programom Epanet 2.0 sem vzpostavil enostaven hidravlični model za preveritev izgub, ki nastanejo v cevovodu. S programom Smart Mini-Idro sem izvedel finančno analizo investicije.

Večkriterijsko analizo za mHE Kokra sem izvedel s programskim orodjem Sesamo. Analiziral sem umestitev različnih variant idejne zasnove mHE Kokra v prostor. Glavna kriterija sta okoljski cilji in proizvodnja električne energije. Njima podrejenim indikatorjem sem določil vzročne faktorje in povezave ter relativno pomembnost. Z večkriterijsko analizo za mHE sem ugotovil, da je poseg v prostor, upravičen tako iz okoljskega kot energetskega vidika. S tem sem utemeljil pobudo za spremembo Občinskega prostorskega načrta in realizacijo nameravanega posega v prostor.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 004:627.8(043.2)
Author: Simon Mrak
Supervisor: Prof. Ph. D. Franci Steinman
Cosupervisor: Assistant M. Sc. Sašo Šantl
Title: Multicriteria analysis for SHP Kokra
Notes:
Key words: Multicriterion analysis, hydropower plant, renewable energy sources

Abstract

Cause of technological development, today's life can no longer be imagined without electricity. The expected trend of electricity consumption growth follows Directive 2009/28/EC with the requirement for increasing the share of electricity, produced from renewable energy sources. Exploitation of rivers as an important source of renewable energy source is limited with the Directive 2000/60/EC, which requires good ecological status of rivers. Execution of multicriteria analysis for SHP Kokra is based on determining the optimal intervention in the area that meet both Directive 2009/28/EC and 2000/60/EC.

A description of SHP Kokra, analysis of flows and review of legislation on SHP sphere was given before the establishment of multicriteria analysis for SHP Kokra,. The programs that had been used are described and the conceptual design, which compounds a SHP Kokra, were made. With Epanet 2.0 software were created a simple hydraulic model to verify the losses incurred in the pipeline. The financial analysis of investment was carried out with Smart Mini-Idro software.

Multicriteria analysis for mHE Kokra has been implemented with Sesamo software. We analyzed the placement of the various variants of conceptual design of SHP Kokra idea in space. The main criterions were environmental criterions and the production of electricity. For them we defined a causal factors, causal relationship relative importance. The multicriteria analysis of SHP Kokra established optimal intervention in the area, benefiting both from an environmental and energy point of view. This represents the grounded initiative to amend the municipal spatial plan and the realization of the proposed intervention.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Franciju Steinmanu ter somentorjema Sašu Šantlu in Danielu Kozelju za strokovno pomoč, usmerjanje in prijaznost pri nastajanju diplomske naloge.

Posebna zahvala gre družini, ker mi je omogočila izobraževanje ter me podpirala med študijem. Zahvala gre tudi Mateji, za njeno vzpodbujanje med študijem.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Pregled področja malih hidroelektrarn.....	2
1.1.1	Male hidroelektrarne na globalni ravni	2
1.1.2	Male hidroelektrarne v Evropski Uniji in Sloveniji	3
2	TEORETIČNA IZHODIŠČA	7
2.1	Opis mHE	7
2.1.1	Zgodovina izrabe vodne energije	7
2.1.2	Princip delovanja mHE.....	9
2.1.3	Osnovni elementi hidroelektrarne	10
2.1.3.1	Jez.....	10
2.1.3.2	Zajetje.....	12
2.1.3.3	Usedalnik.....	13
2.1.3.4	Dovodni kanal	15
2.1.3.5	Razbremenilnik	17
2.1.3.6	Turbina	18
2.1.3.7	Iztok.....	19
2.1.3.8	Objekt za migracijo ribjih populacij.....	19
2.1.3.9	Električni generator	19
2.1.3.10	Transformator in električna napeljava.....	20
2.1.4	Vrste in velikosti HE	21
2.2	Umestitev male hidroelektrarne v prostor – postopek in predpisi	21
2.2.1	Postopek	23
2.2.1.1	Umestitev predvidene mHE v prostorski akt	23
2.2.1.2	Koncesija za rabo vode za mHE	24
2.2.1.3	Gradnja mHE.....	26
2.2.1.4	Obratovanje mHE.....	27
2.2.2	Predpisi	29
2.2.2.1	Vodna direktiva 2000/60/ES	29

2.2.2.1.1	Vodna direktiva 2000/60/ES: umetna in močno preoblikovana vodna telesa.....	30
2.2.2.1.2	Vodna direktiva 2000/60/ES: hidromorfološke obremenitve	31
2.2.2.1.3	Vodna direktiva 2000/60/ES: ekonomska analiza rabe vode.....	31
2.2.2.1.4	Vodna direktiva 2000/60/ES: ocena stroškovno učinkovitih ukrepov.....	31
2.2.2.1.5	Vodna direktiva 2000/60/ES: varovana območja	31
2.2.2.2	Uredba o posebnih varstvenih območjih.....	32
2.2.2.3	Uredba o kriterijih za določitev ter način spremljanja in poročanja o ekološko sprejemljivem pretoku	34
2.2.2.4	Začasni načrt upravljanja voda.....	37
2.2.2.4.1	Začasni načrt upravljanja voda: tipi vodnih teles vodotokov	37
2.2.2.4.2	Začasni načrt upravljanja voda: hidromorfološke obremenitve vodotokov.	38
2.2.2.4.3	Začasni načrt upravljanja voda: območja s posebnimi zahtevami.....	42
2.2.2.4.4	Začasni načrt upravljanja voda: ekonomsko vrednotenje rabe vode ali naplavin in varstva ter urejanja voda	43
2.2.2.5	Direktiva o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov, spremembi in poznejši razveljavitvi direktiv 2001/77/ES in 2003/30/ES – Direktiva 2009/28/ES	44
2.2.2.6	Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije	46
2.2.2.7	Akcijski načrt za obnovljive vire energije (AN OVE).....	47
2.3	Večkriterijska analiza	50
2.3.1	Elementi večkriterijske analize.....	53
2.3.1.1	Variante	53
2.3.1.2	Vzročni faktorji	53
2.3.1.3	Kriteriji	54
2.3.1.4	Normalizacija	54
2.3.1.5	Tehtanje indikatorjev in kriterijev	55
2.3.1.6	Občutljivostna analiza	55
2.3.2	Opis orodij	55
2.3.2.1	SESAMO.....	55

2.3.2.2	Smart Mini-Iydro.....	56
2.3.2.2.1	Modul pretok.....	57
2.3.2.2.2	Modul turbina.....	57
2.3.2.2.3	Modul energija.....	58
2.3.2.2.4	Modul stroški.....	58
2.3.2.2.5	Modul finančna analiza.....	58
2.3.2.3	EPANET 2.0.....	58
3	UMESTITEV mHE KOKRA V PROSTOR IN IDEJNA ZASNOVA	60
3.1	Porečje reke Kokre.....	60
3.1.1	Geološke značilnosti območja predvidene mHE Kokra.....	60
3.1.2	Pedološke značilnosti območja predvidene mHE Kokra	61
3.1.3	Hidrološke lastnosti območja predvidene mHE Kokra	61
3.1.4	Meteorološki podatki za povodje Kokre	62
3.1.5	Hidromorfološke lastnosti območja predvidene mHE Kokra	63
3.1.6	Erozijski procesi na območju predvidene mHE Kokra	64
3.1.7	Prodnosnost reke Kokre	64
3.1.8	Biološke značilnosti območja predvidene mHE Kokra.....	64
3.1.9	Ihtiofavna in vodni biotopi na območju predvidene mHE Kokra	65
3.1.10	Dejavnosti v povodju Kokre.....	65
3.2	Umestitev mHE Kokra v prostor	67
3.2.1	Lokacija odvzema.....	68
3.2.1.1	Lokacija odvzema vode.....	68
3.2.1.2	Odsek med odvzemom vode in izpustom	70
3.2.1.3	Lokacija strojnice in izpusta.....	70
3.2.1.4	Kamninska osnova	71
3.2.2	Obstoječe mHE na Kokri in vodna bilanca Kokre	72
3.3	Idejna zasnova mHE Kokra	73
3.3.1	Analiza pretokov.....	73
3.3.1.1	Ekološko sprejemljivi pretok Qes	77
3.3.1.2	Energetski potencial	78

3.3.2	Moč vodotoka in mHE	78
3.3.3	Izbira turbine.....	79
3.3.4	Predvidena letna proizvodnja energije	80
3.3.5	Ekonomska analiza predvidene mHE Kokra.....	84
3.3.5.1.1	Pričakovana proizvodnja in prodaja.....	84
3.3.5.1.2	Tehnično-tehnološki vidik investicije.....	85
3.3.5.2	Rekapitulacija investicije	87
3.3.6	Objekti mHE.....	90
3.3.6.1	Zajetje.....	90
3.3.6.1.1	Jez.....	91
3.3.6.1.2	Usedalnik	91
3.3.6.2	Dovodni kanal	92
3.3.6.3	Strojnica	93
3.3.6.4	Iztočni kanal	93
3.3.6.5	Ribja steza	93
3.3.7	Izdelava hidravličnega modela mHE Kokra s programom EPANET 2.0.....	94
4	OBDELAVE IN ANALIZE.....	97
4.1	Izdelava večkriterijske analize za mHE Kokra.....	97
4.1.1	Identifikacija ciljev in deležnikov	97
4.1.2	Identifikacija variant.....	97
4.1.3	Identifikacija kriterijev in indikatorjev ter njihova normalizacija.....	98
4.1.3.1	Normalizacija podatkov	98
4.1.3.2	Indikator: sezonsko povprečje nivoja onesnaženosti z makrodeskriptorji	101
4.1.3.3	Indikator: ribja favna.....	102
4.1.3.4	Indikator: bentoški makroinvertebrati.....	104
4.1.3.5	Indikator: makrofiti	107
4.1.3.6	Indikator: fitobentos	109
4.1.3.7	Indikator: obrežna vegetacija	111
4.1.3.8	Indikator: ptice	113
4.1.3.9	Indikator: rečna kontinuiteta	115

4.1.3.10	Indikator: odtočni režim	116
4.1.3.11	Indikator: morfološko stanje	118
4.1.3.12	Letna proizvodnja električne energije	119
4.1.4	Določitev pomembnosti indikatorjev	120
4.2	Rezultati večkriterijske analize za mHE Kokra	120
4.2.1	Večkriterijska analiza za mHE Kokra I.....	122
4.2.2	Večkriterijska analiza za mHE Kokra II.....	130
5	ZAKLJUČEK.....	137
VIRI		140

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Srednji mesečni pretoki	75
Preglednica 2: Analiza dnevnih pretokov za povprečno, mokro in sušno leto, na vodomerni postaji Kokra I.....	75
Preglednica 3: Minimalni, maksimalni in srednji mesečni pretoki v obdobju od 1926 do 2008	76
Preglednica 4: Količina proizvodnje električne energije v enem letu	84
Preglednica 5: Poslovni prihodek iz naslova prodaje električne energije po posameznih letih	85
Preglednica 6: Vrednost opreme za mhe Kokra	86
Preglednica 7: Vrednost gradbenih del.....	86
Preglednica 8: Stroški materiala	86
Preglednica 9: Stroški	87
Preglednica 10: Rekapitulacija investicije.....	87
Preglednica 11: Povprečne količine predvidene odvzete vode v določenem letnem obdobju	106
Preglednica 12: Delež rezidualnega pretoka	117

KAZALO SLIK

Slika 1: Jez ob nekdanjem mlinu na Ilovki.....	11
Slika 2: Umestitev večkriterijske analize za mHE v postopek pridobivanja gradbenega dovoljenja	52
Slika 3: Lokacija predvidene mHE Kokra (Atlas Slovenije)	67
Slika 4: Prikaz različnih variant lokacije odvzemnega mesta	68
Slika 5: Odvzemno mesto: pogled proti odvzemnemu mestu gorvodno.....	68
Slika 6: Odvzemno mesto: pogled od odvzemnega mesta dolvodno	68
Slika 7: mHE Virnik.....	69
Slika 8: Kokra pred dovodnim kanalom na mHE Virnik	69
Slika 9: Jez Virnik (Mrak, 2010).....	69
Slika 10: Dovodni kanal na mHE Virnik	69
Slika 11: Izpust mHE Virnik	69
Slika 12: Izpust mHE Virnik: pogled gorvodno za izpustom.....	69
Slika 13: Dolina Kokre, odsek med odvzemom in izpustom	70
Slika 14: Škrbina 1142 m.n.v.	70
Slika 15: Predvidena lokacija strojnice – pogled proti Čemšeniškemu potoku	70
Slika 16: Predvidena lokacija strojnice –pogled gorvodno iz parkirišča ob glavni cesti	70
Slika 17: Čemšeniški potok	71
Slika 18: Predvidena lokacija strojnice, pogled proti Kokri gorvodno	71
Slika 19: Predvidena lokacija strojnice (iztok), pogled proti Kokri dolvodno.....	71
Slika 20: Kamninska sestava na mestu odvzema	71
Slika 21: Kamninska sestava na mestu strojnice	72
Slika 22: Kameninska sestava hribine pod Škrbino	72
Slika 23: Povprečni dnevni pretoki na vodomerni postaji Kokra I	74
Slika 24: Povprečni mesečni pretoki na vodomerni postaji Kokra I.....	74
Slika 25: Povprečni letni pretoki na vodomerni postaji Kokra I.....	74
Slika 26: Srednji dnevni pretoki in krivulja trajanja pretokov za sušno in mokro leto na vodomerni postaji Kokra I.....	75

Slika 27: Minimalni, srednji in maksimalni mesečni pretoki v obdobju od 1926 do 2008 na vodomerni postaji Kokra I.....	76
Slika 28: Linijske in lokalne izgube v cevovodu, neto višinska razlika (padec) ter premer dovodne cevi.....	79
Slika 29: Krivulja učinkovitosti Francisove turbine.....	80
Slika 30: Določitev krivulje trajanja za mHE Kokra, s programom Smart Mini-Idro.	81
Slika 31: Izračun neto krivulje trajanja za mHE Kokra, s programom Smart Mini-Idro.	81
Slika 32: Izračun inštaliranega pretoka (ital. portata derivata) in krivulji neto in instaliranega pretoka za mHE Kokra, s programom Smart Mini-Idro.	82
Slika 33: Krivulja izkoriščenosti vodotoka in odvzete vode	82
Slika 34: Karakteristike turbine.....	83
Slika 35: Krivulja trajanja pretokov in proizvodnje električne energije	84
Slika 36: Stroški investicije	88
Slika 37: Finančna analiza.....	88
Slika 38: Porazdelitev dobička in stroškov.....	89
Slika 39: Vsota denarnih tokov	89
Slika 40: Model mHE Kokra – EPANET 2.0.....	95
Slika 41: Analiza modela mHE Kokra s programom EPANET 2.0.....	95
Slika 42: Struktura drevesa za odločanje s prikazanimi kriteriji, indikatorji in variantami ...	100
Slika 43: Evalvacijska matrika	100
Slika 44: Vzročna povezava med LIM indeksom in rezidualnim pretokom.....	102
Slika 45: Oblika uporabne funkcije za indikator makrodeskriptorji	102
Slika 46: Oblika uporabne funkcije za indikator ribja favna.....	103
Slika 47: Zveza med Qres in indikatorjem ribja favna.....	104
Slika 48: Oblika UF za indikator bentoški makroinvertebrati.....	105
Slika 49: Zveza med Qres in indikatorjem bentoški makroinvertebrati.....	107
Slika 50: Oblika uporabne funkcije za indikator makrofiti	108
Slika 51: Zveza med Qres in indikatorjem makrofiti	108
Slika 52: Oblika uporabne funkcije za indikator fitobentos	110
Slika 53: Zveza med Qres in indikatorjem makrofiti	110
Slika 54: Oblika uporabne funkcije za indikator obrežna vegetacija	112
Slika 55: Zveza med Qres in indikatorjem obrežna vegetacija	112

Slika 56: Oblika uporabne funkcije za indikator ptice	114
Slika 57: Zveza med Qres in indikatorjem ptice	114
Slika 58: Oblika uporabne funkcije za indikator rečna kontinuiteta	115
Slika 59: Zveza med Qres in indikatorjem ptice	116
Slika 60: Oblika uporabne funkcije za indikator hidrološki režim.....	117
Slika 61: Oblika uporabne funkcije za indikator morfološko stanje	118
Slika 62: Zveza med Qres in indikatorjem morfološko stanje	118
Slika 63: Oblika uporabne funkcije za indikator proizvodnja električne energije	119
Slika 64: CF za indikator letne proizvodnje električne energije	119
Slika 65: Odločitveno drevo v programskem okolju Sesamo	121
Slika 66: Evalvacijska matrika	122
Slika 67: Normalizirana matrika.....	122
Slika 68: Utežena matrika.....	122
Slika 69: Primerjava variant	122
Slika 70: Primerjava indikatorjev – stolpični grafikon.....	123
Slika 71: Primerjava indikatorjev – radarski grafikon	124
Slika 72: Primerjava variant z zmagovalno varianto.....	125
Slika 73: Občutljivostna analiza I – osnovni pogled	125
Slika 74: Stabilnostna analiza.....	126
Slika 75: Občutljivostna analiza I – primerjanje različnih variant	126
Slika 76: Občutljivostna analiza I – primerjanje različnih variant	127
Slika 77: Občutljivostna analiza I – primerjanje različnih variant	129
Slika 78: Občutljivostna analiza I – primerjanje različnih variant	129
Slika 79: Evalvacijska matrika	131
Slika 80: Normalizirana matrika.....	131
Slika 81: Utežena matrika.....	131
Slika 82: Občutljivostna analiza II – primerjanje različnih variant.....	131
Slika 83: Občutljivostna analiza II – primerjanje različnih variant.....	132
Slika 84: Občutljivostna analiza II – primerjanje različnih variant.....	133
Slika 85: Občutljivostna analiza II – primerjanje različnih variant.....	134
Slika 86: Občutljivostna analiza II – primerjanje različnih variant.....	135
Slika 87: Občutljivostna analiza II – primerjanje različnih variant.....	135

1 UVOD

Poraba električne energije se v Sloveniji in v svetu, kljub prizadevanju o varčevanju ter učinkoviti rabi, veča. Povečano povpraševanje po električni energiji lahko zadostimo le z dodatnimi kapacitetami proizvedene električne energije. Ob zaostrenih okoljevarstvenih zahtevah, obvezi o izpolnjevanju določil Kjotskega protokola o zmanjšanju izpustov toplogrednih plinov ter vse bolj aktualnih klimatskih spremembah, postaja izgradnja novih elektrarn, ki bi izkoriščale obnovljive vire energije (v nadaljevanju OVE), vse bolj primerna rešitev. Dejstvo pa je, da iz finančnega vidika elektrarne, ki uporabljajo OVE, niso vedno najboljše rešitev, saj so ob visokih investicijskih stroških, prihodki od prodane proizvedene količine električne energije premajhni za rentabilnost investicije. Ustrezna rešitev, iz okoljskega in finančnega vidika, je postavitve malih hidroelektrarn (v nadaljevanju mHE), vendar le na območjih z zadostnim energetskega potencialom. Ena izmed takšnih mHE je mHE Kokra.

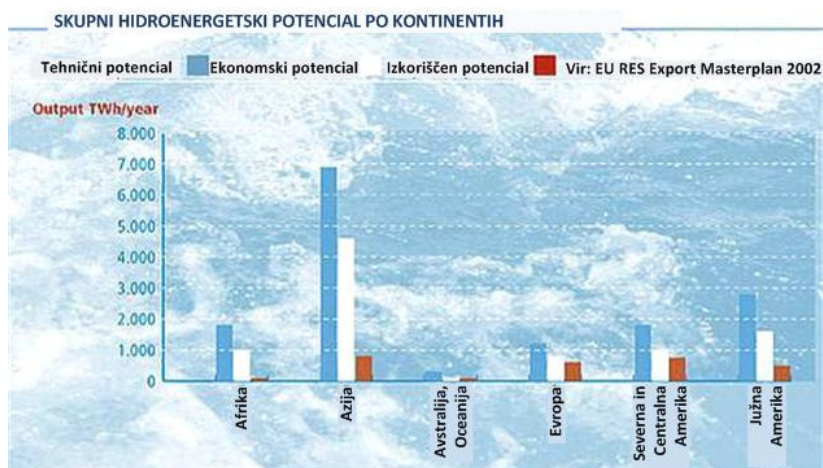
Namen diplomskega dela je prikazati proces izgradnje mHE Kokra ter metodo za hkratno odločanje po več kriterijih. Za praktičen primer večkriterijske analize bom uporabil predhodno izdelano idejno zasnovo mHE Kokra. Cilj diplomske naloge je analiza posega v prostor (gradnje mHE Kokra), s pomočjo večkriterijskega odločitvenega procesa ter določitev njegovega optimalnega načina. Opisal bom metodologijo dela ter predstavil uporabljeno računalniško programsko opremo EPANET 2.0, SESAMO in Smart Mini-Idro. Teza diplomskega dela je, da je problem izbire najprimernejšega posega v prostor, možno reševati s pomočjo večkriterijske analize. Model za večkriterijsko odločanje je primeren takrat, kadar imamo množico kriterijev, ki so med seboj pogosto v konfliktu, kompleksnost in pomembnost odločitve pa je tako velika, da nam intuitivno odločanje ne zadošča. Pri načinu odločanja po več kriterijih hkrati, se izbira med različnimi variantami in izbere tisto, ki najbolj ustreza danim kriterijem in zastavljenemu cilju. Rešitev lahko bistveno pripomore k lažji in boljši odločitvi o izboru najprimernejše lokacije mHE. Takšno odločanje predstavlja celovit način reševanja problema, saj skušamo v odločitvenem modelu zajeti vse bistvene indikatorje, kriterije in variante.

Implementacijo večkriterijske analize bom izvedel z uporabo računalniškega programa SESAMO. Za seznanitev z območjem predvidenega posega bo opisano porečje Kokre. Prikazal bom postopek umestitve nameravane gradnje v prostor ter opisal predpise, ki jih je pri tem treba upoštevati. V idejni zasnovi bodo opisani objekti mHE Kokra ter glavni parametri, ki jih določajo. MHE Kokra sestavljajo zajetje z jezom, odzemnim mestom, usedalnikom in ribjo stezo, dovodni tlačni cevovod, turbina, agregat ter transformator v strojnici in iztočni del, z urejenim iztokom vode v vodotok Kokra. Z večkriterijsko analizo mHE Kokra bo določen optimalen poseg v prostor, ki bo v skladu z Direktivo 2000/60/ES in Direktivo 2009/28/ES. Služil bo lahko kot utemeljena pobuda za spremembo prostorskega načrta občine, s čimer bo izpolnjen pogoj za vlogo, za podelitev koncesije za rabo vodotoka, za proizvodnjo električne energije.

1.1 Pregled področja malih hidroelektrarn

1.1.1 Male hidroelektrarne na globalni ravni

Raba vodne energije je drugi najbolj uporabljen OVE na svetu. Energija proizvedena v mHE predstavlja 16,6 % proizvedene električne energije na svetovnem trgu in 92 % obnovljive električne energije. Evropska Komisija, ESHA (European Small Hydropower Association) in UNIPEDA (International Union of Producers and Distributors of Electricity) so za opredelitev mHE uveljavili splošno sprejemljivo vrednost, zmogljivost do 10 MW. Vodilna celina na področju proizvodnje hidro električne energije postaja Azija, vodilna država pa Kitajska. Razvoj v Avstraliji in Novi Zelandiji je osredotočen na mHE, na bolj odmaknjenih predelih, za zamenjavo dragih dizelskih generatorjev. Trgi Južne Amerike, nekdanje Sovjetske zveze in Afrike imajo velik neizkoriščen energetskega potencial. Svetovni svet za energijo (The World Energy Council), ocenjuje, da bi instalirane kapacitete mHE lahko narasle do 55 GW. Leta 2000 so svetovne instalirane kapacitete znašale približno 37 GW (ESHA: mHE na globalni ravni, 2010).



Skupni potencial hidro energije glede na kontinent (ESHA: mHE na globalni ravni, 2010).

1.1.2 Male hidroelektrarne v Evropski Uniji in Sloveniji

Hidroelektrarne v Evropi predstavljajo 80 % električne energije proizvedene iz OVE in 19 % celotne proizvedene električne energije. Proizvodnja električne energije iz mHE prispeva k skupni proizvodnji električne energije 3 %. Kljub majhnemu deležu so mHE tehnološko razvite in imajo neizkoriščen potencial, ne samo v postavljanju novih, ampak tudi v nadgradnji že obstoječih mHE. Razlika med izkoriščenim in ekonomskim potencialom, za leto 2002, je približno 250 TWh/leto, kar je enako 55 GW instaliranih zmogljivosti (ESHA: mHE v Evropi, 2010).



Primer mHE (ESHA: mHE v Evropi, 2010).

Večja uporaba OVE je nujna za zadostitev povečane porabe električne energije, zmanjšanje vplivov družbe na okolje, zagotovitev varne oskrbe in izdelavo sonaravnega energijskega

sistema. Njen razvoj spodbuja Evropska Komisija z Direktivo 2009/28/ES, o obnovljivi energiji. Cilj v Evropski Uniji (v nadaljevanju EU) je podvojitev deleža virov obnovljive energije v energijskem sektorju iz 6 na 12 %. To pomeni doseči 14 GW instaliranih zmogljivosti in proizvesti 55 TWh električne energije. Direktiva 2009/28/ES predstavlja esencialni del paketa ukrepov, ki morajo ustrezati obvezam, sklenjenih s podpisom Kyotskega protokola o zmanjšanju izpustov toplogrednih plinov. V skladu s to direktivo, morajo proizvajalci obnovljive energije zagotoviti 22 % električne energije do 2010 v EU-15 in 11 % v novih državah članicah (EU-10). Direktiva izpostavlja proizvodnjo električne energije v mHE, ker so dokazano ena najboljših tehnologij izrabe OVE. Interes EU je, v ekonomskem in okoljskem pogledu, izkoristiti visok potencial za nadgradnjo in obnovo obstoječih mHE, ker je večina trenutnih instalacij starejša od 40 let (ESHA: mHE v Evropi, 2010). MHE v EU in v Sloveniji so pomemben obnovljivi vir električne energije. V EU jih je trenutno približno 21.000. Skupaj proizvedejo več kot 41.000 GWh elektrike in imajo ocenjene instalirane zmogljivosti na približno 13000 MW. To je dovolj za oskrbo 12 milijonov gospodinjstev v Evropi (The CH₂OICE project, 2009).

Zaradi povečane rabe energije v Sloveniji, se povečujeta uvoz energentov za proizvodnjo električne energije in uvoz električne energije. Posledica tega je, da je Slovenija postala neto uvoznica električne energije. Stroški za uvoz električne energije in goriva so bili v letu 2007 2.020 mio €. Ti stroški predstavljajo 9,4 % vrednosti celotnega uvoza Slovenije in 5,9 % bruto domačega proizvoda (Letni energetske pregled za leto 2007, 2010). Značilnosti oskrbe in porabe energije v letu 2004 v primerjavi z gibanji v letih od 2000 do 2004 kažejo, da (Poročilo Republike Slovenije Evropski Komisiji o implementaciji Direktive 2001/77/ES Evropskega parlamenta in Sveta o spodbujanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov energije, 2010):

- se je poraba primarne energije na prebivalca leta 2004 povečala za 3,4 %, povprečna letna rast pa je bila od leta 2000 do leta 2004 2,6 %,
- poraba končne energije na prebivalca raste počasneje kot poraba primarne energije: leta 2004 se je povečala za 2,6 %, v zadnjih štirih letih povprečno za 2,0 % na leto in
- se je proizvodnja električne energije na prebivalca v letu 2004 povečala za 10,5 %.

Delež električne energije iz OVE, se znižuje. Leta 2007 je znašal 22,1 %, kar je 2,3 % manj kot leto prej. Ključna razloga za zmanjševanje sta manjša vodnatost rek in dejstvo, da je rast uporabe OVE počasnejša od rasti rabe primarne energije. Delež obnovljivih virov v končni energiji je leta 2007 znašal 15,1 %, kar je 9,9 % manj od zahtevanega cilja (25 % do 2020). Za doseg cilja je potrebno znižati rabo končne energije ter povečati rabo OVE. Slovenija tega cilja najverjetneje ne bo dosegla. Posledica rasti končne porabe električne energije je povečanje okoljsko manj primerne proizvodnje iz premoga, zaradi česar rastejo emisije toplogrednih plinov. Za doseganje ciljev Kjotskega protokola bo potrebno dosledno izpolnjevati sprejete programe zniževanja emisij toplogrednih plinov. Slovenija ima na področju obnovljivih virov naslednje cilje (Letni energetske pregled za leto 2007, 2010):

- 12 % delež OVE v primarni energetske bilanci leta 2010,
- 25 % delež OVE pri oskrbi s toploto leta 2010,
- 33,6 % delež električne energije iz OVE leta 2010,
- 2 % delež biogoriv v pogonskih gorivih za transport do konca leta 2007.

V okviru podnebno-energetskega paketa sta v predlogu Direktive o spodbujanju rabe energije iz obnovljivih virov za Slovenijo navedena naslednja cilja (Letni energetske pregled za leto 2007, 2010):

- 25 % delež energije iz obnovljivih virov v rabi končne energije leta 2020 ter
- 10 % delež energije iz obnovljivih virov v rabi končne energije v prometu leta 2020.

Hydroenergija je k proizvodnji električne energije iz OVE v Sloveniji, leta 2007, s 96,7 % prispevala največji delež. Proizvodnja se deli na proizvodnjo v mHE, ki prispeva 13 % proizvodnje iz HE, ter na proizvodnjo v »velikih« HE. Leta 2007 se je proizvodnja električne energije glede na predhodno leto zmanjšala za 9,1 %. Glede na leto 2000 je bila manjša za 14,9 %. Proizvodnja električne energije je bila manjša kljub temu, da se je inštalirana moč HE v letu 2007 povečala tako glede na leto 2006 (za 0,9 %), kot na leto 2000 (za 18 %). Vzrok za tako nizko proizvodnjo je v nizki vodnatosti rek (Letni energetske pregled za leto 2007, 2010).

Država letno nameni 33,8 mio € za ukrepe učinkovite rabe energije in 16,27 mio € za spodbujanje rabe OVE (Resolucija DZ RS o Nacionalnem energetske programu 2004). Energente OVE je potrebno subvencionirati zaradi stroškovne nekonkurenčnosti. V pomoč razvoju mHE in HE, je Direktiva 2009/28/ES, ki promovira OVE, z obvezo o njihovem 20 %

izkoristku (The CH₂OICE project, 2009). Z namenom spodbujanja okoljskih naložb, je bil v Republiki Sloveniji ustanovljen Eko sklad, to je javni sklad, ki občanom, pravnim osebam in zasebnim podjetnikom omogoča ugodno kreditiranje investicij za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov (Letni energetski pregled za leto 2007, 2010).

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

2.1 Opis mHE

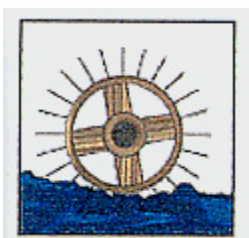
2.1.1 Zgodovina izrabe vodne energije

Vodno energijo so začeli izrabljati že antični Grki. Prvi opis vodnega mlina, z vodnim kolesom za mletje pšeničnih zrn v moko, je v delu *Pneumatics* podal Philo of Byzantium v sredini 3. st. p.n.št.. V Rimskem cesarstvu je voda poganjala mline ter žage, na katerih so žagali hlodovino in kamne. Na daljnem vzhodu so uporabljali skodelčasta kolesa kot črpalke za dvig vode v namakalne kanale (Watermill, 2009). Energijo gibanja potokov in rek so uporabljali po principu vrtečega kolesa, ki ga je poganjal usmerjeni tok vode. Preprosto vodno kolo (nem. Stossrad) s pravokotnim (navpičnim) dotokom vode so uporabljali že v 2. st. p.n.š. Vodno kolo z vodoravnim dotokom in pripadajočim usmerjevalnim kanalom so uvedli v prvem stoletju p.n.š. (Geschichte der Wasserkraft, 2009).

V srednjem veku se je vodno kolo uveljavilo kot splošna pogonska naprava. Pri tem so imeli pomembno vlogo samostani, ki so imeli v lasti veliko število naprav, ki so za pogon izkoriščale vodno energijo. Podpirali so vpeljavo t.i. paličnih dotokov (nem. Daumenwelle), ki so hitro razširili tehniko vodnih koles. S pomočjo paličnih dotokov je bilo mogoče prvič v zgodovini spreminjati smer vrtenja naprej ali nazaj. Vodna energija je služila za pogon mlinov, kovaških obratov ter drugih rokodelskih obratov. Poleg mletja moke so moč vode izrabljali še za žaganje lesa ter pogon naprav v manufakturnih obratih. Produktivnost se je konstantno stopnjevala, kar je vodilo v gospodarski razcvet srednjega veka in priskrbelo vodnim kolesom do 19. st. vlogo pomembnega pogonskega vira (Die Geschichte der Wasserkraft, 2009).

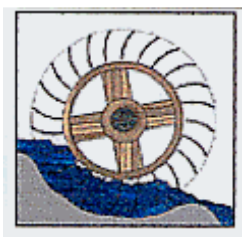
Tekom časa so vodna kolesa, namesto iz lesa, začeli izdelovati iz kovine in tako so se vodna kolesa razvila v turbine. Evolucija modernih turbin se je začela v letih 1737–1753, ko je francoski hidravlik in vojaški inženir Bernard Forest de Bélidor izdal svoje najbolj slavno delo *L'architecture hydraulique* (Bernard Forest de Bélidor, 2009). Podlivna vodna kolesa so se razvila v Peltonovo turbino, z lopaticami iz kakovostnega jekla. Kaplanove turbine se opirajo na princip Floder-jev, sestavljene so iz nastavljivih lopatic. Najpogosteje uporabljena

turbina je Francisova turbina. Prvo litoželezno vodno kolo je leta 1769 postavil angleški inženir John Smeaton. Spreminjal se ni samo material, ampak tudi način uporabe vodnih koles. Medtem ko se je v preteklosti uporabljalo direktno delovanje naprav, kot npr. mlin za žito, kovaško kladivo, ipd., se danes uporabljajo turbine le za proizvodnjo električne energije. Prva hidroelektrarna je bila postavljena leta 1880 v angleškem kraju Northumberland (Geschichte der Wasserkraft, 2009).



Najpreprostejša in najstarejša oblika vodnega kolesa na stik (nem. Stoßrad) ima lopatice potopljene horizontalno v reko. Izrablja se samo kinetična energija vode (Geschichte der Wasserkraft, 2009).

Vodno kolo na stik (Geschichte der Wasserkraft, 2009)



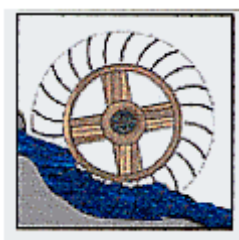
Od 9 st. dalje se je za izrabo vodne energije uporabljalo podlivno vodno kolo (nem. unterschlächtige Wasserrad). Pri tem kolesu je med vstopom in izstopom vode rahla višinska razlika, ta način poleg kinetične energije izkorišča tudi težnost vode. Vodno kolo je bilo sestavljeno iz radialnih, na leseno os, pritrjenih desk, ki so bile spodaj potopljene v tekočo vodo. Vrtilni moment so ustvarili skozi vodni tlak, ki je deloval na deske (Geschichte der Wasserkraft, 2009).

Podlivno vodno kolo (Geschichte der Wasserkraft, 2009)



V srednjem veku so se vodna kolesa razvila v nadlivno vodno kolo (nem. overschlächtigen Wasserrad"). Sestavljeno je iz lesenega kolesa z velikim premerom, na katerega so pritrjene deske pod kotom, ki delujejo kot lopatice. Voda pada na lopatice, v njih zaradi svoje težnosti povzroča vrtilni moment in na ta način vrti kolo. Tako se izkorišča potencialna energija, obenem pa lahko reguliramo količino dovedene vode (Geschichte der Wasserkraft, 2009).

Nadlivno vodno kolo (Geschichte der Wasserkraft, 2009)

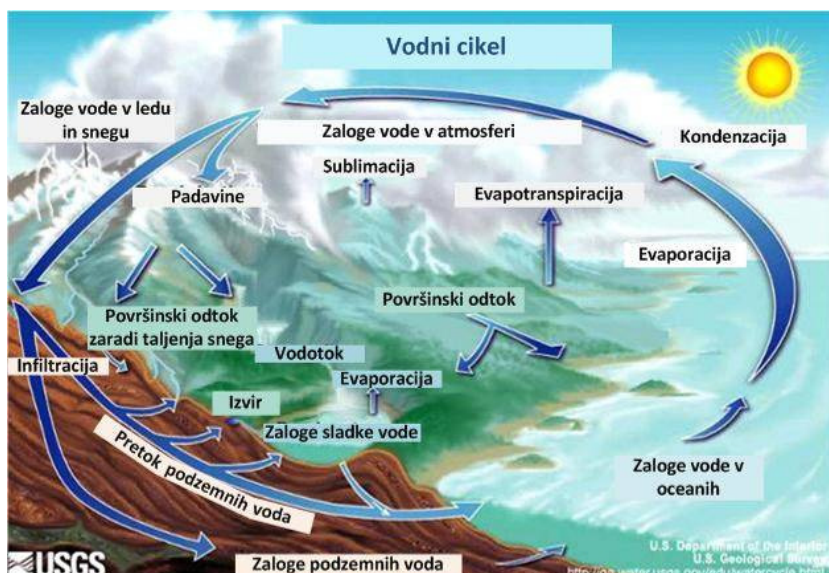


Med različnimi stopnjami razvoja vodnih koles se je razvila mešana oblika vodnega kolesa, ki jo s prevladujočo uporabo potencialne energije predstavlja kolo na vodo v sredo ("mittelschlächtige Wasserrad") (Geschichte der Wasserkraft, 2009).

Mešana oblika vodnega kolesa (Geschichte der Wasserkraft, 2009)

2.1.2 Princip delovanja mHE

Voda je kemična spojina iz vodika in kisika (H_2O). V naravi s pomočjo sončne energije tvori vodni oziroma hidrološki cikel, ki predstavlja neskončno neprekinjeno kroženje vode na, nad in pod površjem zemlje.



Globalni vodni cikel, ki predstavlja vodo kot OVE (Hydrologic cycle, 2010)

Osnovni princip delovanja mHE je pretvoriti energijo tekoče vode v električno. Voda, ki se izrablja za pogon mHE v vodnem ciklu, predstavlja obliko površinskega odtoka (reke, potoki, jezera), zato se smatra kot OVE. Hidroelektrarna je elektrarna, ki izkorišča za pogon turbin, s katerimi proizvaja električno energijo, kinetično oziroma potencialno energijo vode. Slednja zaradi svoje teže (gravitacijske sile) na lopatice sili turbino v vrtenje. Voda vrtil vodno turbino, le-ta pa generator, ki pretvarja mehansko energijo v električno. Električni generator je naprava, ki po principu elektromagnetne indukcije proizvaja električno energijo. Količina

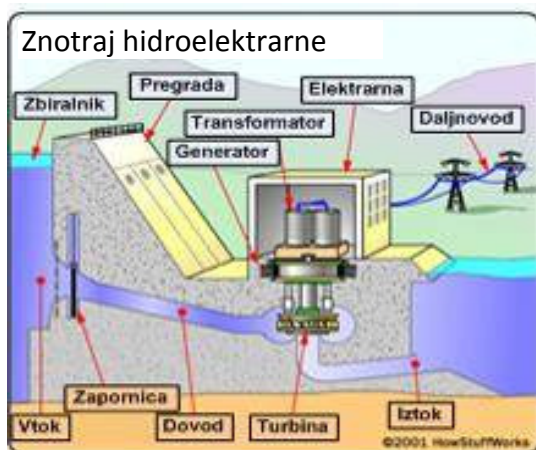
pridobljene energije je odvisna od padca in količine vode. Vodne turbine se delijo na Peltonovo, Francisovo in Kaplanovo turbino.

Naravnega toka vode ni mogoče neposredno uporabiti za proizvodnjo električne energije, zato je potrebno tok vode spremeniti in vodo dovesti k turbini v elektrarni po kanalu ali cevovodu.

Glede na način dovoda vode k turbini se mHE delijo na (Šolc, 1986):

- mHE z odprtim dovodom (nizko tlačne)
- mHE z zaprtim dovodom (visoko tlačne)
- mHE z delno odprtim dovodom
- mHE s strojnico pod pregrado

Za proizvodnjo električne energije v mHE je potrebno urediti objekte za odvzem vode, dovod vode na turbino ter iztok vode. Vodo odvezemamo na zajetju, kjer so urejeni jez, odvzemno mesto ter objekt za migracijo ribjih populacij. Za dovod vode na turbino se uporablja odprt ali zaprt vtočni kanal. Turbina je vgrajena v strojnici, v kateri je urejen tudi iztočni kanal po katerem izpuščamo vodo nazaj v vodotok.



Prikaz delovanja HE (Hydro electric power, 2010)

2.1.3 Osnovni elementi hidroelektrarne

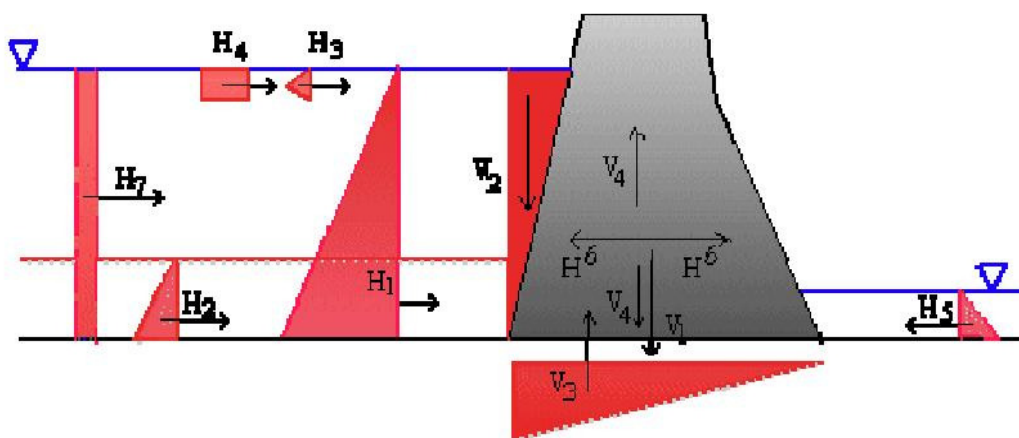
2.1.3.1 Jez

Jez ali pregrada je gradbeno-inženirski objekt, zgrajen z namenom ustvariti lokalno zaježbo na vodotoku, s čimer dosežemo dvig gladine vodotoka in s tem večji tlak vode, ki pritiska na

lopaticice turbine. Značilno za jez je, da je na odseku pred jezom vedno miren tok, kar je posledica zajezbe. Jezovi so dimenzionirani za srednje letne pretoke, zato je potrebno pri nastopu visokih voda zagotoviti odtok presežka vode. Glede na način odtoka preseženih voda se ločijo jezovne zgradbe s fiksno koto krone (trdni jezovi) in jezovne zgradbe s spremenljivo koto krone (zapornice, zaklopke, membrana ipd.). Jezovi s fiksno koto krone ob nastopu visokih voda dvignejo gladino vodotoka in tako poplavno ogrožajo gorvodna zemljišča, medtem ko jezovi s pomično koto krone ne motijo toka vode in poplavno ne ogrožajo gorvodnih zemljišč (Šolc, 1986).



Slika 1: Jez ob nekdanjem mlinu na Ilovki (Mrak, 2009)



Obremenitev jez v določenem trenutku z različnimi obtežbami (ESHA, 2004, 99)

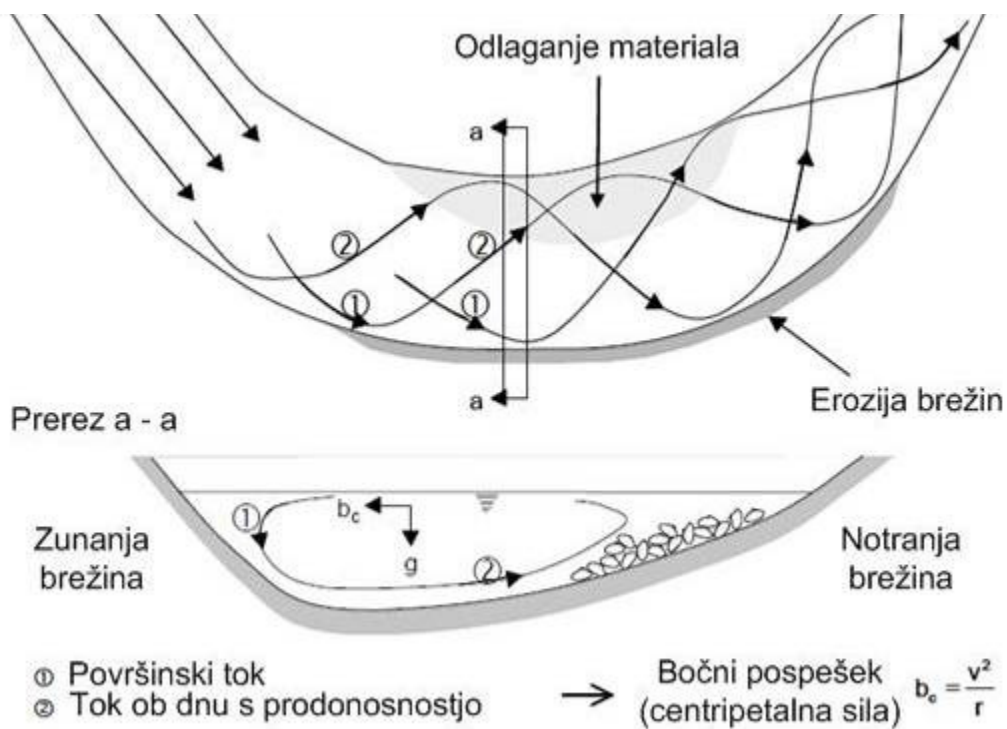
2.1.3.2 Zajetje

Zajetje predstavlja sklop objektov, na katerih odvezujemo vodo iz vodotoka. Načrtovano mora biti tako, da v vtočni kanal oziroma cevovod, z minimalnimi izgubami, dovaja zahtevano količino vode. Sestavljajo ga objekti za odvzem in umiritev vode ter dovod vode na turbino. Opremljen je s hidromehansko opremo, kot so rešetke (grobe in fine), grablje ter zapornice. Velik izziv pri urejanju zajetja predstavljata transport lebdečih in rinjenih plavin, ki lahko v primeru nepravilnega načrtovanja zajetja povzročata veliko škodo. Lokacija zajetja mora biti zato skrbno preiščena.

Glede na način dovoda vode k turbini se loči HE: z odprtim dovodom (kanal), zaprtim dovodom (cevovod) in delno odprtim dovodom. Pri zaprtih dovodih se voda lahko zajame več kot 100 m daleč od turbine in več kot 100 m višje od lege turbine. Tako pridobimo večjo višinsko razliko in večji neto padec za boljši izkoristek vodotoka. Cevovode se običajno uporablja v bolj hribovitih območjih, kjer se zaradi geografije terena lahko dosežejo veliki padci ob manjših pretokih, odprti dovodi pa so bolj v uporabi v ravninskih delih, kjer so veliki pretoki ob nizkih naklonih (Šolc, 1986).

Optimalna ureditev zajetja je na rečni krivini, ker v njih poleg vlečne sile deluje tudi centrifugalna sila. Posledica je, da pride do dviga vodne gladine na zunanji krivini vodotoka. Rezultanta med komponento sile teže v smeri toka $\rho_0 \cdot dV \cdot g \cdot L$ in centrifugalno silo $\rho_0 \cdot dV \cdot (v^2 / R)$ nosi vodne delce s prostornino dV proti zunanji krivini vodotoka s polmerom R . Posledično nastopi v prečnem prerezu sekundarni vodni tok, ki je na vodni površini usmerjen k zunanji brežini in jo dodatno obremenjuje, na dnu struge pa je sekundarni tok usmerjen k notranji brežini in dodatno prispeva k tvorbi prodišča ali sipin na notranji strani krivine (na drugi strani zajetja). Pogoji, da sekundarni tok preprečuje plavinam vstop v zajetje, je, vrednost instaliranega pretoka manjša od 50 % kritičnega pretoka, pri katerem se začne proces prodonosti (Mikoš, 2000).

Na zajetju mora biti urejen objekt za zagotovitev ekološko sprejemljivega pretoka ter omogočanje migracije ribjih populacij. Objekt za omogočanje migracije rib se imenuje ribja steza in omogoča migracijo rib gorvodno ter dolvodno od odvzemnega mesta.



Sekundarni tok v strugi (ESHA, 2004, 111)

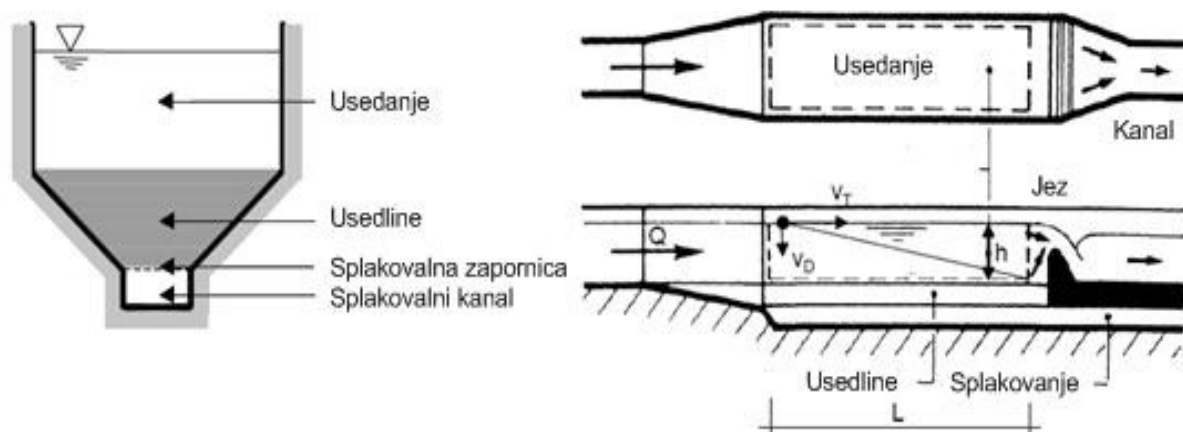


Dovodni cevovod HE Plužna in dovodni kanal s finimi grabljami (SENG: male HE, 2010)

2.1.3.3 Usedalnik

Usedalnik na zajetju je namenjen preprečitvi sedimentacije v dolvodnih objektih in (s tem) zmanjšanju potencialne škode hidromehanske opreme, ki bi nastala zaradi sedimentov. Temelji na principu zmanjšanja hitrosti toka vode in turbulence, kar dosežemo z razširitvijo

oziroma povečanjem umetnega kanala in pragom na spodnjem koncu usedalnika (ESHA, 2004).



Usedalnik (ESHA, 2004, 121)

Učinkovitost usedalnika je definirana s premerom zrn, ki se usedajo v usedalniku. Vzdrževalni intervali za Francisovo turbino so približno na 6 do 7 let, za učinkovitost usedalnika 0,2 mm, 3 do 4 leta za učinkovitost usedalnika 0,3 mm ter 1 do 2 leti za učinkovitost usedalnika 0,5 mm. Optimalna učinkovitost je odvisna od večjih dejavnikov: stroški, izguba energije, stroški popravil, idr. Na podlagi dosedanjih izkušenj je dokazano, da je najbolj ekonomična rešitev 0,2 mm za mHE z velikimi pretoki z grobimi delci, oziroma 0,3 mm za običajne mHE.

Dolžina usedalnika je odvisna od pretoka in učinkovitosti usedalnika in mora biti tolikšna, da se vsa zrna lahko usedejo, preden zaidejo v cevovod. Čas usedanja t_D mora biti enak času potovanja t_T . Minimalna dolžina usedalnika L se izračuna po naslednji formuli, pri čemer mora širina B znašati največ $1/8$ dolžine L in največ $1/2$ globine h (ESHA, 2004)

$$L \geq \frac{Q}{v_D \cdot B}$$

Za projektantsko oceno se hitrost usedanja izračuna po enačbi Zanke-ja (ESHA, 2004):

$$v_D = \frac{100}{9 \cdot d} \cdot \left(\sqrt{1 + 1,57 \cdot 10^2 \cdot d^3} - 1 \right)$$

pri čemer je v_D hitrost usedanja v mm/s in d premer zrn v mm. Temperatura vode mora biti 20 °C. Za turbulenten tok se hitrost usedanja zmanjša in izračuna po enačbi:

$$v_D = v_{D0} - \alpha \cdot v_T \geq 0$$

pri čemer je v_{D0} hitrost usedanja v mirni vodi v mm/s in α faktor zmanjšanja v $1/m^{1/2}$, izražen kot funkcija globine usedalnika:

$$\alpha = \frac{0,132}{\sqrt{h}}$$

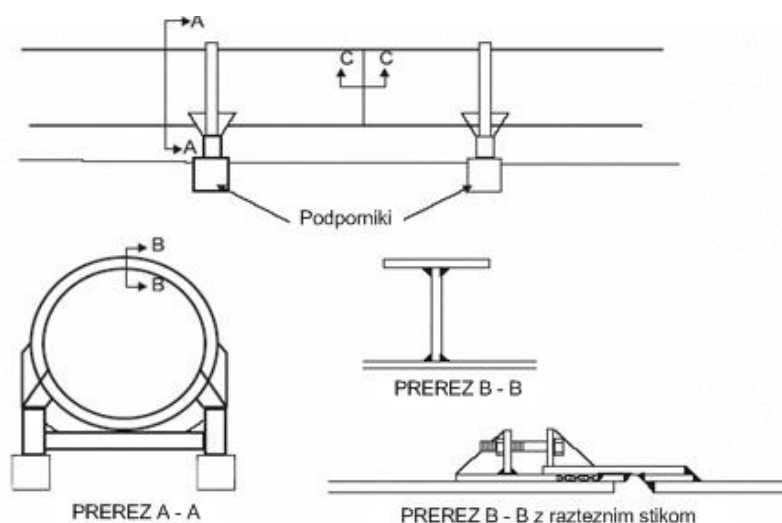
Določiti je potrebno še kritično hitrost v_{CR} , ki določa mejo med usedanjem in potovanjem delcev. Za Manning-Stricklerjev koeficient hrapavosti $K = 60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ($K = 1/n$ je povprečna vrednost za beton) in razmerje gostote zrn ter vode 2,65, se kritična hitrost v_{CR} izračuna po enačbi (ESHA, 2004):

$$v_{CR} = 13 \cdot R_h^{1/6} \cdot \sqrt{d}$$

Običajne vrednosti za kritično hitrost v_{CR} znašajo med od 0,2 do 0,3 m/s.

2.1.3.4 Dovodni kanal

Dovodni kanal je objekt, ki povezuje peskolov s strojnico. Dovodni kanal je lahko tlačni cevovod, položen v predhodno izvrtan predor. Z okoljskega vidika je takšen poseg v prostor optimalen, saj cevovod v tem primeru ne bi predstavljal nikakršne ovire v naravnem okolju. Cevovod bi bil nameščen na jeklenih nosilcih, ki bi bili, na določeni medsebojni razdalji, fiksirani v dno predora. Tako bi preprečevali, da bi se cevovod v primeru krčenja ali raztezanja poškodoval. Kot material za cevovod se večinoma, zaradi velikih tlakov uporablja duktilno jeklo. Alternativa jeklenim cevem so polietilenske cevi, ki so cenejše, lažje in enostavnejše za vgradnjo, obenem pa ne potrebujejo zunanje in notranje zaščite proti koroziji ter namestitve barvnega sloja, odpornega na UV žarke (ESHA, 2004).



Namestitev cevovoda (ESHA, 2004, 136)

Material	Youngov elastični modul $E(N/m^2)E9$	Koeficient linearnega raztezanja $\alpha (m/m \cdot ^\circ c)E6$	Raztezna odpornost $(N/m^2)E6$	n
Varjeno jeklo	206	12	400	0.012
Polietilen	0.55	140	5	0.009
Polivinil klorid (PVC)	2.75	54	13	0.009
Azbestni cement	n/a	8,1	n/a	0.011
Lito železo	78.5	10	140	0.014
Duktilno jeklo	16.7	11	340	0.013

Različne karakteristike materialov iz katerih so narejene cevi (ESHA, 2004, 137)

Cevovod določimo glede na (ESHA; 2004):

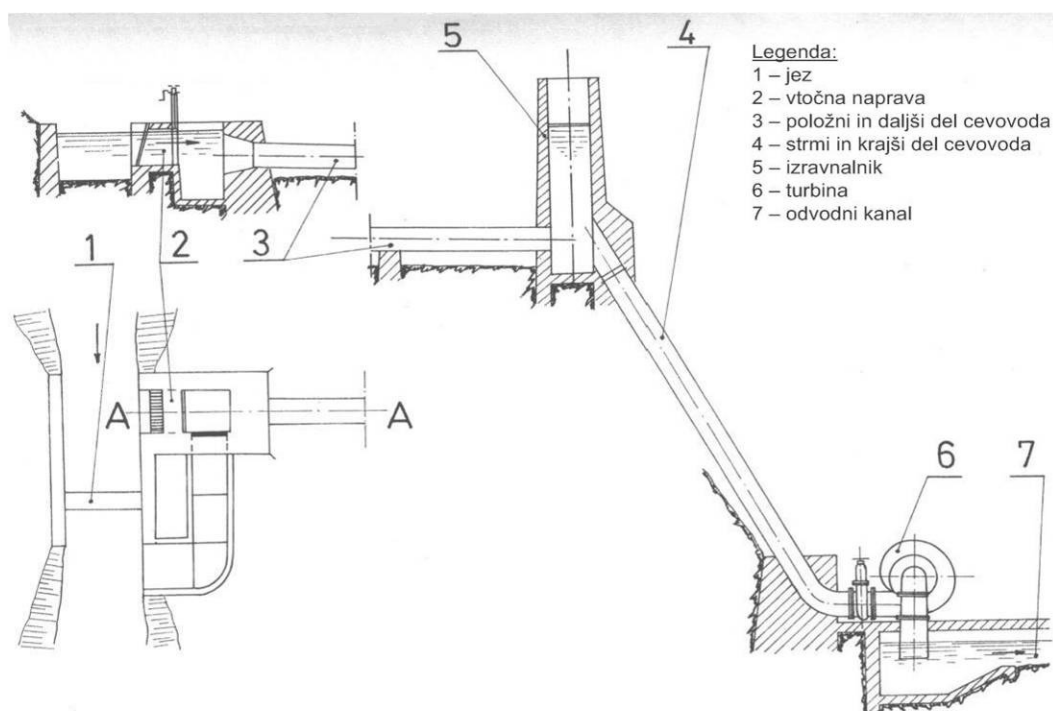
- material: izberemo ga glede na značilnosti temeljnih tal, dostopnost, težo, sistem spajanja in stroške.
- premer: izberemo premer, ki bi zmanjšal trenjske izgube v cevovodu na sprejemljive,
- debelino stene: izbrana debelina mora prenesti maksimalne tlake, vključno z vodnim klavivom.

Premer cevi se določi kot optimalno razmerje med stroški cevovoda in izgubami energije. Moč turbine je odvisna od gostote vode, težnostnega pospeška, pretoka in neto padca. Slednjega izračunamo tako, da od bruto padca odštejemo izgube, ki nastanejo zaradi trenja in

turbulence. Izgube so poenostavljeno enake kvadratu hitrosti vode v cevi in so pri določenem pretoku v ožji cevi, zaradi večje hitrosti, večje kot v širši cevi. Večji del izgub v tlačnem cevovodu predstavljajo trenjske izgube v cevi. Izgube zaradi turbulence na rešetkah, v vtoku v cev, v kolenih, razširitvah in zožitvah predstavljajo majhen delež. Izbira minimalnega premera cevi zmanjša stroške cevovoda, vendar poveča izgubo energije, katero izrabljamo za proizvodnje električne energije, zato je potrebno določiti optimalni premer cevovoda (ESHA; 2004).

2.1.3.5 Razbremenilnik

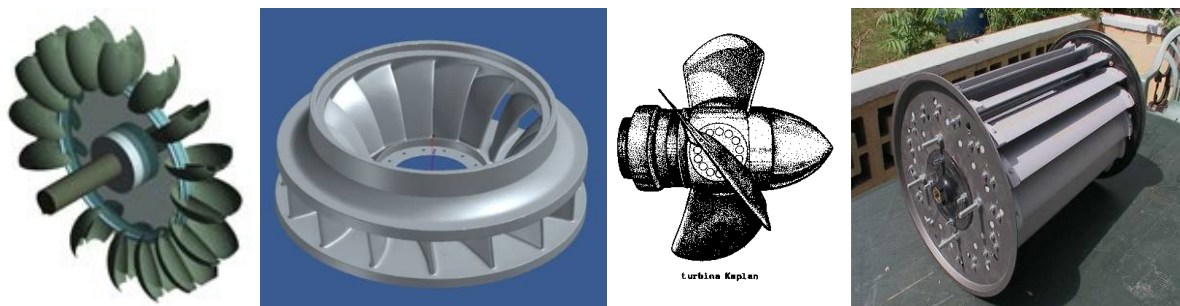
Razbremenilnik (tudi izravnalnik, raztežilnik) je objekt v katerem se, med mirovanjem turbine, nahaja gladina vode, na isti višini kot v odvzemnem mestu. Med obratovanjem turbine s konstantno obremenitvijo se nivo vode v razbremenilniku zniža za toliko, kolikor znaša višinska razlika med odvzemnim mestom ter razbremenilnikom. Višinska razlika se poveča za vrednost izgub v cevovodu. Pri spremembi obremenitve se nivo gladine v razbremenilniku spremeni. Pri razbremenitvi turbine se nivo gladine dvigne, pri ponovni obremenitvi pa zniža, ker v razbremenilnik ne more priteči toliko vode, kolikor jo potrebuje turbina za obratovanje. Višina razbremenilnika je nižja, če je cevovod položnejši (Šolc, 1981).



Hidroelektrarna z zaprtim dovodom in izravnalnikom (Šolc, 1981, 37)

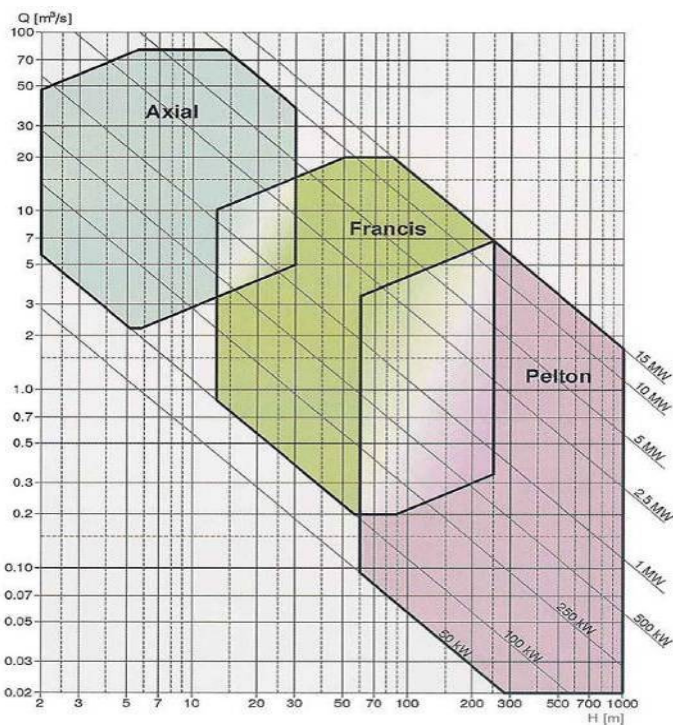
2.1.3.6 Turbina

Voda s svojo težo in hitrostjo poganja lopatice turbine in turbino sili v vrtenje. Obstaja več vrst vodnih turbin. Velikim padcem in majhnim pretokom ustrezajo Peltonove turbine, srednjim pretokom in srednjim padcem ustrezajo Francisove turbine, velikim pretokom in nizkim padcem pa ustrezajo Propelerske turbine. Francisove turbine so v mHE lahko vgrajene v treh izvedbah: v jašku z navpično gredjo, v jašku z vodoravno gredjo, lahko pa so spiralne z vodoravno gredjo. Za mHE lahko uporabimo tudi Bankijevo turbino. Moč turbine je premo sorazmerna vodnemu padcu in količini vode, ki priteka na turbino.



Peltonova turbina Francisova turbina Kaplanova turbina Bankijeva turbina

Različne vrste turbin (Turbine, 2010)



Območja pretokov in padcev, za določitev najustreznejše turbine (ESHA, 2004, 175)

Izbira vrste turbine je odvisna od dveh glavnih kriterijev: instaliranega pretoka in višinske razlike med koto zajetja vode in koto turbine (osi turbine). Za optimalen izkoristek in neprekinjeno delovanje mora turbina obratovati s konstantno vrtilno hitrostjo, saj je v nasprotnem primeru izkoristek manjši. S konstantno vrtilno hitrostjo zagotovimo, da agregat (asinhronski generator) deluje konstantno z močjo, ki jo omogoča dotekajoča voda. Količino dotekajoče vode reguliramo na določeni koti odvzemnega objekta, pri čemer se odvečna količina vode preliva čez preliv. S konstantno vrtilno hitrostjo zagotovimo, da elektrarna lahko deluje vzporedno z javnim elektro omrežjem. Turbina in njeni sestavni deli so vgrajeni v strojnici (Šolc, 1986).

2.1.3.7 Iztok

Iztok služi umiritvi vode, ki odteka iz turbin, preden jo spustimo nazaj v vodotok. S tem preprečimo, da bi izpuščena voda škodljivo delovala na vodotok, predvsem z vidika erozije. Iztok mora biti za boljše delovanje turbine in za hitrejšo umiritev vode potopljen.

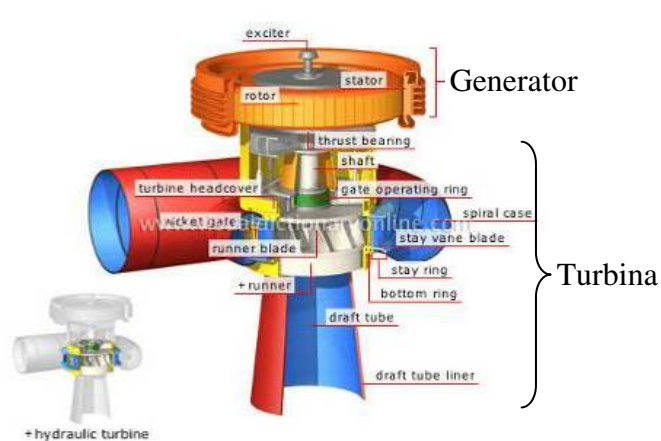
2.1.3.8 Objekt za migracijo ribjih populacij

Objekt za migracijo ribjih populacij, imenovan tudi ribja steza, je objekt, ki omogoča migracijo rib gorvodno in dolvodno od lokacije zajetja mHE. Oblik izvedbe ribjih stez je veliko, ena izmed primernih rešitev je ribja steza v obliki lestve z vertikalnimi odprtini. Natančne dimenzije in višinska razlika med posameznimi bazeni sta odvisna od ribjih vrst v vodotoku.

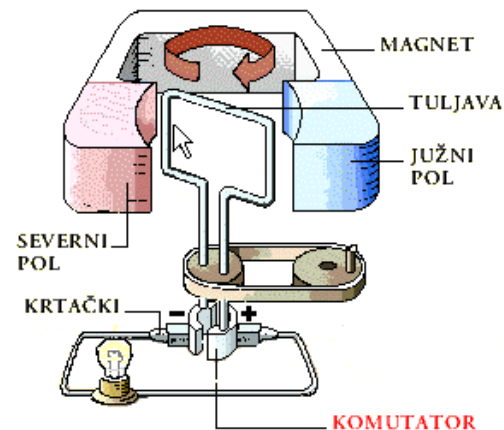
2.1.3.9 Električni generator

Električni generator je skupaj s turbino, ki ga poganja, srce mHE. Po principu elektromagnetne indukcije mehansko energijo pretvarja v električno. Proizvodnja elektrike temelji na vrtenju serije magnetov, ki so oviti v žice. Po njih se premikajo elektroni, ki proizvajajo električni tok. Pomemben podatek generatorja je njegov izkoristek, ki pove, koliko odstotkov mehanske energije se pretvori v električno. V mHE se lahko vgradi različne vrste generatorjev, večinoma pa se vgrajuje navadne asinhronske generatorje. V primeru, da je potrebno zagotavljati električno energijo bližnjim objektom ter oskrbovati javno elektro omrežje (v primeru izpada) se vgradi sinhronski generator ali asinhronski generator z lastnim

vzbujanjem. Slednja omogočata otočno obratovanje in vzporedno obratovanje z omrežjem. Navaden asinhronski generator obratuje izključno samo vzporedno z omrežjem (Šolc, 1986).



Generator (Generator 1, 2010)



Generator (Generator 2, 2010)

2.1.3.10 Transformator in električna napeljava

Transformator je električna naprava, ki pretvarja električno energijo pri visoki napetosti v električno energijo pri nizki napetosti ali obratno. Vsak transformator ima primarno in sekundarno navitje, ki je navito na skupno feromagnetno jedro. Na primarno navitje priključimo vodnik z napetostjo, ki jo želimo transformirati.



Transformator (Transformator, 2010)



Distribucijsko omrežje (Daljnovid, 2010)

Rezultat delovanja mHE je električna energija, ki se od proizvajalcev električne energije preko distribucijskega omrežja vodi do odjemalcev. Električno napeljavo sestavljajo vodniki, ki so sestavljeni iz posameznih žic ali snopa žic.

2.1.4 Vrste in velikosti HE

Poznamo naslednje vrste HE (Vrste hidroelektrarn, 2009):

- zaježitvene HE – te vrste HE temeljijo na uporabi jezua, ki zagotavlja potrebno akumulacijo vode in s tem potrebni tlak vode. Na razpolago mora biti velik padec in manjša količina vode.
- pretočne HE – ta vrsta HE za proizvodnjo električne energije ne potrebuje jezua. Gradijo se na rekah z manjšim padcem in večjimi pretoki.
- črpalne – v času nizke porabe električne energije se voda črpa iz nižjega rezervoarja v višje ležečega, v času visoke porabe pa se voda izpusti iz višje ležečega rezervoarja v nižje ležečega preko turbin.

Glede na nazivno električno moč se HE delijo na naslednje velikostne razrede (Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije, 2010):

- mikro: nazivne električne moči manjše od 50 kW,
- male: nazivne električne moči manjše od 1 MW,
- srednje: nazivne električne moči od 1 MW do vključno 10 MW,
- velike: nazivne električne moči nad 10 MW do vključno 125 MW,

2.2 Umestitev male hidroelektrarne v prostor – postopek in predpisi

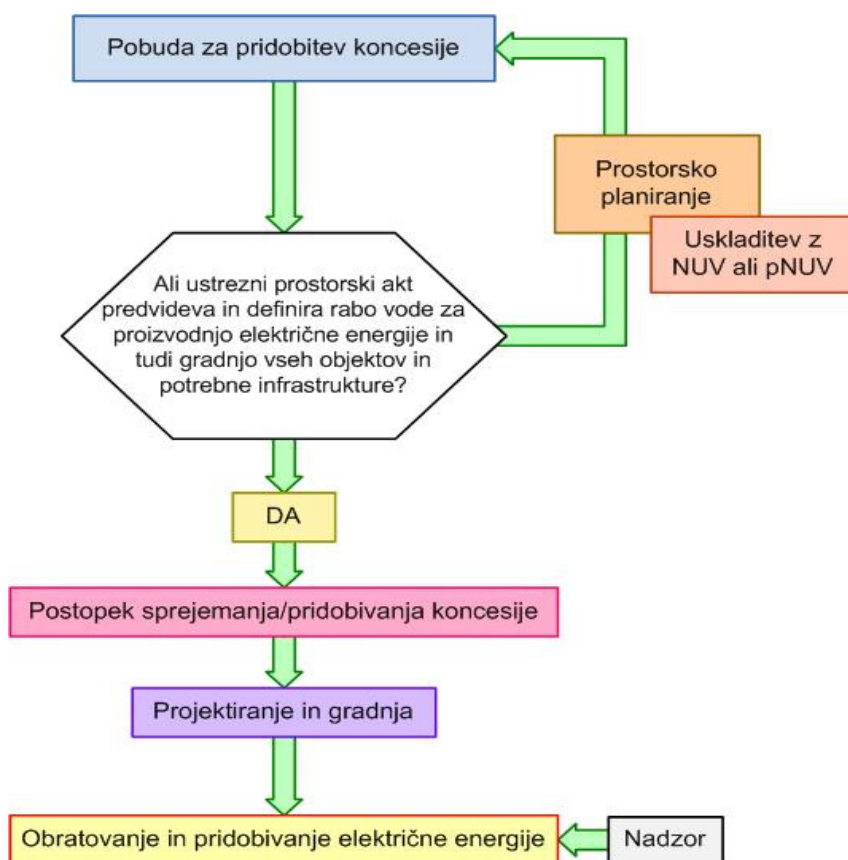
Država in lokalna skupnost (občina) morata s prostorskim načrtovanjem omogočiti kakovostno življenjsko okolje s takšno rabo prostora, ki ob upoštevanju varovanja okolja, ohranjanja narave in trajnostne rabe naravnih dobrin omogoča zadovoljevanje potreb sedanje generacije. Prostorske ureditve se načrtujejo s prostorskimi akti, s katerimi se določajo usmeritve v zvezi s posegi v prostor, vrste možnih posegov ter pogoji in merila za njihovo izvedbo. Prostorski akti so državni strateški prostorski načrt in državni prostorski načrt, občinski prostorski načrt ter občinski podrobni prostorski načrt. Občinski prostorski načrt je prostorski akt, s katerim se ob upoštevanju usmeritev iz državnih prostorskih aktov, razvojnih potreb občine in varstvenih zahtev, določijo cilji in izhodišča prostorskega razvoja občine, načrtujejo prostorske ureditve lokalnega pomena ter določijo pogoji umeščanja objektov v prostor. Prostorsko izvedbeni pogoji so s prostorskim aktom določena merila in pogoji za

umeščanje posegov v prostor, skladno s katerimi se pripravljajo projekti za pridobitev gradbenega dovoljenja po predpisih o graditvi objektov. Pri prostorskem načrtovanju morajo pristojni državni in občinski organi, skladno z določbami Zakona o prostorskem načrtovanju, omogočati izražanje interesov posameznic in posameznikov, skupin prebivalstva in udeležbo vseh zainteresiranih oseb (v nadaljevanju deležniki) v postopkih pripravljanja in sprejemanja prostorskih aktov (ZPNačrt, 2007). Za udejanjenje predlaganega posega, izgradnje mHE Kokra, bi bilo potrebno vzpostaviti sistem za vse deležnike (soglasodajalci, državni organi, lokalne skupnosti, lastniki zemljišč in vodnih pravic ter zastopniki drugih interesentov), ki bi jih medsebojno povezal ter pripomogel k izvedbi predlaganega posega.

Vodna direktiva je krovni dokument na področju upravljanja in načrtovanja z vodami. Z načrti upravljanja voda tvori integralen okvir za sodobno upravljanje voda. Načrti upravljanja voda so lahko podrobnejši in lahko obravnavajo samo določeno porečje ali področje (raba vode, sedimenti, idr.). Podrobnejši načrt upravljanja voda natančneje obravnava in dopolnjuje Uredbo o začasnem načrtu upravljanja voda, ki vključuje tudi opredelitev ukrepov, potrebnih za doseganje ciljev. Pripravo Podrobnejšega načrta upravljanja voda lahko predlaga pravna ali fizična oseba, ki dokaže, da je to potrebno za doseganje ciljev in usmeritev za varstvo voda, urejanje voda in njihovo trajnostno rabo. Predlog za pripravo podrobnejšega načrta upravljanja voda lahko vključuje tudi predlog nosilcev in finančnih virov za pripravo strokovnih podlag za pripravo podrobnejšega načrta upravljanja voda (Akcijski načrt za OVE, 2010).

Večkriterijska analiza je način ocenjevanja z več kriteriji (merili), s katerimi analiziramo različne načine (variante) predvidenega posega v prostor. Različnim kriterijem določimo različne uteži ter jim definiramo medsebojno pomembnost. Glede na različne kombinacije kriterijev dobimo enotno oceno različnih variant, na podlagi katere lahko v vrstnem redu razvrstimo posamezne variante, od najboljše do najslabše. Večkriterijska analiza lahko služi orodje za izdelavo Podrobnejših načrtov upravljanja voda, ki lahko služijo kot podloga za sprejemanje odločitev o spremembah prostorskih aktov. Predviden poseg v prostor, gradnja mHE Kokra, bi se ocenil z izdelavo večkriterijske analize za mHE Kokra, pri kateri bi kot glavna kriterija določili okoljske kriterije ter proizvodnjo električne energije, ki ustrežata zahtevam Vodne direktive in Direktive 2009/28/ES.

2.2.1 Postopek



Shema postopka za pridobitev koncesije (Šantl, 2010)

2.2.1.1 Umestitev predvidene mHE v prostorski akt

Zakon o vodah predpisuje, da so celinske vode (tekoče in stoječe vode) in vodna zemljišča naravno vodno javno dobro. Za vsako rabo vodnega dobra, ki presega meje splošne rabe (posebna raba), je treba pridobiti vodno pravico na podlagi vodnega dovoljenja ali koncesije. Oblika posebne rabe je tudi proizvodnja električne energije v mHE (Zakon o vodah, 2002).

Za pridobitev vodne pravice mora biti nameravana gradnja mHE v skladu s prostorskim aktom, to pomeni, da mora biti umeščena v prostorskem aktu. V prostorski akt se jo umesti na pobudo investitorja, ki vloži predlog za njegovo spremembo. Dokler občina ne sprejme novega ali dopolnjenega prostorskega načrta, gradnja mHE ni mogoča. V primeru, da upravni organ ugotovi, da zaradi nestrinjanja soglasodajalcev, predvidene mHE, ni mogoče umestiti v prostor, sprememba prostorskega načrta in posledično gradnja mHE ni možna.

Želja investitorja je, zgraditi mHE na zanj čim bolj ugodni lokaciji (čim večji padec, pretok, bližina strojnice, idr.), ki pa je lahko v nasprotju z zahtevami po varovanju narave. Pripravljalci prostorskih aktov in investitor, ki namerava graditi mHE, morajo v skladu z Zakonom o prostorskem načrtovanju upoštevati pogoje v postopku prostorskega načrtovanja rabe vode in zemljišč za proizvodnjo električne energije (pristojen organ je Ministrstvo za okolje in prostor (v nadaljevanju MOP) ali lokalna skupnost). Ti pogoji so (Šantl, 2010):

- predviden poseg v prostor mora biti usklajen s cilji, smernicami in pogoji odločilnih interesnih skupin:
 - okolje (ohranjanje narave, upravljanje z vodami, varstvo okolja),
 - kmetijstvo (namakanje),
 - deležniki (lastniki zemljišč),
 - obstoječi imetniki vodnih pravic,
 - drugi pristojni organi (promet, turizem);
- v primeru, da je volumen akumulacije HE večji od 10.000 m³ ali da je instalirana moč večja kot 1 MW (področje ureja Zakon o varstvu okolja) ali da je obravnavano območje znotraj varstvenih območij s področja ohranjanja narave (Zakon o ohranjanju narave (ZON)), je potrebna izdelava Celovite presoje vplivov na okolje (CPVO);
- v primeru, da je instalirana kapaciteta mHE več kot 1 MW in je priključena na energetska omrežje (področje ureja Energetski zakon) je potrebna pridobitev energetskega dovoljenja.

2.2.1.2 Koncesija za rabo vode za mHE

Za proizvodnjo električne energije v mHE, ki je priključena na javno električno omrežje, je treba pridobiti koncesijo za rabo vode. Pridobi jo lahko fizična ali pravna oseba, podeljuje pa se proti plačilu, za določen čas, vendar ne več kot za 50 let. Koncesijo v imenu koncedenta podeljuje vlada, skladno z določbami Zakona o vodah (Zakon o vodah, 2002).

V kolikor je predvidena gradnja mHE sprejeta s prostorskim aktom, mora investitor pridobiti lastninsko pravico na nepremičnini, na kateri želi zgraditi mHE. Pridobitev lastninske pravice je za investitorja velika obremenitev, saj mora vložiti finančna sredstva, čeprav še ni potrjeno, da bo na nepremičnini sploh smel graditi. Potrebna je izdelava idejnega projekta (v

nadaljevanju IDP), ki je pogoj za pripravo finančnega načrta gradnje mHE in pridobitev projektnih pogojev, v kolikor gradimo mHE na območju, ki se ureja z Občinskim prostorskim načrtom. Po pridobitvi koncesije, je k projektnim rešitvam potrebno pridobiti še soglasja vseh pristojnih soglasodajalcev, razen če določeni soglasodajalec v svojem mnenju o prostorskem redu ni izrecno navedel, da k projektnim rešitvam za gradnjo določene vrste objekta njegovega soglasja ni potrebno pridobiti. V primeru, da se mHE gradi na območju, ki se ureja z Občinskim podrobnim prostorskim načrtom, se šteje, da so soglasja pristojnih soglasodajalcev k projektnim rešitvam že pridobljena z dnem izdaje njihovih mnenj k prostorskemu načrtu (Zakon o graditvi objektov, 2004).

Za pridobitev koncesije mora investitor vložiti vlogo za pridobitev koncesije (v postopku javnega razpisa) na pristojen organ (Vlada RS ali MOP). Če investitor izpolnjuje vse pogoje, mu pristojni organ (MOP ali ARSO) po postopku sprejemanja podeli, preko javnega razpisa na katerega se mora investitor prijaviti, koncesijo za rabo vode. Pred podelitvijo koncesije Vlada RS sprejme uredbo za rabo vode za proizvodnjo električne energije na določenem rečnem odseku. Ta uredba določa vplivno območje, ekološko sprejemljivi pretok, trajanje koncesije ter minimalni znesek koncesnine. Koncesija za rabo vode za proizvodnjo električne energije se podeli na podlagi (Šantl, 2010):

- Uredbe o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka,
- Uredbe o začasnem načrtu upravljanja voda in
- Uredbe o koncesiji za rabo vode na določenih odsekih vodotokov za proizvodnjo električne energije

Pogoji za začetek procesa pridobivanja koncesije (Šantl, 2010):

- iz načrta upravljanja voda mora izhajati, da količina in kakovost vodnega ali morskega dobra ali naplavin dovoljujeta nameravano gradnjo, ki je skladna z načelom trajnostne rabe voda. Začasni načrt upravljanja voda je opisan v podpoglavju 2.2.2.4.
- umeščenost predvidenega posega v prostor v prostorskem aktu, ki določa možnost gradnje objektov za rabo vode za proizvodnjo električne energije.

Zaradi rabe površinskih voda se lahko zmanjša pretok, zniža gladina ali poslabša stanje voda, zato mora biti v vseh letnih obdobjih zagotovljen ekološko sprejemljivi pretok. To je količina vode, ki ob dovoljeni rabi ne poslabša ekološkega stanja površinskih voda ali ne preprečuje njegovega izboljšanja. Ekološko sprejemljivi pretok se določi v koncesijski pogodbi na podlagi strokovnega mnenja, ki ga izdelata pooblaščenca oseba na stroške investitorja. Poseg v prostor, ki bi lahko trajno ali začasno vplival na vodni režim ali stanje voda (poseg, ki je potreben za izvajanje vodne pravice), se lahko izvede samo na podlagi vodnega soglasja (Zakon o vodah, 2002).

2.2.1.3 Gradnja mHE

Po pridobitvi gradbenega dovoljenja investitor lahko začne z gradnjo mHE. Pri projektiranju in gradnji objektov mHE je potrebno upoštevati (Šantl, 2010):

- Zakon o graditvi objektov (ZGO-1B),
 - Uredbo o vrstah objektov glede na zahtevnost,
 - Pravilnik o projektni dokumentaciji,
 - Pravilnik o gradbiščih,
 - Zakon o varstvu okolja,
 - Uredbo o vrstah posegov v okolje, za katere je potrebno izvesti presojo vplivov na okolje.
- Po končani gradnji mora investitor opraviti meritve, funkcionalni preizkus ter pridobiti tehnično poročilo pri spuščanju v obratovanje. Pristojni organ na podlagi opravljenega tehničnega pregleda izda uporabno dovoljenje.

Osnovne zahteve za pridobitev gradbenega dovoljenja so (Zakon o graditvi objektov, 2004):

- projektna dokumentacija mora biti izdelana v skladu s Pravilnikom o projektni dokumentaciji,
- v primeru, da gre za zahtevni objekt, je obvezna tudi revizija tehnične in projektne dokumentacije. Objekt je zahteven če:
 - je potrebna izdelava presoja vplivov na okolje (če volumen akumulacije mHE presega 10.000 m³ ali če je instalirana moč večja od 1 MW),
 - so elektroenergetski vodi napetosti 110 kV ali več,

- je jez višji od 10 m ali če je dolžina njune krone daljša od 250 m v primeru zemeljske pregrade, 50 m v primeru betonske pregrade oziroma 300 m v primeru jezu,
- se objekti načrtujejo z izvedbo globokega temeljenja.

Pri gradnji objektov mHE je potrebno upoštevati (Šantl, 2010):

- pravila o gradbiščih, ki določajo označevanje in upravljanje gradbišča, vsebino in način poročanja o napredovanju projekta ter nadzoru gradnje,
- zakonodajo na področju varstva pri delu,
- zagotovitev nadzora gradnje.

2.2.1.4 Obratovanje mHE

Po končani gradnji je potrebno opraviti tehnični pregled, na podlagi katerega se izda uporabno dovoljenje. Za njegovo pridobitev je potrebno upravni enoti priložiti naslednjo dokumentacijo (Šantl, 2010):

- dokumentacijo o zaključenih delih,
- načrt opazovanja območja z umeščeno novogradnjo, po končani gradnji,
- dokazilo o zanesljivosti objekta,
- navodila za vzdrževanje in delovanje objekta.

Pri obratovanju in proizvodnji električne energije je potrebno upoštevati zahteve Energetskega zakona (Energetski zakon, 2007):

- Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije
- Uredba o pogojih za pridobitev statusa kvalificiranega proizvajalca električne energije
- Sklep o določitvi prispevka za zagotavljanje podpor proizvodnji električne energije v soproizvodnji z visokim izkoristkom in iz obnovljivih virov,
- Metodologija določanja referenčnih stroškov električne energije proizvedene iz obnovljivih virov energije

Kvalificirane proizvajalce električne energije določa Energetski zakon. To so proizvajalci električne energije, ki v posameznih proizvodnih objektih proizvajajo električno energijo z izkoriščanjem obnovljivih virov energije. Vso električno energijo, ki jo proizvedejo kvalificirani proizvajalci električne energije, je dolžan odkupiti sistemski operater

distribucijskega oziroma prenosnega omrežja po ceni, ki jo določi vlada (Energetski zakon, 2007).

Uredba o pogojih za pridobitev statusa kvalificiranega proizvajalca električne energije določa vrste kvalificiranih proizvajalcev električne energije glede na primarni vir energije in nazivno električno moč. Kvalificirane elektrarne se delijo na naslednje velikostne razrede (Uredba o pogojih za pridobitev statusa kvalificiranega proizvajalca električne energije, 2007):

1. mikro: do vključno 36 kW nazivne instalirane električne moči,
2. male: nad 36 kW do vključno 1 MW nazivne instalirane električne moči,
3. srednje: nad 1 MW do vključno 10 MW nazivne instalirane električne moči,
4. velike: nad 10 MW nazivne instalirane električne moči.

O pridobitvi statusa kvalificiranega proizvajalca, odloči minister za gospodarstvo. Proizvajalec električne energije mora vložiti vlogo za pridobitev statusa kvalificiranega proizvajalca. Vlogi je potrebno priložiti elektroenergetsko soglasje, uporabno dovoljenje za elektrarno in dokazilo o proizvedeni količini električne energije (Poročilo Republike Slovenije Evropski Komisiji o implementaciji Direktive 2001/77/ES Evropskega parlamenta in Sveta o spodbujanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov energije, 2010).

Za električno energijo, proizvedeno iz obnovljivih virov energije, lahko proizvajalec električne energije zahteva izdajo potrdila o izvoru. Potrdilo o izvoru predstavlja dokaz, da je bila v določenem proizvodnem objektu, v določenem obdobju proizvedena določena količina električne energije. Potrdilo o izvoru se izda za osnovno enoto 1 kWh. Izdaja se za nazaj, in sicer za največ tri leta od vložitve zahteve za izdajo potrdila o izvoru električne energije (Uredba o izdajanju potrdil o izvoru električne energije, 2005).

Investitor mora z elektro distributerjem podpisati pogodbo o dostopu do elektro omrežja ter pogodbo o dobavi električne energije. Ko mHE preide v fazo obratovanja, je potrebno zagotoviti spremljanje in nadzor njenega delovanja. Pogoji delovanja mHE so zapisani v uredbi o koncesiji za rabo vode. Plačana vsota od koncesnine in vodnega prispevka se steka v Vodni sklad, ki je namenski finančni vir za področje upravljanja z vodami. Koncesionar mora izdelati poslovnik za obratovanje in vzdrževanje vodne naprave ali objekta. V primeru, da

koncesionar ne upošteva določil iz koncesijske pogodbe, se mu koncesija lahko odvzame (Zakon o vodah, 2002).

2.2.2 Predpisi

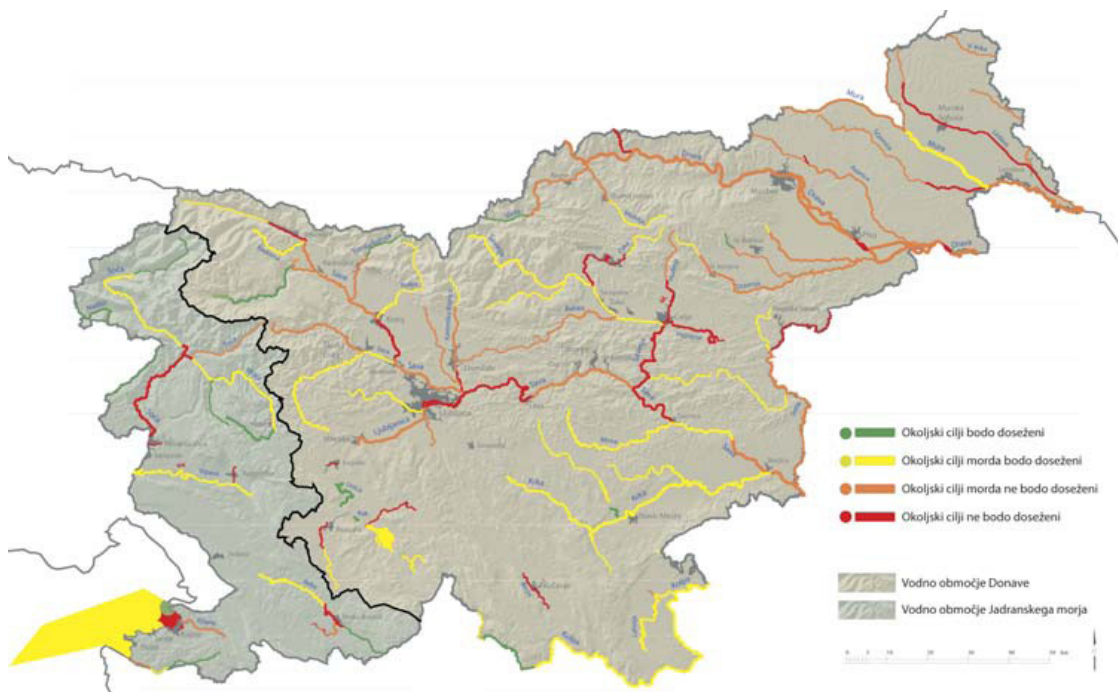
Gradnja in obratovanje mHE predstavljata kompleksen proces, zato zahtevata interdisciplinaren pristop. Predstavljata poseg človeka v naravno okolje, zato se je potrebno pred gradnjo dobro seznaniti s področji, na katere posega, ter pripraviti ustrezno zasnovo mHE. Le z ustrezno načrtovano prostorsko in tehnološko zasnovo pridobimo dovoljenja, ki so potrebna za gradnjo in obratovanje, obenem pa lahko dosežemo večji izkoristek vodotoka. Slovenska nacionalna zakonodaja na področju mHE je harmonizirana z evropskima Direktivama 2000/60/ES in 2009/28/ES. Ti direktivi ter bistveni slovenski predpisi so podani v nadaljevanju zato ker bodo služili za izdelavo idejne zasnove in večkriterijske analize za mHE Kokra.

2.2.2.1 Vodna direktiva 2000/60/ES

Vodna direktiva je osnova za trajnostno ravnanje z vodo, saj zahteva dolgoročno in integrirano načrtovanje in izvajanje ukrepov v povodjih, dosego dobrega ekološkega in kemičnega stanja voda do leta 2015. V Sloveniji se izvaja z Zakonom o vodah, ki upravlja z vodami ter vodnimi in priobalnimi zemljišči za doseganje dobrega stanja voda in drugih, z vodami povezanih ekosistemov, zagotavlja varstvo pred škodljivim delovanjem voda, ohranja in uravnava vodne količine in spodbuja trajnostno rabo voda, ki omogoča različne vrste rabe voda, med drugim tudi rabo vode za proizvodnjo električne energije (Zakon o vodah, 2002).

Na osnovi Vodne direktive je pripravljen nacionalni vodnoupjavljalski dokument, v Zakonu o vodah imenovan Načrt upravljanja voda. Izdelan je za območja, ki pripadajo skupnemu mednarodnemu povodju. V Sloveniji sta to povodji Jadranskega in Črnega morja. Odločilni kriteriji za doseg ciljev Vodne direktive so biološka in kemijska kakovost voda ter ustrezna morfologija in hidrologija vodnega telesa. Gradnja mHE posega v vodni in obvodni prostor površinskih voda, zato bom v nadaljevanju, na podlagi Nacionalnega poročila o izvajanju vodne direktive v letu 2006, predstavil zahteve Vodne direktive, ki se nanašajo na površinske

vode. Vodna direktiva je služila kot osnova za določitev okoljskih kriterijev večkriterijske analize za mHE Kokra (Globevnik, 2006).



Povodje Jadranskega in Črnega morja, z označenimi vodotoki glede doseganja dobrega ekološkega stanja do leta 2015 (Globevnik, 2006, 10)

2.2.2.1.1 Vodna direktiva 2000/60/ES: umetna in močno preoblikovana vodna telesa

Ker lahko antropogene dejavnosti močno preoblikujejo morfologijo vodnega telesa, jih Vodna direktiva definira kot močno preoblikovana. Oznaka močno preoblikovana se nanaša izključno na vodna telesa, ki so zajezena ali pa so na njih zgrajene strukture za specifično rabo, ter na vodna telesa, kjer bi doseganje dobrega ekološkega stanja zahtevalo zoženje obsega rabe in s tem občutno zmanjšanje socialnih in ekonomskih prednosti, ki jih prinaša specifična raba vodnega telesa. Dodatek II Vodne direktive zahteva, da se med drugim identificira odvzeme vode, spremembe dinamike odtoka vode, vodne regulacije in morfološke spremembe ter da se ugotovi njihov vpliv na vodna telesa (Globevnik, 2006). Pri izgradnji mHE Kokra bi vodno telo obremenili s povratnim odvzemom vode, spremembo dinamike odtoka vode, vodno regulacijo ter morfološki spremembami.

2.2.2.1.2 Vodna direktiva 2000/60/ES: hidromorfološke obremenitve

V razvitih državah imajo obremenitve, kot so odvzemi vode, regulacije vodnih tokov in morfološke spremembe, pogosto največji vpliv na kakovostno stanje vodnega telesa. Navadno so strnjene v en kazalec, imenovan hidromorfološke obremenitve, ki ga ločeno sestavljajo elementi hidroloških in morfoloških obremenitev. Poleg preoblikovanja same pokrajine lahko takšne spremembe odvzamejo vodnim organizmom njihove habitate in s tem ogrozijo njihov obstoj. Hidrološke obremenitve predstavljajo odvzemi vode iz površinskih vodotokov za potrebe mHE ter regulacije vodotokov z zaježitvami, ki spremenijo dinamiko odtoka in toka vode. Morfološke obremenitve imajo vpliv na elemente struge ali obrežnega pasu. Največja morfološka obremenitev na vodotokih so pregrade, saj v celoti spremenijo vodni režim vodotokov (Globevnik, 2006).

2.2.2.1.3 Vodna direktiva 2000/60/ES: ekonomska analiza rabe vode

Vodotoke izrabljamo za različne gospodarske dejavnosti, med drugim tudi za pridobivanje hidroenergije. Ta izraba lahko s posrednimi ali neposrednimi vplivi povzroči škodo za okolje, ki je pogosto ugotovljena prepozno. Vodna direktiva v 5. členu poleg analize vodnih območij in značilnosti vodnih teles zahteva, da se izvede ekonomska analiza rabe vode. Njen namen je pregled rabe vode za antropogene dejavnosti in vpliv teh dejavnosti na socialno-ekonomske kazalce. Z analizo dolgoročno preverimo razmerja med stroški in koristmi rabe vode (Globevnik, 2006).

2.2.2.1.4 Vodna direktiva 2000/60/ES: ocena stroškovno učinkovitih ukrepov

Vodna direktiva določa, da mora ekonomska analiza vsebovati dovolj informacij za določitev, ukrepov, ki ob upoštevanju stroškov učinkovito izboljšajo stanje vodnega telesa. Metodologij za to, še ni (Globevnik, 2006).

2.2.2.1.5 Vodna direktiva 2000/60/ES: varovana območja

Po direktivi so namenjeni varovanju naslednji tipi območij (Globevnik, 2006):

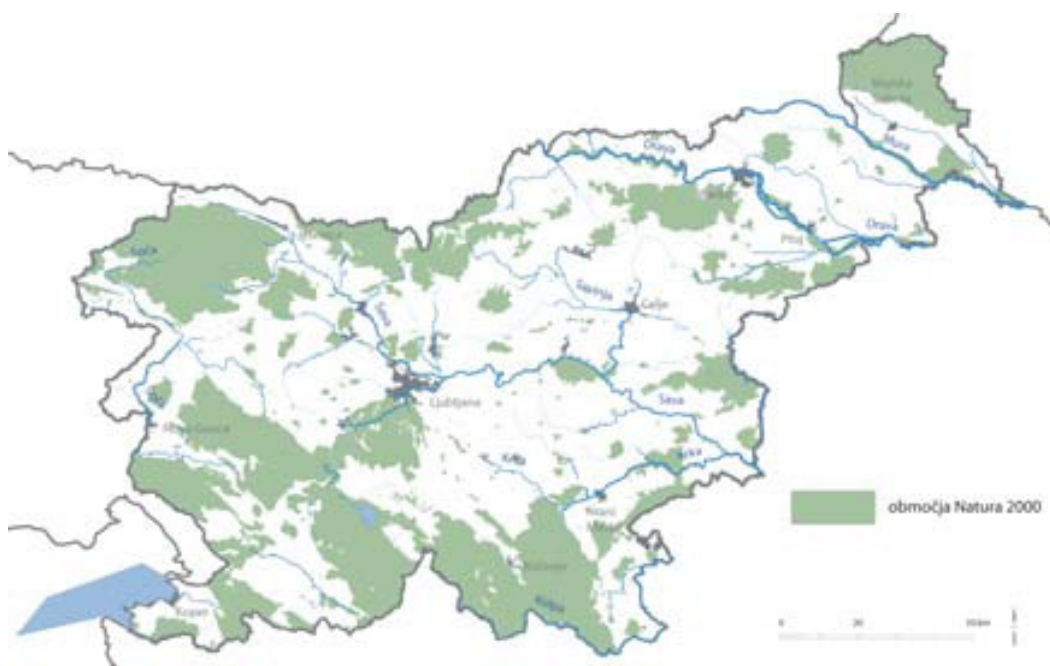
- območja, določena za odvzem vode za oskrbo ljudi (vodovarstvena območja),
- območja, določena za zaščito ekonomske pomembnih vodnih vrst,
- vodna telesa, določena kot rekreativne in kopalne vode,

- občutljiva območja, vključno z ranljivimi območji,
- območja, določena za varovanje habitatov in vrst, kjer je ohranjanje in izboljšanje stanja vode pomemben dejavnik pri njihovem varovanju.

Posebnost Slovenije je velika pestrost rastlinskih in živalskih vrst na majhni površini. V Sloveniji živi približno 15.000 živalskih in 6.000 rastlinskih vrst ter 5.000 vrst iz sveta gliv. Ogroženih je 36 % sesalcev, 49 % vrst ptic, 16 od 22 vrst dvoživk, 48 % vrst domorodnih rib pa tudi 10 % višjih rastlin. Večino vrst ogroža krčenje in izginjanje naravnega življenjskega prostora. Največjo pozornost med habitatni zahtevajo vlažna, suha, alpinska in subalpinska travišča, barja, stoječe in tekoče vode, morski in obalni habitatni tipi, gozdovi ter podzemeljski habitatni tipi (Globevnik, 2006).

2.2.2.2 Uredba o posebnih varstvenih območjih

Uredba o posebnih varstvenih območjih implementira Direktivo o ohranjanju naravnih habitatov in prosto živečih živalskih in rastlinskih vrstah 92/43/EGS ter Direktivo o ohranjanju prosto živečih ptic 79/409/EGS. Uredba določa Natura 2000, ki predstavlja območje, ki je namenjeno varovanju naravnih habitatov ter ogroženih živalskih vrst. (Krajčič in Klemenčič, 2008).



Prikaz posebnih varstvenih območij – Natura 2000 (Globevnik, 2006, 44)

Namen Nature 2000 je ohranjanje biotske raznovrstnosti in sicer tako, da varuje naravne habitate ogroženih rastlinskih in živalskih vrst. Vlada RS je določila območja Natura 2000 v Sloveniji z Uredbo o posebnih varstvenih območjih (območja Natura 2000, Natura, 2010). Določenih je 26 območij po direktivi o pticah in 260 območij po direktivi o habitatih. Prva zavzemajo 22,8 %, druga pa 31,5 % slovenskega ozemlja. Skupaj evropsko ekološko omrežje v Sloveniji tvori 35,5 % slovenskega ozemlja (639.735 ha) (Globevnik, 2006). Območja se pretežno prekrivajo, saj je 60 odstotkov površin predlaganih na podlagi direktive o habitatih, znotraj predlaganih posebnih varstvenih območij po direktivi o pticah. Oblikovanje mreže posebej varovanih območij Natura 2000 pravno ureja Zakon o ohranjanju narave (Ur. l. RS, št. 56/99, 31/00-popr., 119/02 in 41/04) (Natura 2000, 2010).

Direktiva o pticah zahteva, da (Natura 2000, 2010):

- je potrebno ohraniti populacije prosto živečih ptičev na ravni, ki ustreza ekološkim, znanstvenim in kulturnim zahtevam, upoštevajoč ekonomske in rekreacijske potrebe,
- ima varstvo prednost pred ekonomskim izkoriščanjem oziroma rekreacijo.

Direktiva o habitatih zahteva (Natura 2000, 2010):

- preprečevanje slabšanja razmer,
- preverjanje vseh načrtov ali projektov (tudi če je načrtovan zunaj območja in lahko vpliva na vrste v območju),
- prevlada javnega interesa, izravnalni ukrepi,
- ugodnosti pri financiranju.

Z Uredbo o zavarovanih prosto živečih rastlinskih vrstah Vlada RS ureja ohranjanje rastlinskih vrst ter daje pravno osnovo za ohranjanje njihovih življenjskih prostorov. Uredba določa prosto živeče rastlinske vrste, ki so ogrožene ali varovane, ureja pravila ravnanja z omenjenimi vrstami, varstvene režime, način varstva njihovih habitatov, instrumente za zagotavljanje ugodnega stanja habitatov teh vrst ter način spremljanja stanja (Natura 2000, 2010).

Uredba o habitatnih tipih določa habitatne tipe, ki se na celotnem območju Republike Slovenije ohranjajo v ugodnem stanju ter ureja usmeritve za njihovo ohranjanje. Habitatni tipi, ki se ohranjajo v ugodnem stanju, so tisti, ki so na ozemlju Republike Slovenije redki,

ranljivi, imajo majhno naravno območje razširjenosti ali predstavljajo za določeno biogeografsko regijo značilen habitatni tip, in tisti, katerih ohranjanje v ugodnem stanju se izvaja na podlagi ratificiranih mednarodnih pogodb ali je v interesu Evropske unije. Izvajanje obveznosti varstva posebnih varstvenih območij–območij Natura 2000, opredeljuje Program upravljanja območij Natura 2000. (Natura 2000, 2010).

2.2.2.3 Uredba o kriterijih za določitev ter način spremljanja in poročanja o ekološko sprejemljivem pretoku

Uredba o kriterijih za določitev ter način spremljanja in poročanja o ekološko sprejemljivem pretoku izhaja iz Zakona o vodah, ki implementira Vodno direktivo 2000/60/ES. Služi za določitev ekološko sprejemljivega pretoka, ki mora biti zagotovljen na odvzemnem mestu mHE Kokra. Uredba se uporablja za posebno rabo površinske vode, ki lahko povzroči zmanjšanje pretoka vode, znižanje gladine vode ali poslabšanje stanja voda. Izrazi, uporabljeni v tej uredbi, imajo naslednji pomen:

- povraten odvzem vode je odvzem, pri katerem se odvzeta voda vrača nazaj v isti vodotok,
- dolg odvzem vode je povraten odvzem, pri katerem se odvzeta voda vrača v vodotok na razdalji, ki je daljša kot pri kratkem odvzemu vode,
- majhen odvzem vode je odvzem, pri katerem je količina odvzete vode enaka ali manjša od srednjega pretoka na mestu odvzema,
- velik odvzem vode je odvzem, pri katerem je količina odvzete vode večja od srednjega pretoka na mestu odvzema,
- mHE je mikro, mala ali srednja hidroelektrarna v skladu s predpisom, ki ureja podpore električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije,
- sušno obdobje je obdobje koledarskih mesecev: december, januar, februar, junij, julij, avgust in september za skupine ekoloških tipov 2, 3 in 4 iz preglednice iz Priloge 2, ki je sestavni del te uredbe,
- vodnato obdobje je obdobje koledarskega leta, ki ni opredeljeno kot sušno.

Ekološko sprejemljivi pretok se določi z izračunom po naslednji enačbi:

$$Q_{es} = f \cdot sQ_{np}$$

pri čemer je Q_{es} ekološko sprejemljivi pretok, f faktor (odvisen od ekološkega tipa vodotoka), in Q_{np} srednji mali pretok. Vrednosti faktorja f so določene v preglednicah v Prilogi 1 (Slika 18, 19), ki je sestavni del te uredbe.

Ekološko sprejemljivi pretok se lahko natančno določi tudi na podlagi študije za določitev ekološko sprejemljivega pretoka, ki jo ob vložitvi pobude oziroma vloge predloži pobudnik oziroma vlagatelj vloge za pridobitev vodne pravice. Minimalne zahteve za izdelavo študije za določitev ekološko sprejemljivega pretoka so določene v Prilogi 3, ki je sestavni del uredbe. Vrednost ekološko sprejemljivega pretoka se lahko spremeni na vrednost iz mnenja o vplivu posega na stanje rib, v skladu s predpisi, ki urejajo sladkovodno ribištvo, kadar je to potrebno zaradi prehajanja rib čez grajene objekte ali zaradi zmanjšanja vpliva posega na stanje rib ali na vrednost iz pogojev rabe, ki izhajajo iz naravovarstvenih usmeritev ali smernic po predpisih o ohranjanju narave.

Ekološko sprejemljivi pretok se ne določa za točkovne odvzeme, če gre za posebno rabo vode za proizvodnjo električne energije v mHE. Kadar je na mestu odvzema zagotovljen prehod za ribe v skladu s predpisi, ki urejajo sladkovodno ribištvo, mora imetnik vodne pravice na mestu odvzema v vseh letnih obdobjih zagotoviti tisto količino vode, ki je potrebna za prehod rib. Ekološko sprejemljivi pretok, določen v skladu s to uredbo, velja v vseh letnih obdobjih, razen v razmerah, ko je dejanski pretok na mestu odvzema manjši od ekološko sprejemljivega pretoka. Objekt ali naprava oziroma sistem naprav za odzjem vode mora biti oblikovan tako, da ne omogoča odvzema vode, kadar se pretok na mestu odvzema zmanjša pod ekološko sprejemljivi pretok. Šteje se, da je s tem spremljanje ekološko sprejemljivega pretoka zagotovljeno.

Za ureditev tehnične rešitve zagotovitve ekološko sprejemljivega pretoka in načina spremljanja ekološko sprejemljivega pretoka iz tega člena je treba pridobiti vodno soglasje. Imetnik podeljene vodne pravice lahko v obdobju, ko je dejanski pretok vode na mestu odvzema manjši od ekološko sprejemljivega pretoka v skladu z uredbo, vodo odvzema tako, da se zagotovi tista količina vode, ki je potrebna za prehod rib na odseku med odvzemom in ponovnim dotokom vode.

Skupina ekoloških tipov	Velikost prispevne površine				
	< 10 km ²	10–100 km ²	100–1.000 km ²	1.000–2.500 km ² in sQs < 50 m ³ /s	> 2.500 km ² ali sQs > 50 m ³ /s
Točkoven odvzem					
1 ⁽¹⁾	0,7	0,7	0,5	0,4	
2 ⁽¹⁾	0,7	0,5	0,4	0,4	
3	0,5	0,4	0,3		
4					0,3
Kratek odvzem celo leto ali dolg odvzem v sušnem obdobju					
1 ⁽¹⁾	1,2	1,2	1,0	0,8	
2 ⁽¹⁾	1,2	1,0	0,8	0,8	
3	1,0	0,8	0,7		
4					0,7
Dolg odvzem v vodnatem obdobju					
1 ⁽¹⁾	1,9	1,9	1,6	1,3	
2 ⁽¹⁾	1,9	1,6	1,3	1,3	
3	1,6	1,3	1,1		
4					1,1

⁽¹⁾ faktor f se pomnoži z 1,6, če je razmerje med srednjim pretokom in srednjim malim pretokom na mestu odvzema večje od 20

Vrednosti faktorja f za izračun sprejemljivega pretoka (Uredba o kriterijih za določitev ter način spremljanja in poročanja o ekološko sprejemljivem pretoku, 2009)

Skupina ekoloških tipov ⁽¹⁾	Ekoregija	Bioregija	Ekološki vodotoka ⁽²⁾	tip
1	3	Spodnja vipavska dolina in Brda	vsi ekološki tipi v bioregiji	
	11	Panonska gričevja in ravnine	vsi ekološki tipi v bioregiji	
	11	Krško-brežiška kotlina	vsi ekološki tipi v bioregiji	
	5	Obalna gričevja	vsi ekološki tipi v bioregiji	
	11	Panonske ravnine z alpskim vplivnim območjem	vsi ekološki tipi v bioregiji	
2	4	Predalpska hribovja-donavsko porečje	vsi ekološki tipi v bioregiji	
	4	Predalpska hribovja-jadransko povodje	vsi ekološki tipi v bioregiji	
	5	Preddinarska hribovja in ravnine	vsi ekološki tipi v bioregiji	
	5	Dinarski kras	vsi ekološki tipi v bioregiji	
	5	Submediteranski kras	vsi ekološki tipi v bioregiji	
3	5	Submediteranska hribovja brez površinskega odtoka	vsi ekološki tipi v bioregiji	
	5	Submediteranska hribovja s površinskim odtokom	vsi ekološki tipi v bioregiji	
	4	Karbonatne Alpe-donavsko porečje	vsi ekološki tipi v bioregiji	
	4	Silikatne Alpe	vsi ekološki tipi v bioregiji	
	4	Karbonatne Alpe-jadransko povodje	vsi ekološki tipi v bioregiji	
4	5	Dinarska hribovja	vsi ekološki tipi v bioregiji	
		Velike reke	vsi ekološki tipi v bioregiji	

⁽¹⁾ skupine ekoloških tipov so prikazane na publikacijski karti, ki je objavljena na spletnih straneh ministrstva

⁽²⁾ ekološki tipi vodotokov v skladu s predpisi, ki urejajo stanje površinskih voda

Skupine ekoloških tipov vodotokov (Uredba o kriterijih za določitev ter način spremljanja in poročanja o ekološko sprejemljivem pretoku, 2009)

2.2.2.4 Začasni načrt upravljanja voda

Vodna direktiva podaja pravna in strokovna izhodišča za upravljanje z vodnimi telesi v nacionalni zakonodaji Republike Slovenije z Načrtom upravljanja voda, ki je podzakonski akt Zakona o vodah. Načrt upravljanja voda je izdelan za območja, ki pripadajo skupnemu mednarodnemu povodju. Z njim se določijo obvezna izhodišča za izvajanje posameznih nalog upravljanja voda in pripravo podrobnejših načrtov upravljanja voda. Šteje se kot okoljsko izhodišče na področju upravljanja voda v skladu s predpisi, ki urejajo varstvo okolja. Začasni načrt upravljanja voda je opisan zato, ker je s tipizacijo ter oceno morfološkega, hidrološkega in ekološkega stanja, služil za seznanitev z območjem mHE Kokra.

Površina ozemlja Republike Slovenije je 20.273 km². Vodno območje (v nadaljevanju VO) Donave zajema 16.422 km², kar je 81 % celotnega ozemlja RS, VO Jadranskega morja pa 3.851 km², kar je 19 % ozemlja. Za glavne reke na VO Donave se štejejo vodotoki, ki imajo prispevno površino do iztoka večjo kot 100 km². Med glavne reke spada tudi Kokra. V naslednji preglednici so podani njeni osnovni podatki, v naslednjih podpoglavjih pa opis njenih osnovnih značilnosti, obremenitev in vplivov.

Osnovni podatki o reki Kokri (Začasni načrt upravljanja voda, 2010):

Vodotok	Pripadnost vodnemu območju	Skupna dolžina Glavnega vodotoka (F > 100 km ²) [km]	Najbližja vodomerna postaja izlivu	Prispevna površina Vodomerne postaje [km ²]	Srednji letni pretok 1961-2003
Kokra	VO Donave	34,54	Kranj	220,23	4,51

2.2.2.4.1 Začasni načrt upravljanja voda: tipi vodnih teles vodotokov

Tipi vodnih teles površinskih voda so določeni s Pravilnikom o določitvi in razvrstitvi vodnih teles površinskih voda. Za določitev tipov vodnih teles vodotokov so bili uporabljeni obvezni abiotski deskriptorji: geološka podlaga in velikost prispevne površine, dodatno je bil izbran biotski deskriptor hidroekoregije. Hidroekoregija je določeno pokrajinsko območje celinskih voda, ki ga označujejo različni abiotski in biotski dejavniki in je odraz geoloških, geomorfoloških, hidrografskih, hidroloških in geografskih značilnosti območja, zaradi katerih se je izoblikovala določena vodna flora in favna. Na območju Republike Slovenije so bile

določene štiri hidroekoregije: Padska nižina, Alpe, Dinaridi in Panonska nižina. V naslednjih preglednicah sta podana tip in lastnosti vodotoka Kokra.

Vodno telo Kokre in njena razvrstitev v tip (Začasni načrt upravljanja voda, 2010):

Površinska voda	Ime vodnega telesa	Tip	Koordinate gorvodne meje vodnega telesa		Koordinate dolvodne meje vodnega telesa	
			Y	X	Y	X
Kokra	VT Kokra Preddvor – Kranj	4SA	457191	140287	455999	128055
Kokra	VT Kokra Preddvor – Kranj	5SA	455999	128055	450721	121240

Tip in lastnosti vodnega telesa Kokre (Začasni načrt upravljanja voda, 2010):

Šifra tipa	Hidroekoregija	Velikost prispevne površine [km ²]	Večinska geološka podlaga zaledja
4SA	4	100 do 1.000	apnenčasta
5SA	5	100 do 1.000	apnenčasta

Deskriptorji in njihovi razredi za Kokro (Začasni načrt upravljanja voda, 2010):

Hidroekoregija	4 = Hidroekoregija Alpe, ki predstavlja ekoregijo 4. Alpe po Illiesu 5 = Hidroekoregija Dinaridi, ki predstavlja ekoregijo 5. Dinarski zahodni Balkan po Illiesu
Velikost prispevne površine	S = srednja prispevna površina (100 do 1.000 km ²)
Večinska geološka podlaga zaledja	A = apnenčasta

Samostojna vodna telesa površinskih voda, ki imajo očitno in bistveno spremenjene hidrološke in morfološke značilnosti glede na naravne razmere, so opredeljena kot kandidati za močno preoblikovana vodna telesa. Umetna vodna telesa so bila opredeljena na območju, kjer površinska voda predhodno ni obstajala. Kokra v tem trenutku ni na nobenem njenem odseku, ne kandidat za močno preoblikovano vodno telo, ne umetno vodno telo.

2.2.2.4.2 Začasni načrt upravljanja voda: hidromorfološke obremenitve vodotokov

Hidrološke obremenitve močno vplivajo na kakovostno stanje v vodotoku, saj lahko vodnih organizmom odvzamejo njihove habitate. Kot hidrološka obremenitev se upošteva:

- z vodnimi objekti na vodotoku spremenjen naravni vodni režim,
- prerazporeditev vodnih količin v tleh ob vodotokih in
- odvzem vode iz površinskega vodotoka za različne rabe.

Naravni vodni režim vodotoka je lahko spremenjen zaradi:

- zadrževanja in kontroliranega spuščanja vodnih količin iz vodnih zadrževalnikov.
- dodajanja ali preprečevanja ali odvzemanja in kontroliranega izpuščanja vode iz jezer ali zatokov ali
- pospešenih oziroma hitrejših odtokov visokih voda po strugah, ki so regulirane ali pa nudijo manjši hidravlični upor.

Jezovi za mHE vplivajo na vodni režim vodotoka ter predstavljajo prepreko za nemoteno prehajanje vodnega življa izpod pregrade gorvodno in dolvodno. Objekti za zadrževanje vode in naprave za uravnavanje vodnih količin predstavljajo spremembo naravnih morfoloških značilnosti površinskih voda. Med odvzeme površinske vode za različne rabe se upošteva tudi odvzem vode za potrebe mHE.

Merila za opredelitev pomembnih morfoloških obremenitev:

1. Odvzemanje vode iz strug površinskih vodotokov, če je srednji pretok ostanka vode v strugi (sQ_s) zaradi odvzema, manjši od ekološko sprejemljivega pretoka (Q_{es}) in je ta odvzem daljši od 1000 m ($sQ_s < Q_{es}$ in $l > 1000$ m).
2. Zajezitev vode v hidrografskem območju vodnega telesa vodotoka, če je dolžina zajezitve daljša od 1.000 m, prostornina zajezitve večja od 1 mio m³ ali višina pregrade višja od 4 m ob tem pa prekinjena hidromorfološka vzdolžna povezanost struge vodotoka.
3. Zajezitev ali odvzem vode iz struge površinskih vodotokov, če se na vodnem telesu vodotoka nahajata dve ali več zajezitev (odvzemov), s katerimi je prekinjen tok vode po strugi navzdol in prihaja do motene prodonosnosti ali spremenjenega režima nizkih voda.
4. Sprememba režima toka vode se zgodi, ko se prekine ali oslabi povezave toka vode med strugo, hiporeično cono in poplavnimi površinami na razdalji, večji od 1000 m ali se prekine poplavljanje z več kot petletno povratno dobo zaradi regulacije, poglobitve ali izgradnje visokovodnih nasipov. Režim toka vode se lahko spremeni tudi zaradi gorvodno ležeče pregrade (zadrževalnik), večjega števila iztokov iz kanalizacij ali melioracijskih jarkov.
5. Če se na vodnem telesu ali njegovem delu izkorišča voda za proizvodnjo električne energije in je količina vode, ki naenkrat priteče v vodotok, vsaj trikrat večja od

obstoječega pretoka vode v strugi ali je na območju vodnega telesa zajezitev vode za zadrževalnik HE daljša od 1000 m in če obstaja ena ali več večjih zajezitev znotraj vodnega telesa.

Kot morfološka obremenitev se upoštevajo vodni objekti in naprave za:

- ohranjanje in uravnavanje vodnih količin,
- vzdrževanje vodnih in priobalnih zemljišč,
- skrb za hidromorfološko stanje vodnega režima,
- izvajanje monitoringa,

ter ureditve:

- vodotok, ki je nastal zaradi prestavitve ali ureditve naravnega vodotoka, in
- vodni zadrževalnik ali prostor zajezitve tekoče vode.

Največje morfološke obremenitve predstavljajo visokovodne pregrade, saj v celoti spremenijo vodni režim vodotokov. Pregrade na vodotokih s stalno ojezeritvijo, se delijo višje in nižje od 4 m. Manjše, tehnično manj zahtevni vodni objekti, naprave in ureditve, posamezno ne predstavljajo pomembne obremenitve, na daljših odsekih pa njihov vpliv na vodni režim ni zanemarljiv.

Glavni strukturni in funkcijski elementi, ki vplivajo na vodni režim so:

- vzdolžna in prečna razgibanost struge: prisotnost ali odsotnost različnih pretočnih profilov, orientacij brežin, prisotnost ali odsotnost retencijskih površin v koridorjih struge
- erozija brežin in dna ter s tem možnost izmenjave vode med strugo in hiporeično cono,
- povezanost struge s poplavnimi površinami,
- prodonosnost in možnost oblikovanja prodišč v prostorskem vidiku,
- niveleta dna (izravnana/uravnana ali v ravno linijo predstavljena struga), ki je vedno poglobljena in zato vzdolžno enovito utrjena, ali utrjena s sistemom pragov, lahko pa umirjana z večjo jezovno zgradbo.

V naslednjih preglednicah so podane ocene prisotnosti hidroloških obremenitev, pomembnih morfoloških obremenitev ter merila za prvo oceno vplivov na vodna telesa vodotoka Kokra. Podane sta oceni o verjetnosti doseganja dobrega ekološkega in kemijskega stanja ter končna ocena vodnega telesa Kokra.

Ocena prisotnosti hidroloških obremenitev Kokre (Začasni načrt upravljanja voda, 2010):

Ime vodnega telesa	kriteriji pomembnih obremenitev za vodotoke				kriteriji pomembnih obremenitev za jezera, zatok, UVT			
	1	2	3	4	5	6	7	8
VT Kokra Jezersko – Preddvor			x					
VT Kokra Preddvor – Kranj			x					

Razlaga oznak:

- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1 $sQ_s < Q_{es}$ na dolžini večji od 1.000 m | 5 Qvršni 1 : 5, HE ak > 1000 m |
| 2 zadrževanje vode za pregradami | 6 nihanja gladine |
| 3 odvzemi, izpusti | 7 bogatenje / prekinitve dotoka |
| 4 moten poplaveni režim, moten odtok | 8 uravnavan režim |

Ocene prisotnosti pomembnih morfoloških obremenitev Kokre (Začasni načrt upravljanja voda, 2010):

Ime VT	Dolžina VT	A	B	C	D
VT Kokra Jezersko – Preddvor	23,0	39,8	53,4	4,9	1,8
VT Kokra Preddvor – Kranj	11,5	43,0	49,9	5,6	1,5

Ocena prisotnosti pomembnih morfoloških obremenitev za vodotok Kokra je bila izračunana kot povprečje vsote uteženih produktov dolžinskih deležev i-tega razreda.

Merila za prvo oceno vplivov na vodno telo Kokre glede na stanje hidromorfoloških elementov:

Razred 7-stopenjske lestvice za razvrščanje vodotokov po naravovarstvenem pomenu	Razred 4-stopenjske lestvice za pripravo pregleda HM obremenitev	Ocena vpliva
1. in 1. ÷ 2.	A	1 = Ni vpliva ali je vpliv zanemarljiv
2. in 2. ÷ 3.	B	2 = Majhen vpliv
3.	C	3 = Zmeren vpliv
3. ÷ 4. in 4.	D	4 = Velik vpliv

Ocena verjetnosti doseganja dobrega ekološkega stanja vodnega telesa Kokre po posameznih merilih:

Ime VT	Ocena verjetnosti doseganja dobrega ekološkega stanja glede na posamezno merilo / skupno:				
	Hidromorfološki elementi	onesnaženje s hranili	organsko onesnaženje	onesnaženje s sintetičnimi in nesintetičnimi onesnaževali	Ekološko stanje
VT Kokra Jezersko – Preddvor	2	1	1	1	2
VT Kokra Preddvor – Kranj	2	1	2	1	2

Za oceno, ali bodo posamezna vodna telesa površinskih voda dosegla zanje določene cilje, je bila izdelana lestvica štirih opisnih ocen glede na verjetnost doseganja okoljskih ciljev:

- 1 = ocenjuje se, da okoljski cilji bodo doseženi,
- 2 = ocenjuje se, da okoljski cilji verjetno bodo doseženi,
- 3 = ocenjuje se, da okoljski cilji verjetno ne bodo doseženi,
- 4 = ocenjuje se, da okoljski cilji ne bodo doseženi.

Ocena verjetnosti doseganja dobrega kemijskega in dobrega ekološkega stanja vodnega telesa Kokre ter končna ocena (Začasni načrt upravljanja voda, 2010):

Ime VT	Ocena verjetnosti doseganja okoljskih ciljev glede na		
	Kemijsko stanje	Ekološko stanje	Končna ocena
VT Kokra Jezersko – Preddvor	1	2	2
VT Kokra Preddvor – Kranj	1	2	2

2.2.2.4.3 Začasni načrt upravljanja voda: območja s posebnimi zahtevami

Območja s posebnimi zahtevami so:

- vodovarstvena območja in območja kopalnih voda, po predpisih o vodah
- ogrožena območja po predpisih o vodah,
- območja, pomembna za življenje in rast morskih školjk in polžev po predpisih o vodah,
- občutljiva in ranljiva območja po predpisih varstva okolja,

- zavarovana in varovana območja po predpisih o ohranjanju narave,
- območja salmonidnih in ciprinidnih voda po predpisih, ki urejajo določitev odsekov površinskih voda, pomembnih za življenje sladkovodnih vrst rib.

Vodovarstvena območja se zavarujejo z akti Vlade Republike Slovenije z namenom, da se v čim večji meri prepreči in omeji točkovne in razpršene vire onesnaževanja. Zaščitni ukrepi, prepovedi in omejitve se nanašajo tako na gradnjo objektov kot tudi na ravnanje s kmetijskimi in drugimi zemljišči in so na posameznem notranjem vodovarstvenem območju virov pitne vode različno strogi. Za občutljivo območje zaradi eutrofikacije se šteje vodno telo površinske vode, če je zanj mogoče ugotoviti ali pričakovati eutrofikacijo. Občutljivim vodam je določeno še prispevno območje na podlagi hidrografskih razvodnic.

Slovenija je z Uredbo o posebnih varstvenih območjih določila območja NATURA 2000 in sprejela potrebne ukrepe za njihovo ustrezno ohranjanje. S Pravilnikom o določitvi odsekov površinskih voda, pomembnih za življenje sladkovodnih vrst rib, so določeni odseki površinskih voda, ki so pomembni za življenje sladkovodnih salmonidnih in ciprinidnih vrst rib. Z Uredbo o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih vrst rib (Uradni list RS št. 46/02) so določeni fizikalni in kemijski parametri kakovosti, določene in klasificirane mejne in priporočene vrednosti fizikalnih in kemijskih parametrov kakovosti površinske vode za salmonidne in ciprinidne vrste ter določena obveznost izvajanja monitoringa. S Pravilnikom o imisijskem monitoringu kakovosti površinske vode za življenje sladkovodnih vrst rib (Uradni list RS, št. 71/02) pa je določen način in obseg izvajanja imisijskega monitoringa površinskih voda za življenje sladkovodnih vrst rib.

2.2.2.4.4 Začasni načrt upravljanja voda: ekonomsko vrednotenje rabe vode ali naplavin in varstva ter urejanja voda

Zakon o vodah je uvedel Sklad za vode, v katerem se zbirajo sredstva za financiranje vodne infrastrukture. Vir Sklada za vode so vodna povračila in plačila za vodne pravice. Proizvodnja elektrike v hidroelektrarni pod in nad 10 MW spada v sektor energetike, za katerega je določeno, da za rabo vode plačuje vodno povračilo. Enote za obračun so MWh. V naslednji preglednici je prikazana raba vode po sektorjih, kot jih predlaga Direktiva 2000/60/ES.

Raba vode po sektorjih v Sloveniji za leto 2004 (Začasni načrt upravljanja voda, 2010):

SEKTOR	v m ³	ID
gospodinjstva	160.586.023	311
kmetijstvo	1.027.580	326, 327, 334
industrija, rudarstvo	69.544.425	321, 322, 331, 332, 361, 371
sektor storitev	24.943.394	329, 335
energija	752.505.479	325, 341, 342
ribogojstvo, ribištvo	168.200.176	328
turizem, zdravstvo	2.891.054	323, 324
<i>SKUPAJ</i>	<i>1.179.698.131</i>	

Iz podatkov je razvidno, da je največji porabnik vode sektor energije. Največji delež v znesku zbranih vodnih povračil za energetski sektor predstavljajo vodna povračila za rabo vode iz lastnega zajetja za tehnološke namene pri hlajenju v TE in JE (99 %), preostali 1 % pa predstavljajo vodna povračila za proizvodnjo energije v HE in mHE.

2.2.2.5 Direktiva o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov, spremembi in poznejši razveljavitvi direktiv 2001/77/ES in 2003/30/ES – Direktiva 2009/28/ES

Direktiva 2009/28/ES evropskega parlamenta in sveta z dne 23. aprila 2009 o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov, spremembi in poznejši razveljavitvi direktiv 2001/77/ES in 2003/30/ES (v nadaljevanju: Direktiva 2009/28/ES) določa, da mora vsaka država članica sprejeti nacionalni akcijski načrt za obnovljive vire energije (v nadaljevanju: AN OVE) za obdobje 2010–2020. V teh načrtih je treba določiti nacionalne cilje držav članic za deleže obnovljivih virov energije v rabi bruto končne energije za ogrevanje in hlajenje, pri rabi električne energije ter v prometu v letu 2020. Z Direktivo 2009/28/ES sta potrjena dva cilja na področju OVE, in sicer obvezni 20 % delež OVE v skupni rabi bruto končne energije Evropske skupnosti in obvezni 10 % delež OVE v prometu, ki ju morata doseči vse države članice do leta 2020. Za Slovenijo je določeno, da mora do leta 2020 doseči najmanj 25 % delež OVE v rabi bruto končne energije. Nasprotno merilom ustrezne porazdelitve in upoštevanja različnih izhodišč in potencialov držav članic Evropske unije, pa Direktiva 2009/28/ES določa, da se najmanj 10-odstotni cilj za OVE v prometu določi na enaki ravni za vsako državo članico (Akcijski načrt za obnovljive vire energije, 2010).

Izraba obnovljivih virov energije, prispeva k trajnostnemu razvoju, zmanjševanju onesnaževanja okolja z izpusti CO₂, zanesljivosti oskrbe z energijo in razvoju podeželja. Čedalje večja odvisnost Evropske unije od uvoza energije ogroža zanesljivost njene oskrbe z energijo ter povzroča višje cene. Zaradi posledic podnebnih sprememb, čedalje večje odvisnosti od fosilnih goriv in naraščajočih cen energije je toliko pomembnejše, da EU vzpostavi celostno in ambiciozno energetska politiko. V okviru energetske politike izstopa sektor obnovljive energije zaradi svoje sposobnosti hkratnega zmanjševanja emisij toplogrednih plinov in onesnaževanja ter izkoriščanja lokalnih, decentraliziranih virov energije (Predlog direktive o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov, 2010).

Raba končne energije v Sloveniji se vsako leto povečuje, hkrati pa se znižuje delež obnovljivih virov v končni energiji. Povečanje učinkovitosti rabe končne energije predstavlja potencial za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov. Direktiva 2006/32/EC zahteva od države članice EU zmanjšanje porabe končne energije za 9 % v obdobju 2008–2016 glede na izhodiščno obdobje med leti 2001–2005. Za Slovenijo to predstavlja zmanjšanje porabe končne energije za 9 % ali za najmanj 4261 GWh (gigavatne ure) do leta 2016 ali za 1184 GWh, kolikor znaša vmesni ciljni prihranek končne energije 2008- 2010, kar znaša za 2,5 % manjšo porabo energije glede na bazno obdobje (Umanotera, 2010).

Slovenija ima po Direktivi o obnovljivih virih energije 2009/28/EC (A del, Aneks 1) zavezujoč cilj, da morajo OVE predstavljati do leta 2020 25 % delež v skupni rabi končne energije. Države članice so dolžne direktivo implementirati v notranji pravni red do 5. decembra 2010. Leta 2009 mora delež obnovljivih virov energije v skupni rabi končne energije znašati vsaj 16,5 %. Leta 2007 je delež znašal 15,1 %, Vlada RS pa se je po Direktivi 2009/28/EC zavezala k 25 % deležu v letu 2020 (Umanotera, 2010).

Zaradi stroškovne nekonkurenčnosti OVE energentov je le-te treba subvencionirati. Vsako dosledno izvrševanje prejetih zavez iz vladnih dokumentov mora biti podprto z javnofinančnimi sredstvi (Umanotera, 25. 3. 2010). Država letno nameni letno nameni 58,42 mio €, od tega 33,8 mio € za ukrepe učinkovite rabe energije in 16,27 mio € za spodbujanje obnovljivih virov energije (Resolucija DZ RS o Nacionalnem energetskega programu 2004).

2.2.2.6 Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije

Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije izhaja iz Energetskega zakona, ki implementira Direktivo 2009/28/ES. Služi za izračun predvidenega prihodka od prodaje letno količine proizvedene električne energije. Stroški proizvodnje električne energije v proizvodnih napravah OVE običajno presegajo ceno, ki jo je za zanjo mogoče doseči na trgu z električno energijo, zato država proizvajalcem električne energije iz OVE zagotavlja sistem podpor, ki so lahko v obliki:

- zagotovljenega odkupa električne energije (v nadaljnjem besedilu: zagotovljeni odkup). Na podlagi te podpore center za podpore ne glede na ceno električne energije na trgu odkupi vso prevzeto neto proizvedeno električno energijo, za katero je proizvodna naprava OVE prejela potrdila o izvoru, po zagotovljenih cenah električne energije, določenih z Uredbo o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije. Podpore v tej obliki lahko prejemajo proizvodne naprave OVE z nazivno električno močjo do 5 MW.
- finančne pomoči za tekoče poslovanje (v nadaljnjem besedilu: obratovalna podpora). Podpora se dodeli neto proizvedeni električni energiji, za katero je prejeto potrdilo o izvoru in ki jo proizvajalci električne energije iz OVE prodajo sami na trgu ali jo porabijo kot lastni odjem, pod pogojem, da so stroški proizvodnje te energije višji od cene, ki jo je za to električno energijo mogoče doseči na trgu z električno energijo. To obliko podpor lahko prejemajo le proizvodne naprave OVE z nazivno močjo 5 MW. So razlika med referenčnimi stroški proizvodnje električne energije v posameznih proizvodnih napravah OVE iz priloge I in referenčno tržno ceno električne energije.

Referenčni stroški proizvodnje električne energije v proizvodnih napravah OVE so indikativni stroški proizvodnje električne in se določijo v EUR/MWh neto proizvedene električne energije. So podlaga za določanje cen v pogodbah za zagotovljeni odkup in za višino obratovalnih podpor v pogodbah o zagotavljanju podpor. Referenčne stroške za obdobje od 2009 do 2013 z upoštevanjem višine spremenljivih stroškov za leto 2009 prikazuje priloga I, ki je sestavni del te uredbe. Za proizvodne naprave OVE, ki prejemajo podpore v obliki zagotovljenega odkupa proizvedene električne energije, veljajo cene za zagotovljeni odkup.

Velikostni razred proizvodne naprave	Nespremenljivi del referenčnih stroškov [EUR/MWh]	Spremenljivi del referenčnih stroškov ² [EUR/MWh]	Skupaj referenčni stroški [EUR/MWh]
mikro (< 50 kW)	105,47	/	105,47
mala (< 1 MW)	92,61	/	92,61
srednja (do 10 MW)	82,34	/	82,34
velika (do 125 MW)	76,57	/	76,57

Referenčni stroški proizvodnih naprav OVE – hidroenergija energije (Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije, 2009)

Velikostni razred proizvodne naprave	Cena zagotovljenega odkupa [EUR/MWh]
mikro (< 50 kW)	105,47
mala (< 1 MW)	92,61
srednja (do 5 MW)	82,34

Cene zagotovljenega odkupa električne energije iz proizvodnih naprav OVE – hidroenergija (Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije, 2009)

Cene za zagotovljeni odkup električne energije so po višini enake referenčnim stroškom za posamezne proizvodne tehnologije in velikostne razrede. Določi se v pogodbi za zagotavljanje podpor na podlagi podatkov iz odločbe o dodelitvi podpore. Do pridobitve podpor so upravičene nove in pretežno nove proizvodne naprave OVE, ki imajo veljavno deklaracijo za proizvodno napravo. Podpore se zagotavljajo 15 let. Trajanje zagotavljanja podpor se določi v odločbi o dodelitvi podpore. Podpore se lahko zagotavljajo le za neto proizvedeno električno energijo, za katero so bila izdana potrdila o izvoru in zagotavljajo ekološko sprejemljivi pretok vodotoka.

2.2.2.7 Akcijski načrt za obnovljive vire energije (AN OVE)

V skladu z Direktivo 2009/28/ES je Evropska komisija sprejela odločbo komisije št. C(2009) 5174, naslovljeno na države članice, o sprejemu predloge za nacionalne akcijske načrte za obnovljive vire energije, ki vključuje minimalne zahteve Direktive 2009/28/ES. V skladu s 4. členom Direktive 2009/28/ES je uporaba te predloge obvezna. Akcijski načrt za obnovljive vire energije tako obsega nacionalno politiko obnovljivih virov energije, pričakovano rabo

bruto končne energije v obdobju 2010–2020, cilje in usmeritve glede obnovljivih virov energije, ukrepe za doseganje zavezujočih ciljnih deležev obnovljivih virov energije ter ocene prispevka posamezne tehnologije k doseganju ciljnih deležev obnovljivih virov energije in ocene stroškov izvedbe ukrepov, vplivov na okolje ter na ustvarjanje delovnih mest. Cilj akcijskega načrta za obnovljive vire energije je oceniti in določiti potrebne kvantitativne vrednosti rabe energije iz OVE po posameznih sektorjih (ogrevanje in hlajenje, električna energija, promet) in predlagati ukrepe, s katerimi bo omogočena raba zelene količine energije iz OVE v prihodnjih letih. Da bi Slovenija dosegla te cilje, lahko uporabi naslednja ukrepa: programe podpore ter sodelovanje z državami članicami in tretjimi državami.

AN OVE je izvedbeni akt, ki definira sektorske cilje in ukrepe za doseganje nacionalnega cilja deleža rabe bruto končne energije iz obnovljivih virov energije v letu 2020. AN OVE upošteva, da bo za doseganje 25 % deleža OVE v rabi bruto končne energije pripravljena in izvedena vrsta ukrepov na področju učinkovite rabe energije in z rabo energije povezanih politik, ko bodo ključne za obvladovanje rasti porabe energije v prihodnje. Z nacionalnim energetskega programom so določeni dolgoročni razvojni cilji in usmeritve energetskega sistema in oskrbe z energijo v Republiki Sloveniji. V njem so definirani cilji energetske politike in strateški ukrepi, ki jih bo Vlada Republike Slovenije izvajala za doseganje ciljev.

Slovenija mora na področju razvoja obnovljivih virov energije doseči ambiciozne cilje, ki bodo prispevali tako k povečanju zanesljivosti oskrbe z energijo, zmanjšanju učinkov na okolje, gospodarski rasti in razvoju delovnih mest ter zaposlenosti. V letu 2005 je bil delež OVE v končni skupni rabi energije v Republiki Sloveniji 16,2 %. Najpomembnejši obnovljiv vir energije v državi je lesna biomasa, sledi vodna energija, v zadnjih letih je razvoj najbolj dinamičen pri izkoriščanju sončne energije in bioplina. K povečani porabi obnovljivih virov energije bodo prispevali potenciali navedenih virov energije ter dodatno potenciali energije vetra in geotermalne energije. Pri izvajanju ukrepov se upoštevajo okoljski cilji na področju voda, biotske raznovrstnosti, okolja in kulturne dediščine, ki jih je treba upoštevati pri načrtovanju namenske rabe prostora z državnimi in občinskimi prostorskimi akti.

Cilji slovenske energetske politike za obnovljive vire energije so zagotoviti 25 % delež obnovljivih virov energije v končni rabi energije in 10 % obnovljivih virov energije v prometu do leta 2020, ustaviti rast porabe končne energije, uveljaviti učinkovito rabo energije

in obnovljive vire energije kot prioritete gospodarskega razvoja, dolgoročno povečevati delež obnovljivih virov energije v končni rabi energije do leta 2030. Vlada Republike Slovenije bo za doseg ciljev obnovljivih virov energije zagotovila ustrezno podporno okolje do leta 2020. Za proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov energije so ključni elementi podpornega okolja:

- ekonomske spodbude (nadaljevanje uveljavljene sheme podpor za proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov energije), neposredne finančne spodbude in ustrezna davčna politika.
- izboljšanje načrtovanja: pospešena priprava strokovnih podlag za prostorsko umeščanje obnovljivih virov energije na državnem ter lokalnem nivoju; preveritev možnosti za izboljšanje administrativnih postopkov za izvedbo investicij
- spodbude za razvoj finančnih trgov in ponudbe ustreznih finančnih mehanizmov.
- sistematično promocijo dobrih praks učinkovite rabe energije in obnovljivih virov energije ter zagotavljanje kvalitetnih informacij za vrednotenje pri vseh odločitvah povezanih z rabo OVE.

Na naslednjih slikah so za področje hidroelektrarn prikazane pomembne faze načrtovanja za umeščanje naprav in infrastrukture v prostor, postopki za izdajo dovoljenj ter število stopenj postopka in povprečni čas, da vlagatelj prejeme dovoljenje.

<i>Vrsta naprave ali infrastrukture</i>	<i>Nacionalni energetski program/Strateški prostorski načrt</i>	<i>Državni prostorski načrt</i>	<i>Občinski prostorski načrt</i>	<i>Celovita presoja vplivov na okolje</i>
<i>Hidroelektrarne</i>	$>10 MW_e$	$>10 MW_e$	$\leq 10 MW_e$	✓

Pomembne faze prostorskega načrtovanja za umeščanje naprav in infrastrukture v prostor (AN OVE, 2010, 42)

<i>Vrsta naprave ali infrastrukture</i>	<i>Vodna pravica</i>	<i>Rudarska pravica</i>	<i>Okoljevarstveno dovoljenje</i>	<i>Gradbeno dovoljenje</i>	<i>Presoja vplivov na okolje – okoljevarstveno soglasje</i>
<i>Hidroelektrarne</i>	✓	-	-	✓	$\geq 1 MW_e$

Postopki za izdajo dovoljenj (AN OVE, 2010, 45)

<i>Vrsta naprave ali infrastrukture</i>	<i>Sprejet prostorski načrt (občinski ali državni)</i>	<i>Vodna pravica /rudarska pravica</i>	<i>Okolje-varstveno dovoljenje</i>	<i>Presoja vplivov na okolje – okolje varstveno soglasje</i>	<i>Gradbeno dovoljenje</i>	<i>SKUPAJ</i>
<i>Hidroelektrarne</i>		<i>8 mesecev</i>	-	$\geq 1 MW_e$ <i>8 mesecev</i>	<i>2 meseca</i>	<i>18 mesecev</i>

Število stopenj postopka in povprečni čas, da vlagatelj prejme dovoljenje (AN OVE, 2010, 55)

2.3 Večkriterijska analiza

Večkriterijska analiza (v nadaljevanju MCA) je metoda ocenjevanja situacije, problema z več kriteriji (merili). Kriterijem določimo uteži, s čimer jih lahko medsebojno primerjamo in tako izberemo optimalno rešitev. Velikokrat so si ti kriteriji nasprotujoči, kar pomeni, da bi izboljšanje rešitve z enim kriterijem, povzročilo poslabšanje izbire z drugim. V tem primeru se odločamo o množici rešitev, ki jih lahko dosežemo z različnimi kriteriji.

MCA se uporablja za doseg različnih upravljalških variant, ki jih običajno enokriterijski pristop ne zadosti. S pomočjo MCA je lahko ocenimo konfliktno variante upravljanja voda, ki so podane z več indikatorji in povezane z različnimi kriteriji. Problem je možno opisati z več sestavnimi deli, kriteriji in indikatorji. Analiziramo lahko tudi njegov odziv na različne variante. MCA je orodje, ki pomaga pri odločanju, ne podaja pa pravih odločitev sama od sebe (Mammoliti, 2010).

MCA ima različne prednosti (Mammoliti, 2010):

- sinteza: dovoljuje povzemanje kompleksnih informacij
- racionalnost: izpostavlja različne komponente problema upravljanja in recipročne povezave, organiziranje podatkov
- udeležba: obravnava različne prioritete in preference
- več ciljnost: obravnava več variant, njihove možnosti so odprte analizi deležnikov,
- transparentnost: uteži dodeljene kriterijem in indikatorjem so jasne in dodeljene z utečenimi tehnikami
- fleksibilnost: variante, kriteriji in uteži se lahko spremenijo, če so neprimerni

- ponovljivost: MCA postopek se lahko ponovi naprej in nazaj, z izenačenjem kvalitete odločitev.

MCA ima tudi nekaj slabosti (Mammoliti, 2010):

- poenostavitev: poenostavlja realno stanje (kot vsi modeli)
- manipulacija: lahko je manipuliran (kot vsi modeli)
- kompleksnost: tehnologije je kompleksna

MCA je razčlenjena na 7 stopenj (Mammoliti, 2010):

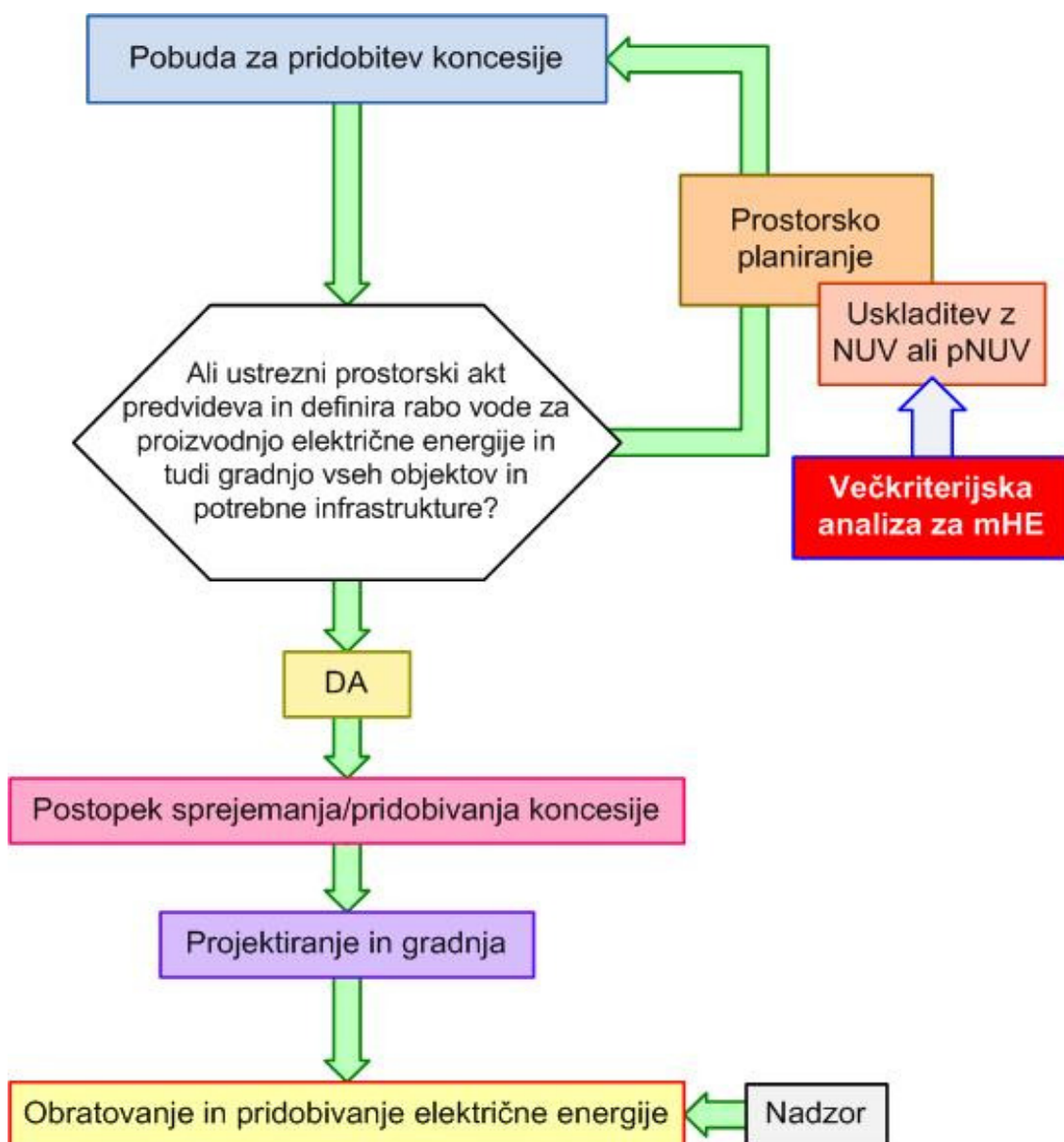
1. identifikacija cilja MCA in udeleženih deležnikov
2. identifikacija različnih obravnavanih variant
3. identifikacija kriterijev in indikatorjev
4. implementacija indikatorjev in normalizacija podatkov
5. tehtanje indikatorjev in kriterijev
6. ocenjevanje performansev posamezne variante
7. občutljivostna analiza (negotov vpliv na performans variante)

MCA dovoljuje analizo problema skozi proces ocenjevanja s tremi temeljnimi vprašanji:

- KAJ ocenjevati → različne variante upravljanja,
- KAKO ocenjevati → z uporabo kriterijev, indikatorjev in vzročnih faktorjev,
- KDO je vključen → različni deležniki.

Namen večkriterijske analize je določiti optimalno različico izvedbe posega v prostor, glede na zahtevane kriterije. Pri gradnji mHE kot posegu v prostor se uporabljata dva pomembna kriterija, ohranjanje obstoječe kvalitete vodotoka ter proizvodnja električne energije, zaradi katere tudi posegamo v prostor. Predviden poseg v prostor mora biti umeščen v prostorskem načrtu, kjer so določeni prostorsko ureditveni pogoji, ki določajo pogoje za izdajo soglasij ali mnenj, potrebnih za gradnjo. Za predvidene mHE, ki jih nameravamo graditi, moramo spremeniti prostorski načrt, saj pred samim začetkom postopka pridobivanja koncesije niso umeščene v njih. Večkriterijska analiza mHE Kokra bi služila kot orodje za analizo posega v prostor. Z njo bi bila omogočena primerjava med koristmi, ki jih z gradnjo mHE pridobimo, ter posledicami gradnje na okolje. Na podlagi večkriterijske analize bi pripravljavci prostorskih načrtov, organi odločanja ter ostali deležnik lahko izdali prostorsko ureditvene

pogoje in soglasja ali mnenja ter umestili predviden poseg v prostor v prostorski načrt. S tem bi bil izpolnjen temeljni pogoj za pridobitev koncesije za rabo vode za proizvodnjo električne energije, saj bi bil predviden poseg v prostor umeščen v prostorskem načrtu. Na ta način bi lahko neovirano pridobili gradbeno dovoljenje ter zgradili mHE. Umestitev večkriterijske analize mHE v postopek pridobivanja gradbenega dovoljenja je prikazan na naslednji sliki.



Slika 2: Umestitev večkriterijske analize za mHE v postopek pridobivanja gradbenega dovoljenja

2.3.1 Elementi večkriterijske analize

2.3.1.1 Variante

Variante so upravljaljske in eksperimentalne možnosti izbire in prilagoditev v pilotnih študijah. Variante je nujno identificirati, saj možnost »a priori« variant ni dopustna. Vsaka varianta je opisana z enim ali več vzročnimi faktorji pritiska (indikatorji), ki opisujejo učinek variante na statusni indikator. Z drugimi besedami vsak vzročni faktor je neposredno povezan s statusnim indikatorjem, zato da lahko spreminja njegovo vrednost (Mammoliti, 2010).

Največkrat uporabljen vzročni faktor na primeru porečja Kokre je povprečni rezidualni pretok (Qres, mesečni, sezonski in letni). Ostala vzročna faktorja sta lahko še (Mammoliti, 2010):

- višina med koto zajema in koto izpusta vode,
- dolžina rečnega odseka, na katero neposredno vpliva zmanjšanje naravnega pretoka.

Variante so lahko (Mammoliti, 2010):

- trenutno stanje, brez novega odvzema vode
- nov odzem vode (ali povečanje obstoječe elektrarne)
- nov odzem vode (ali povečanje obstoječe elektrarne), ampak:
 - z drugo lokacijo elektrarne,
 - z različnim % zahtevane vodne količine Qreq,
 - s podzemnimi cevmi,
 - s kontrolnim načrtom in monitoringom izpustov sedimentov,
 - vključno z rečno restavracijo in ublažitvijo aktivnosti (četudi lociranimi na drugih področjih).

2.3.1.2 Vzročni faktorji

Vsaka varianta je opisana z enim ali več vzročnimi faktorji (ang. Causal Factors), to so indikatorji, ki opisujejo vpliv variant na statusne indikatorje (ang. Status Indicators). Z drugimi besedami vsak vzročni faktor je neposredno povezan s statusnim indikatorjem in spreminja njegovo vrednost. Možni vzročni faktorji so (Mammoliti, 2010):

- povprečna višina vode dolvodno (rečni odsek)

- vizualni vpliv
- možnost mezohabitata
- širina potopljene brežine
- nivo podtalnice (s prosto gladino)
- zahtevan Q_{max}
- zahtevan Q_{sr}
- finančni izdatki na lokalni skupnosti

2.3.1.3 Kriteriji

Kriteriji (ang. Criteria) predstavljajo glavna polja interesa (ang. major fields of interest), ki so obravnavana v posamezni pilotni študiji. Vsak kriterij je definiran s svojim lastnim indikatorjem. Indikatorji so si med seboj lahko različni po tipologiji, merskih enotah ipd. Pomembno je doseči pravilen kompromis med številom in uporabo (ang. Utility) indikatorjev. Kriteriji so lahko (Mammoliti, 2010):

- ohranjanje reke,
- proizvodnja električne energije,
- trajnostna raba vode,
- finančni izdatki,
- hidrogeološka ogroženost,
- pokrajina,
- turistično izkoriščanje,
- kmetijstvo in živinoreja.

2.3.1.4 Normalizacija

Za primerjavo indikatorjev med seboj je potrebno njihove vrednosti oziroma dimenzije združiti oziroma spremeniti v neko enoto oziroma dimenzijo, ki bo vsem skupna. Kako lahko npr. kombiniramo vrednosti makrobentoškega indeksa IBE (it. Indice Biotico Esteso), indikatorje ribje favne, ptičev, akvatične flore in obrežne vegetacije za doseg skupne vrednosti indikatorja statusa biološke kvalitete? Odgovor je proces normalizacije, s katerim naredimo podatke homogene in kot take primerne za uporabo. Indikatorjem njihove originalne dimenzije (enote) transformiramo v brezdimenzionalne vrednosti in na ta način

omogočimo, da ti postanejo primerljivi med seboj. Transformacije opravimo z vgrajeno uporabno funkcijo (ang. Utility Function). To je krivulja, ki dodeli vsaki vrednosti indikatorja odgovarjajočo brezdimenzionalno vrednost na intervalu od 0 do 1. Indikatorji tako izgubijo svojo lastno dimenzijo in postanejo primerljivi med seboj (Mammoliti, 2010).

2.3.1.5 Tehtanje indikatorjev in kriterijev

Kriteriji in indikatorji so opisani z različnimi stopnjami pomembnosti, ki morajo biti nujno vključene v ocenjevanje. Stopnje pomembnosti določimo z dodelitvijo uteži vsakemu kriteriju in indikatorju. Uteži so brezdimenzionalne vrednosti, ki izražajo pomembnost indikatorja glede na ostale indikatorje ter predstavljajo relativno pomembnost ciljev upravljavcu (Mammoliti, 2010).

2.3.1.6 Občutljivostna analiza

Podatki so lahko zaradi možnosti konceptualnih ali merilnih napak, negotovi ali netočni. Občutljivostna analiza je ponovna analiza (ang. »Back analysis«), ki pokaže kako in koliko možne napake vplivajo na končni rezultat ocenjevanja. Ocenjuje trdnost variant, razvrščenih glede na dodeljeno uporabno funkcijo, rezultate in uteži. V SESAMO programski opremi indikatorjem dodeljene uteži lahko kadarkoli spremenimo, če želimo spremeniti vpliv kateregakoli indikatorja/kriterija na končno odločitev. Možni sta dve tipologiji občutljivostne analize: na kriteriju in na uteži (Mammoliti, 2010).

2.3.2 Opis orodij

2.3.2.1 SESAMO

Sesamo je programska oprema za implementacijo večkriterijske analize. Je orodje za odločanje, ki temelji na metodologiji večkriterijske analize (ang. multicriterion analysis (MCA)). Deluje na osnovi projektov, ki vsebujejo podatke in strukture procesov odločanja. Struktura projekta odraža logične stopnje metodologije in omogoča uporabniku upravljanje z grafičnim prikazom vseh elementov MCA. Faze MCA v Sesamo programu so naslednje (Brambilla, 2010):

- organizacija kriterijev v drevesu (odločanja)

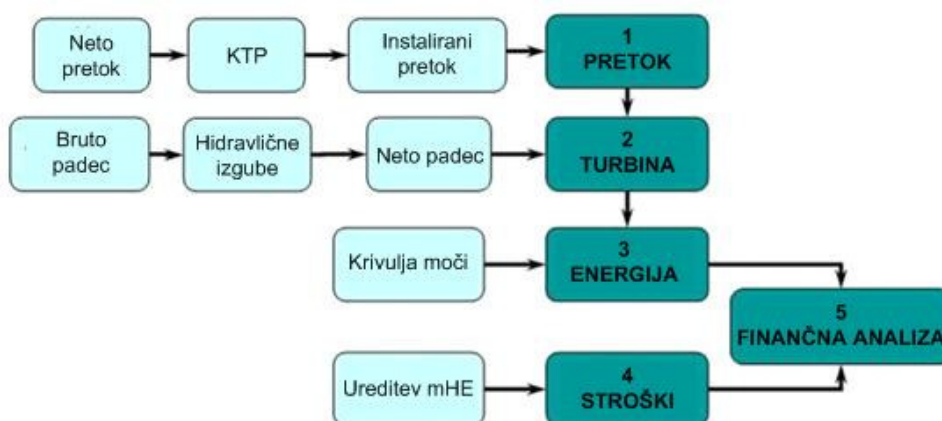
- izpolnjevanje matrike ocenjevanja z variantami, ki za vsako varianto vsebuje numerične vrednosti in kvalitativne presoje kriterijev
- uporaba tehničnega združevanja (ang. aggregation), z dodeljevanjem indikatorjev (ang. children) vozlišču
- uporaba Utility funkcij (UF), dodeljenih posameznim kriterijem, vrednosti se nahajajo na intervalu med 0 in 1
- dodelitev uteži, ki predstavljajo relativno pomembnost indikatorja glede na druge indikatorje. Podani so kot koeficienti med vozlišči, ki so otroci istega vozlišča (znotraj skupine mora biti vsota koeficientov enaka 1)
- občutljivostna analiza

Elementi večkriterijske analize za mHE Kokra so predstavljeni in opisani v podpoglavju Elementi večkriterijske analize.

2.3.2.2 Smart Mini-Iydro

SMART Mini-Iydro je programsko orodje, ki služi za ekonomsko analizo investicije mHE. Je pred-izvedbena analiza projekta, ki za izračun finančne analize investicije zahteva podatke o pretokih, različne tehnične parametre, oceno proizvodnje energije, koristi in gospodarske perspektive hidroelektrarne. Program deluje v Microsoft Excelovem okolju. Sestavljen je iz več modulov, ki so med seboj povezani z matematičnimi povezavami. Tako so npr. podatki o pretokih v prvem modulu, parametri, ki vplivajo na izračun predvidene proizvodnje električne energije, v drugem modulu. Program je sestavljen iz naslednjih modulov (Alternach in Paviani, 2009):

- pretok,
- turbina,
- energija,
- stroški,
- finančna analiza.



Shematski prikaz modulov programa Smart Mini-Idro (Alterach in Paviani, 2009, 4)

2.3.2.2.1 Modul pretok

Modul pretok zahteva vnos krivulje trajanja pretokov, vnos minimalnega pretoka (angl. minimum instream flow), ki se smatra kot količina vode, ki mora biti zagotovljena v vodotoku, za ohranitev vodnih teles in akvatičnih vodnih združb ter vnos neto pretokov. Krivuljo pretokov vnesemo kot procentualne vrednosti v določenem času s 5 % intervalom od 0 do 100 %. Minimalni pretok lahko vnašamo neposredno z vnosom izračunanega minimalnega pretoka ali posredno z vnosom odstotka povprečnega pretoka. Projektni pretok vnašamo kot odstotek krivulje trajanja pretokov. Za vsako trajanje pretokov od 0 % do 100 % so izračunane naslednje vrednosti (Alternach in Paviani, 2009):

- bruto pretok: skupni pretok, vnos s krivuljo trajanja pretokov,
- minimalni pretok: glede na vrednost, vneseno v polje minimalni potrebni pretok,
- neto pretok: razlika med bruto pretokom in minimalnim potrebnim pretokom.

2.3.2.2.2 Modul turbina

Modul turbina je namenjena določitvi podatkov, potrebnih za izbiro turbine. Vnesti je potrebno bruto višinsko razliko in izgube. Razlika med bruto višinsko razliko in izgubami je neto višina. Izgube so lahko linijske, ki nastanejo v dovodnem kanalu ali cevovodu zaradi trenja ali lokalne, ki nastanejo zaradi izgube kinetične energije toka. Ustrezno turbino izberemo na podlagi predhodnih podatkov. Izbiramo med Peltonovo, Francisovo, Kaplanovo ter ostalimi tipi turbin. Za vsako turbino je podana karakteristična krivulja učinkovitosti, ki pa jo lahko prilagodimo glede na lastne potrebe (Alternach in Paviani, 2009).

2.3.2.2.3 Modul energija

Modul energija zajema karakteristike hidroelektrarne (ime, lokacija, reka, projektni pretok, bruto višinska razlika, vrsta turbine), iz katerih je možno oceniti moč hidroelektrarne in predvideti letno proizvodnjo energije (Alternach in Paviani, 2009).

2.3.2.2.4 Modul stroški

V modulu stroški je zajeta ocena investicije, ki služi za oceno stroškov, potrebnih za izgradnjo male hidroelektrarne. Program stroške izračuna na sintetičen način (avtomatsko) ali z vnosom posameznih enačb za posamezne parametre (Alternach in Paviani, 2009).

2.3.2.2.5 Modul finančna analiza

Modul finančna analiza je namenjen simulaciji denarnega toka v življenjski dobi hidroelektrarne (30 let) z ozirom na izdatke in proizvodnjo električne energije ter primerjavo letnih stroškov in koristi. Vnesti je treba diskontno stopnjo, stroške upravljanja in vzdrževanja ter takse in dajatve. Upoštevati je potrebno, da prodajno ceno energije in instrumente spodbud upravlja trg, zato je nemogoče pričakovati prodajo energije v prihodnosti po konstanti ceni (velja za Italijo) (Alternach in Paviani, 2009).

2.3.2.3 EPANET 2.0

EPANET 2.0 je programsko orodje, s katerim preverjamo hidravlične razmere v vodovodnih sistemih. Razvila ga je ameriška agencija za okolje (ang. US Environmental Protection Agency). Služi za izvajanje različnih tipov simulacij hidravličnih razmer v vodovodnem omrežju. Program nam dopušča zelo širok izbor nastavitvev, ki zavzemajo hidravlične, časovne in energijske lastnosti naših simulacij. Pri teh nastavitvah lahko izbiramo med različnimi pretočnimi količinami, enačbami za izračun linijskih hidravličnih izgub (Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ali Chezy-Manning), robnimi pogoji, pod katerimi se vrši simulacija, časovnimi nastavitvami, ki obsegajo tako trajanje simulacije kot tudi nastavitev časovnih korakov in začetka simulacij (Kozelj, 2005).

Poleg vsega omenjenega pa nam program omogoča tudi preverjanje in vrednotenje zanesljivosti našega modela z uporabo terenskih meritev. Te meritve se vnesejo v enostavno tekstovno datoteko, kjer določimo identiteto elementa in izmerjene vrednosti podamo v izbranem časovnem koraku poteka simulacije. Kalibracijski podatki se naložijo v programsko okolje z ukazom »Calibration Data« in ob ponovnem zagonu simulacije se nam prikaže primerjava dejanskih in simuliranih razmer v modelu (Kozelj, 2005).

Hidravlični model vodovodnega sistema je matematični zapis vodovodnega sistema, s katerim simuliramo njegovo delovanje. V procesu odločanja so pomembno orodje, saj se z njimi simulira delovanje vodovodnega sistema in preverja različne ukrepe. Glavni namen hidravličnih modelov vodovodnih sistemov je analiziranje in načrtovanje potencialno možnih razmer obremenitev vodovodnih sistemov za različne pogoje delovanja, z namenom nemotenega zagotavljanja ustreznih količin vode odjemalcem (Mrak, 2010)

Hidravlični model sestavljajo naslednji elementi (Mrak, 2010):

1. Cevi
2. Vodni viri (zbiralniki)
3. Vodohrani
4. Črpalke
5. Ventili
6. Vozlišča

Elementi se v delijo v točkovne (zajetja, vodohrani, črpalke, ventili in vozlišča) in linijske elemente (cevi). Točkovna elementa črpalka in ventil, ki se v geografskem informacijskem sistemu vodita kot točkovna elementa, v hidravličnem modelu pa sta skonstruirana kot linijski element z začetno in končno točko, morata biti obravnavana, kot virtualni liniji. S pojmom virtualna linija se torej označi elemente, ki so v prostorskih podatkovnih bazah predstavljeni kot točke, v hidravličnih modelih pa so predstavljeni kot linijski elementi (Mrak, 2010).

3 UMESTITEV mHE KOKRA V PROSTOR IN IDEJNA ZASNOVA

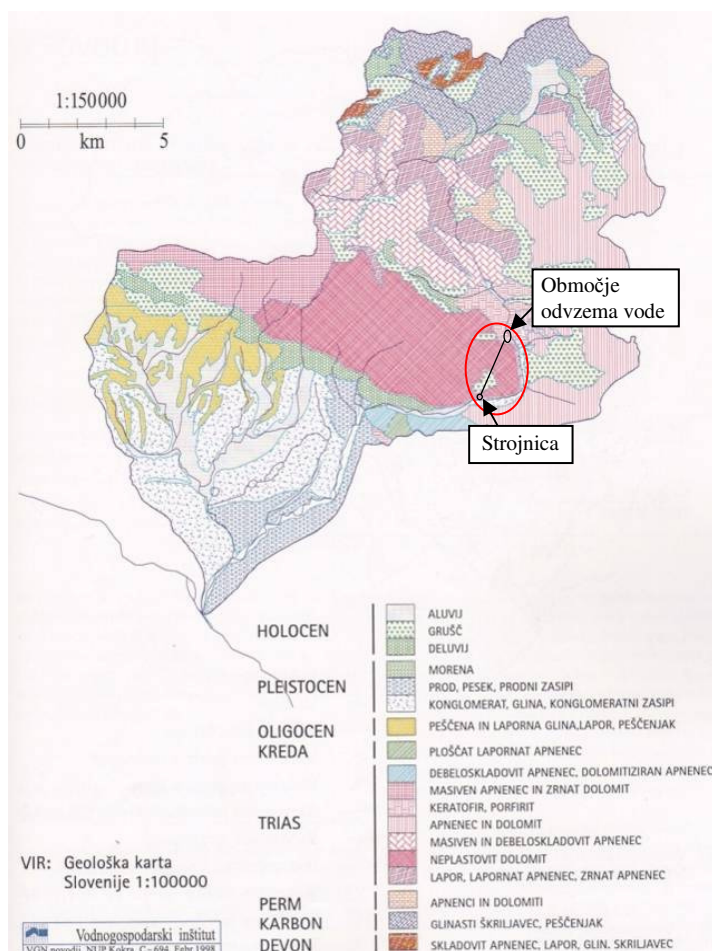
3.1 Porečje reke Kokre

Kokra je alpska reka z 224 km² velikim povodjem. Izvira na 1400 m nadmorske višine pod Virnikovo planino. Povodje sestavljata dve biogeografski območji, gorski svet Alp in nižinski svet kranjske ravnine. Prvi sega od Storžiča (2132 m) proti severu in vzhodu do meje z Avstrijo in preko Jezerskega vrha (1218m) in Kalškega grebena doseže Veliki Zvoh in Krvavec. Nižinski svet omejuje linija izpod južnega dela Kriške gore in Storžiča do Preddvora, mimo Tupalič, Hotemaž, Visokega, Britofa in Kranja. Zahodna meja povodja poteka po liniji od Seničnega (600 m), preko Udin boršta mimo naselja Mlake (412 m) in Kokrice na Kranjsko polje do Kranja (skoraj 400 m). Kokra se izliva v Savo pri Kranju. Povodje Save je po vtoku Kokre veliko 1453 km² (Globevnik in sod. 1998).

Pri Preddvoru je povodje veliko 128 km² in pri 24 kilometrih toka doseže 1,8 % padec. Kokra v tem delu teče po koritasti soteski, ima izrazito hudourniški značaj, v strugi pa so številni balvani, prodišča in tolmeni. Na dolžini 12 kilometrov Kokra vijuga po ledenodobnih terasastih nanosih nižinskega sveta. Od Preddvora do Kranja se voda spusti iz 440 m nadmorske višine na 343 m (povprečni padec 1,2 %), polni slikovite soteske in vzdržuje poplavne loke in loge. Pred Kranjem se ji pri Rupi pridruži še Rupovščica oziroma Kokrica. Ta drenira vznožje Kriške gore, Poljan in Storžiča. Celotna dolžina Kokrice je 13 km, njen povprečni padec je 0,9 % (Globevnik in sod. 1998).

3.1.1 Geološke značilnosti območja predvidene mHE Kokra

V geološki zgradbi povodja Kokre med Spodnjim Jezerskim in Preddvorom ter na območju Storžičeve skupine v osrednjem delu povodja prevladujejo karbonatne kamnine. To so apnenci in dolomiti triasne starosti ter podrejeno keratofirji, keratofirski tufi in porfirji. Pobočja so v večjem delu prekrita s pobočnim gruščem, ki ga gradi slabo zaobljen drobir bližnje okolice. V zgornjem toku Kokre imajo aluvialni zasipi značaj plitvih in ozko omejenih peščeno prodnatih zasipov. V srednjem in spodnjem toku je Kokra odložila debel (okoli 30 m in več) peščeno prodnati zasip (Globevnik in sod. 1998).



Geološka zgradba povodja Kokre z vrisano lokacije predvidene mHE Kokra (Globevnik in sod. 1998, 29).

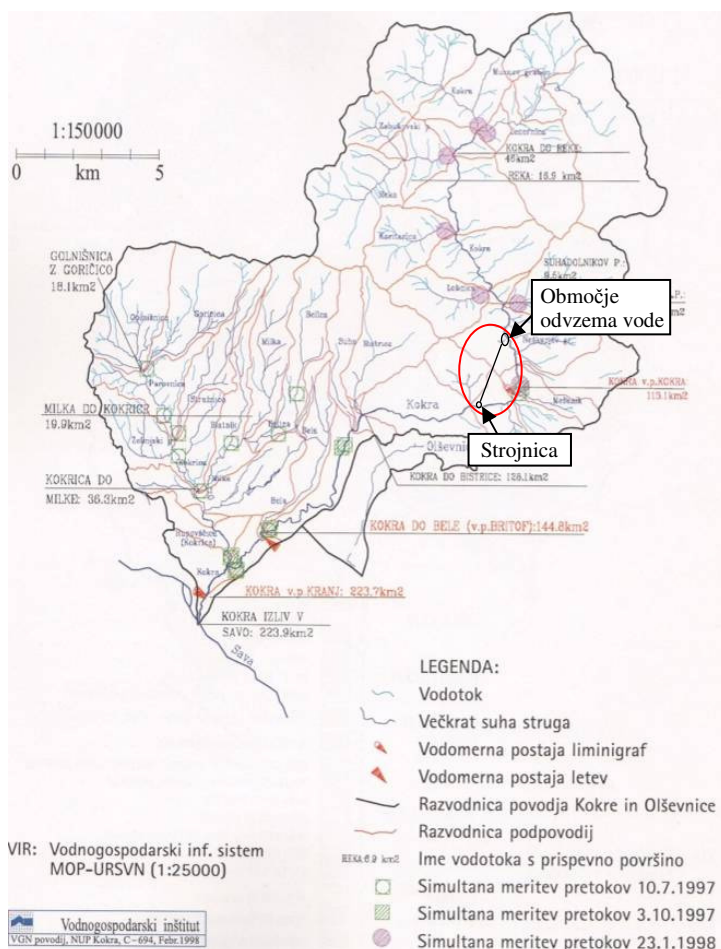
3.1.2 Pedološke značilnosti območja predvidene mHE Kokra

V alpskem delu povodja sta tipični dve sestavi tal, distrična rjava tla na silikatnih kameninah in rendzine na apnencu in dolomitu. V višjih legah se pojavljajo tudi kamenišča in rendzine na apnencu in dolomitu. Ob vznožju strmin so tla rjava pokarbonatna, izprana. Tla oligocenskih glin in tla glineno, peščenih konglomeratnih zasipov ter prodov so evtrična (Globevnik in sod. 1998).

3.1.3 Hidrološke lastnosti območja predvidene mHE Kokra

Srednji letni pretok na vodomerni postaji (v nadaljevanju v.p.) Kokra je $4,47 \text{ m}^3/\text{s}$, na v.p. Kranj pa $5,87 \text{ m}^3/\text{s}$. Reka Sava ima, preden se Kokra izlije vanjo v Kranju, srednji letni pretok

58 m³/s. Povprečje letnih nizkih konic na v.p. Kokra je 1,33 m³/s, na v.p. Kranj pa 1,12 m³/s. Ekstremi nizkih vod so 0,8 m³/s na v.p. Kokra in 0 m³/s na v.p. Kranj. Mesec, ki ima najmanj vode je avgust. Konice visokih vod se pojavljajo novembra, decembra in aprila. (Globevnik, 2006).



Hidrološka karta povodja Kokre z vrisano lokacijo predvidene mHE Kokra (Globevnik in sod. 1998, 30).

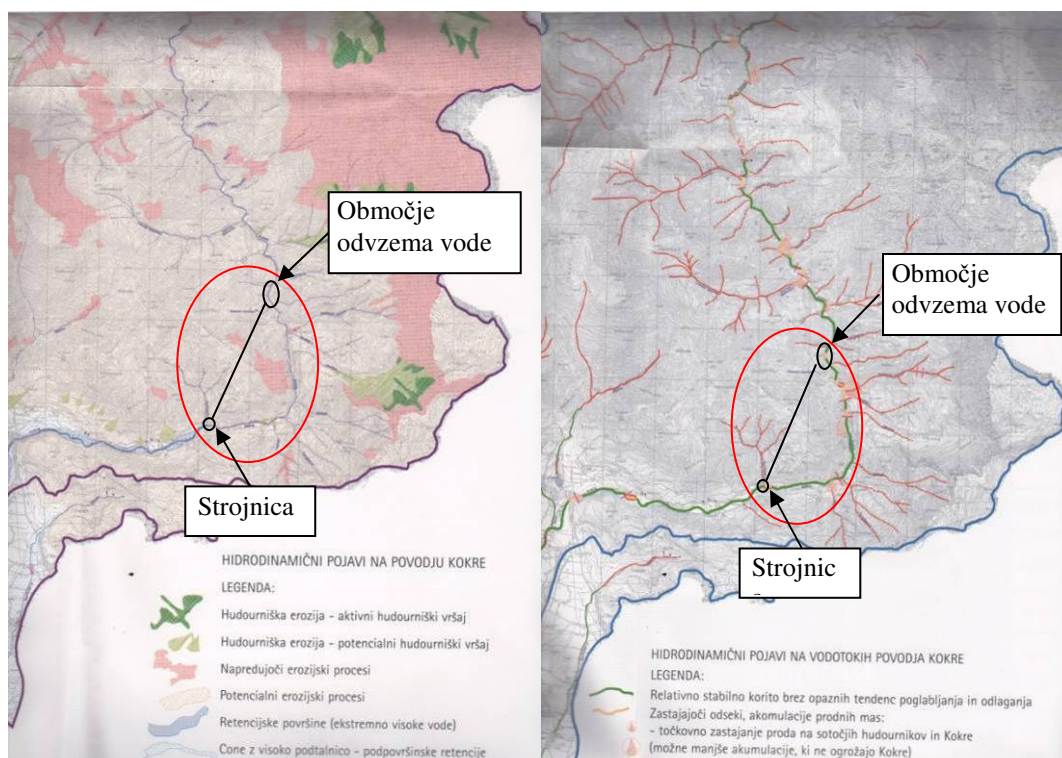
3.1.4 Meteorološki podatki za povodje Kokre

Med Preddvorom in Golnikom v povprečju pade 1400 mm padavin na leto, v predelu Jezerskega do 2000 mm. Izhlapevanje se giblje med 600–700 mm na leto v nižinskem delu in 400–600 mm v gorskem delu. Povprečne letne temperature nižinskega dela so 8 °C, višinskega 2 °C. Največ padavin v zgornjem delu povodja pade v oktobru in novembru (Jezersko 200 mm/mesec), v nižinskem pa julija in novembra (160 mm/mesec). Najmanj

padavin pade februarja in marca. Maksimalne dnevne padavine se gibljejo med 114 mm (Krvavec in Golnik) in 214 mm (Jezersko). Enourni in dvourni nalivi s povratno dobo 10 let so 30 oziroma 40 mm na Jezerskem ter 34 in 41 mm na Brniku. (Globevnik in sod., 1998).

3.1.5 Hidromorfološke lastnosti območja predvidene mHE Kokra

Na naslednjih slikah so prikazane hidromorfološke lastnosti in hidrodinamični pojavi na območju predvidene gradnje mHE Kokra. Na območju odvzema vode je dolvodno območje poplavnih površin, na območju strojnice so retenzijske površine. Na rečnem odseku, kjer bi zagotavljali ekološko sprejemljivi pretok, je rečno korito relativno stabilno, brez opaznih tendenc poglobljanja in odlaganja. Pojavljajo se zastajajoči odseki in akumulacije prodnih mas, pri pritoku Trdovec pa se pojavi območje hudourniške erozije (hudourniški vršaj) (Globevnik in sod., 1998).



Hidromorfološke lastnosti območja predvidene mHE Kokra (Globevnik in sod., 1998, karta1,2).

3.1.6 Erozijski procesi na območju predvidene mHE Kokra

V hudourniškem območju Kokre so prisotne vse oblike erozije, značilne za alpske in predalpske razmere. Nad gozdno mejo prevladujejo razne oblike in stopnje vodne in povšinske erozije ter snežne erozije. Hudourniki so tipično gorski, s strmimi in neustaljenimi strugami, močnimi nihanji vodostajev ter obilno transportno zmogljivostjo. Lokalno so prisotne vse oblike in jakosti erodiranja in sproščanja plavin (erozijska žarišča) ter odlaganja plavin (naplavišča, hudourniški vršaji) (Globevnik in sod., 1998).

3.1.7 Prodonosnost reke Kokre

Viri plavin za dinamične procese prodonosnosti, ki so razviti na reki Kokri, so vsa hudourniška območja s pobočnimi grušči in območja, kjer je razvita bočna in globinska erozija. Na prodonosnost Kokre vplivajo vsi pobočni grušči in prodišča, z izjemo Ravenske Kočne. Močnejše razviti procesi erozije so predvsem na desnih pritokih Kokre (Neškarjev graben, Suhadolnikov graben). Tu prihaja do sunkovitega dotoka plavin v daljših časovnih obdobjih. Intenzivno premeščanje plavin je prisotno na Jezernici in Kokri vse do Preddvora. Na odseku do Fužin ima reka močno transportno zmogljivost. Do Preddvora se nato menjavajo uravnoreženi odseki, odseki z minimalno erozijo in krajši zatajajoči odseki. Viški prodnih mas se odlagajo pri Preddvoru, zato to območje imenujemo prehodno območje (Globevnik in sod., 1998).

3.1.8 Biološke značilnosti območja predvidene mHE Kokra

Pretežni del gorskega in visokogorskega povodja Kokre poraščajo gozdovi. Od vznožja proti gozdni meji so prisotne naslednje združbe: bukovje s tevjem, bukovje z bekicami, bukovje in jelovje z bekicami, bukovje in jelovje s trlistno vetrnico, jelovje z okroglostno lakoto, jelovje s trpkim mahom, bukovje z mrtvo koprivo, bukovje s trlistno vetrnico, črno gabrovo bukovje, bukovje s kopjasto podlesnico, smrekovje z mahom in ruševje z navadnim slečem. Negrozdne površine so do višine 1800 m predvsem travišča. V nižjih legah prevladujejo gojeni travniki z visoko pahovko ali z rumenkastim ovsencem, nad gozdno mejo pa je značilna visokogorska vegetacija iz razredov meliščnih združb, združb skalnih razpok in združb visokogorskih travišč. Na strmih pobočjih so pašniki ali košenice, njive so le v bližini naselij

do nadmorske višine 1000 m. Območje predvidene mHE Kokra lahko opišemo tudi z biotopi tekočih voda, gozdov travišč, obdelovalnih površin ter biotopi subalpskih in alpskih predelov (Globevnik in sod., 1998).

3.1.9 Ihtiofavna in vodni biotopi na območju predvidene mHE Kokra

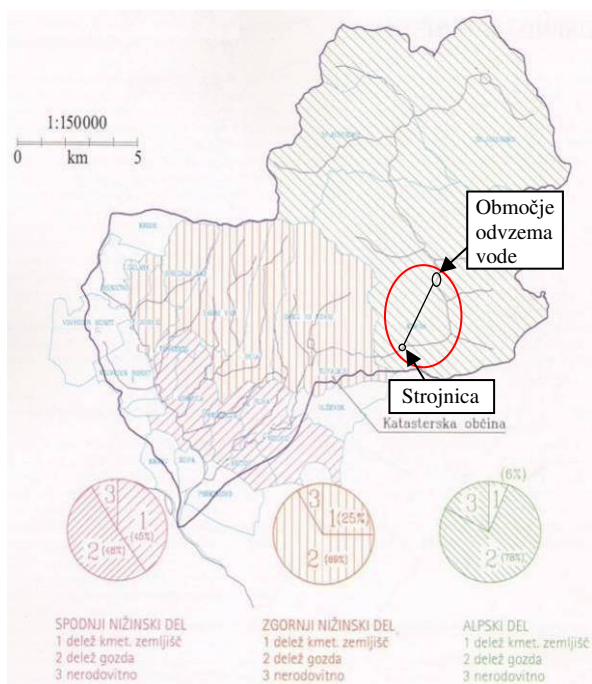
V reki Kokri živijo naslednje vrste rib: potočna postrv (*Salmo trutta m. fario*), šarenka (*Oncorhynchus mykiss*), lipan (*Thymallus thymallus*). Življenjski prostor potočne postrvi so hitro tekoče, bistre in hladne reke in potoki (največ 15 do 17 °C), dobro nasičene s kisikom in s prodnatim dnom. Prodnato dno potrebuje za drstenje, ki poteka od oktobra do februarja. Globina vode na drstiščih je od 30 do 90 cm. Velikost prodnih delcev na drstiščih je v povprečju 2 do 6 cm, hitrost vodnega toka pa nekaj 10 cm/s. Mladice naseljujejo plitvejšje in mirnejše predele, odrasli osebki pa se zadržujejo v globlji vodi. Zaradi tega je naseljenost nekega potoka odvisna od odstotka skrivališč. Prehranjuje se z manjšimi nevretenčarji, ki jih najde v vodotoku ter žuželkami, ki pridejo preblizu vodni površini (Globevnik in sod., 1998).

Lipan naseljuje vodotoke nižjih nadmorskih višin, z večjimi pretoki vode in prodnatim dnom z različno velikimi prodniki. Najdemo ga tudi vodotokih s peščenim dnom in bogatim vodnim rastlinjem. Zadržuje se predvsem v predelih s hitrejšim tokom in zmernimi globinami vode. Temperature ne smejo preseči 18 do 20 °C. Rad se druži v jate in se ne skriva ob bregovih ali na dnu. Prehranjuje se z manjšimi nevretenčarji, ki živijo na dnu, hrano pa išče tudi na vodni površini. Lipan je ribja vrsta, ki je zelo občutljiva na kakovost vode (Globevnik in sod., 1998).

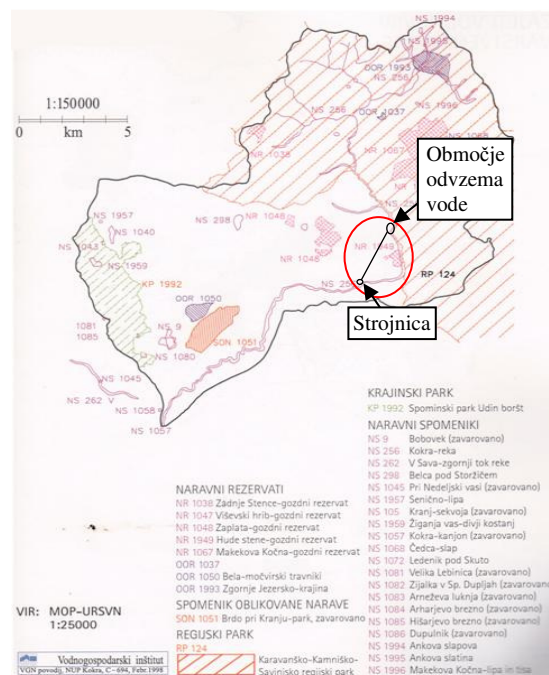
Šarenka je neavtohtona ribja vrsta (prinesena iz Severne Amerike v 19. stoletju), izredno prilagodljiva, ki naseljuje hitro tekoče vode in jezera. Najdemo jih v vodah z visoko vsebnostjo kisika, kjer temperatura ne presega 21 °C. Kot vse postrvje vrste se prehranjuje z živalsko hrano, pretežno s talnimi nevretenčarji, večjimi osebki pa tudi ribami (Globevnik in sod., 1998).

3.1.10 Dejavnosti v povodju Kokre

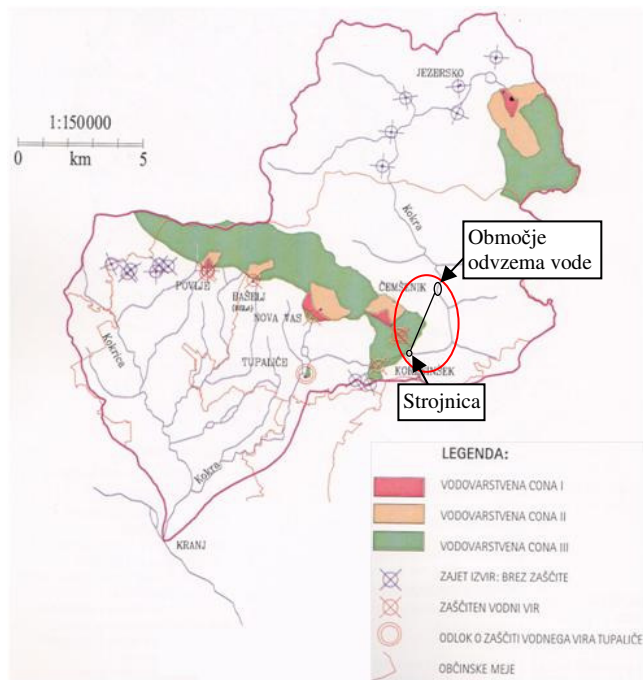
Na naslednjih kartah so prikazani podatki o administrativnih enotah, rabi tal, naravnih vrednotah in varovanih območjih na povodju Kokre.



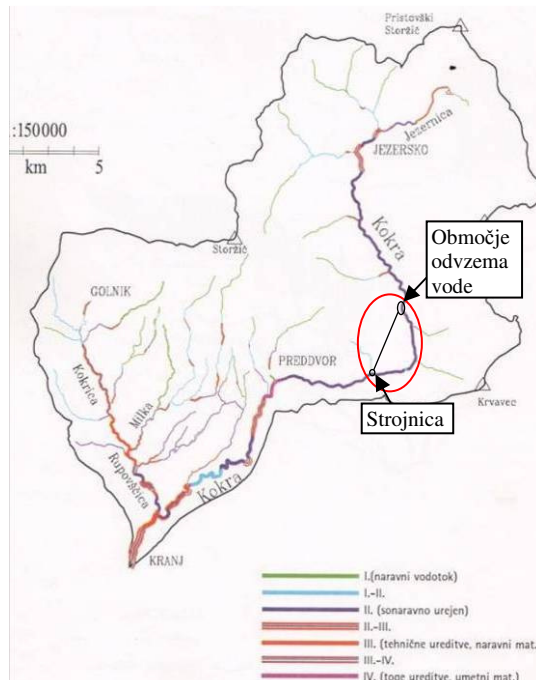
Raba tal na povodju Kokre (Globevnik in sod., 1998, 42).



Naravna dediščina na povodju Kokre (Globevnik in sod., 1998, 45).



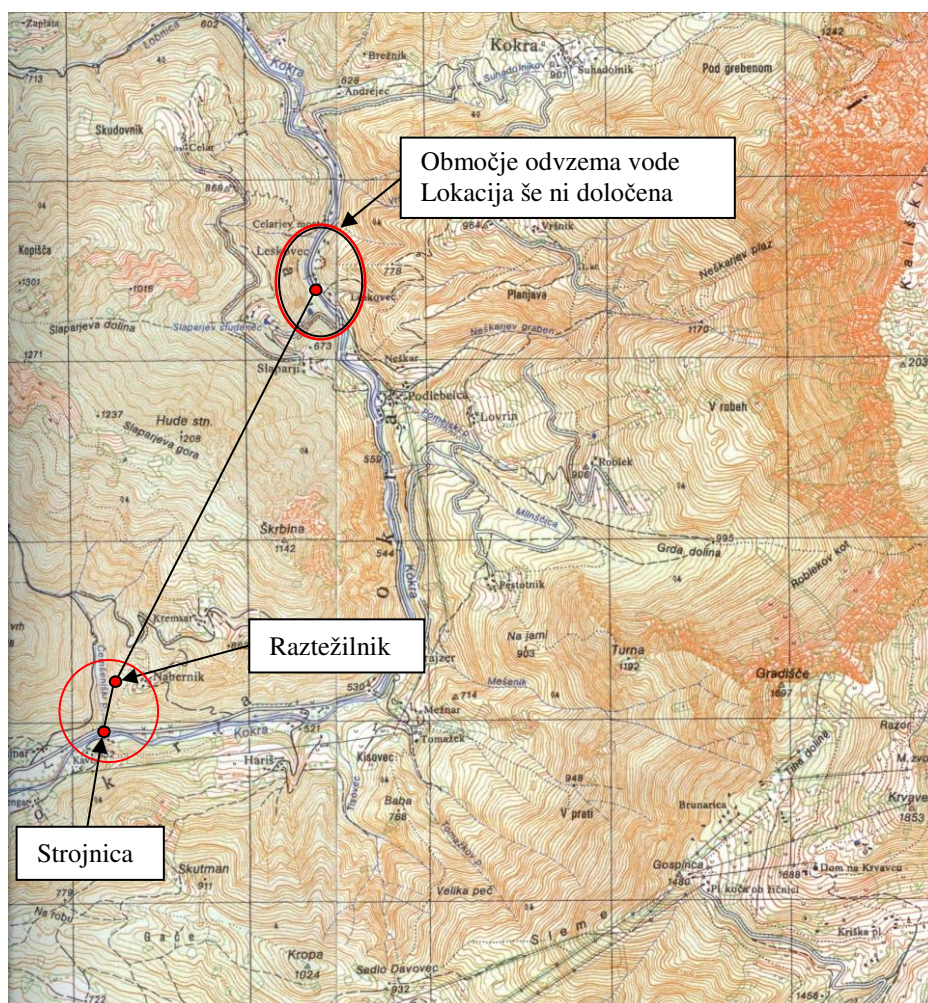
Zajeti vodni viri in varstvene cone povodju Kokre (Globevnik in sod., 1998, 44).



Kategorizacija odsekov vodotokov na povodju Kokre (Globevnik in sod., 1998, 46).

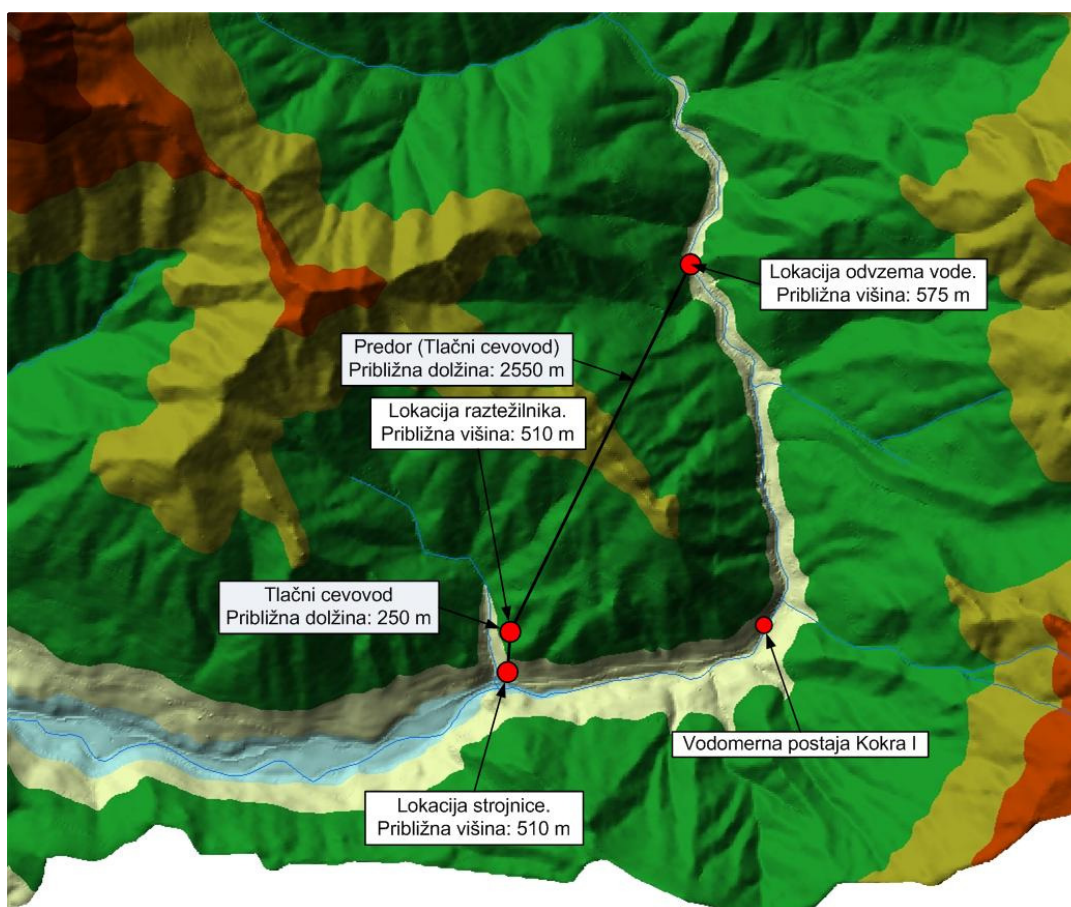
3.2 Umestitev mHE Kokra v prostor

Investitor želi zgraditi objekt za proizvodnjo električne energije. Predvidena zasnova mHE je sledeča: objekt za odvzem vode iz vodotoka Kokre bi bil v neposredni bližini obstoječe mHE Virnik (zgornja kota jezusa, ki služi mHE Virnik znaša 574,4 m.n.v., spodnja kota pa 570,7 m.n.v.). Za odvzem vode bi se rekonstruiral obstoječ jež Virnik, z ureditvijo bočnega odvzema vode in preliva za zagotavljanje ekološko sprejemljivega pretoka. Vodo bi iz odvzemnega mesta speljali po cevovodu do lokacije strojnice. Za ureditev cevovoda, bi v hribini (pod Škrbino) uredili predor, dolžine približno 2800 m, v katerega bi namestili tlačni cevovod. Strojnico in iztok (približna kota terena: 510 m.n.v) bi uredili na približni lokaciji pritoka Čemšeniškega potoka v Kokro. Vsa zemljišča se nahajajo v katastrski občini Kokra v občini Preddvor.



Slika 3: Lokacija predvidene mHE Kokra (Atlas Slovenije)

3.2.1 Lokacija odvzema



Slika 4: Prikaz različnih variant lokacije odvzemnega mesta

3.2.1.1 Lokacija odvzema vode



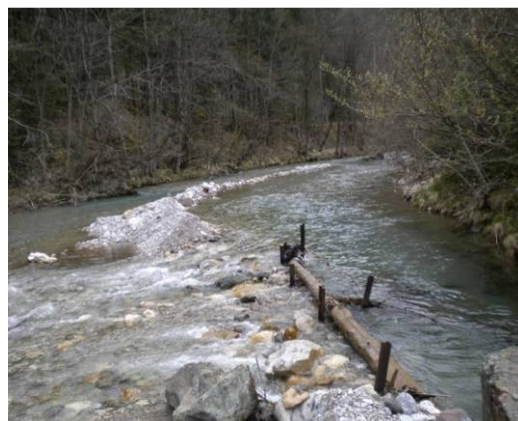
Slika 5: Odvzemno mesto: pogled proti odvzemnemu mestu gorvodno (Mrak, 2010)



Slika 6: Odvzemno mesto: pogled od odvzemnega mesta dolvodno (Mrak, 2010)



Slika 7: mHE Virnik (Mrak, 2010)



Slika 8: Kokra pred dovodnim kanalom na mHE Virnik (Mrak, 2010)



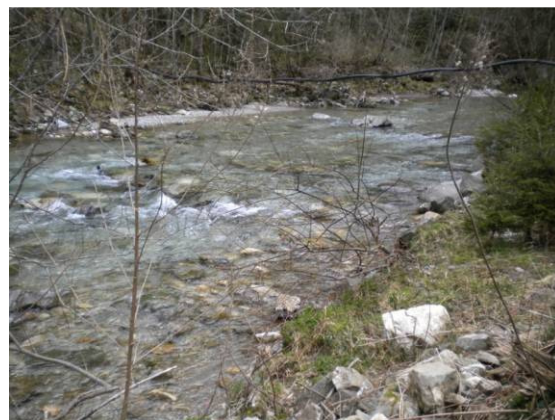
Slika 9: Jez Virnik (Mrak, 2010)



Slika 10: Dovodni kanal na mHE Virnik (Mrak, 2010)



Slika 11: Izpust mHE Virnik (Mrak, 2010)



Slika 12: Izpust mHE Virnik: pogled gorvodno za izpustom (Mrak, 2010)

3.2.1.2 Odsek med odvzemom vode in izpustom



Slika 13: Rečni odsek (Mrak, 2010)



Slika 14: Škrbina 1142 m.n.v. (Mrak, 2010)

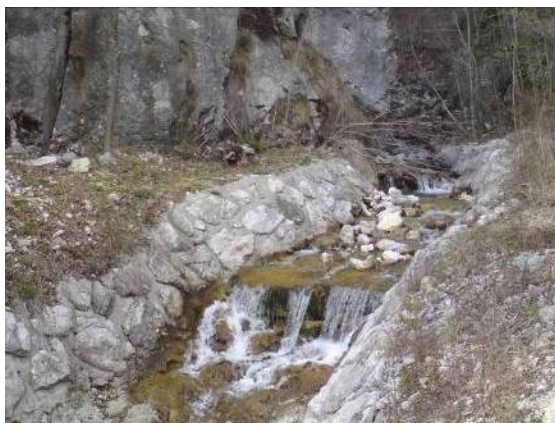
3.2.1.3 Lokacija strojnice in izpusta



Slika 15: Predvidena lokacija strojnice –
pogled proti Čemšeniškemu potoku (Mrak,
2010)



Slika 16: Predvidena lokacija strojnice –
pogled gorvodno iz parkirišča ob glavni cesti
(Mrak, 2010)



Slika 17: Čemšeniški potok (Mrak, 2010)



Slika 18: Predvidena lokacija strojnice,
pogled proti Kokri gorvodno (Mrak, 2010)



Slika 19: Predvidena lokacija strojnice (iztok), pogled proti Kokri dolvodno (Mrak, 2010)

3.2.1.4 Kamninska osnova



Slika 20: Kamninska sestava na mestu odvzema (Mrak, 2010)



Slika 21: Kamninska sestava na mestu strojnice (Mrak, 2010)



Slika 22: Kameninska sestava hribine pod Škrbino (Mrak, 2010)

3.2.2 Obstoječe mHE na Kokri in vodna bilanca Kokre

Pred izgradnjo mHE se je priporočljivo čim bolj seznaniti z območjem, v katerega posegamo. V naslednjih preglednicah so zbrani podatki o obstoječih energetskih objektih, ki že izkoriščajo vodno energijo Kokre, ter vodna bilanca Kokre in njenih pritokov v alpskem delu.

Karakteristike delujočih mHE na Kokri (Globevnik in sod., 1998, 33):

Ime	Vodotok	Instalirani pretok Q_i [m ³ /s]	Instalirana moč N [kW]	Kota zajema vode H_z [m]	Kota iztoka vode H_{iz} [m]	Dolžina zajema do izpusta L [m]
Standard	Kokra v Kranju	5,0	155	356	348	300
Kokra	Kokra v Kranju	3,7	228	371,7	363,9	370
Britof	Kokra v Britofu	5,0	290	388,6	380,6	900
LIP	Kokra pri Preddvoru	1,12	65	458,4	454,2	750

Ime	Vodotok	Instalirani pretok Q_i [m ³ /s]	Instalirana moč N [kW]	Kota zajema vode H_z [m]	Kota iztoka vode H_{iz} [m]	Dolžina zajema do izpusta L [m]
Virnik-Hajniherjev jež	Kokra v Kokri	0,8	25	574,8	570,5	350
Povšnar	Kokra v Kokri	0,73	22	600,8	597,2	250
Ribič-Fužina, Štularjev jež	Kokra pri Koritarici	1,5	60	693,3	364,1	250
Olip	Murnov graben	0,05	100	825,0	777,0	450
Povšnar	Suhadolnikov graben	0,08	10	923,0	900,0	200
Zabukovec	Zabukovski graben	0,230	105	880,0	775,0	960

Vodna bilanca Kokre in njenih pritokov (Globevnik in sod. 1998, 38):

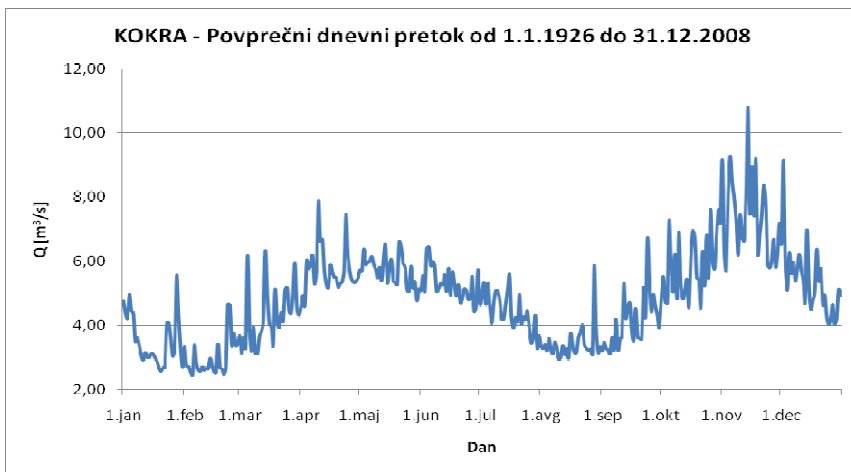
	Prispevna površina F [km ²]	Povprečni letni pretok Q_{sr} [m ³ /s]	Srednja vrednost letnih maksimalnih konic SrQ_{max} [m ³ /s]	Srednja vrednost letnih minimalnih konic SrQ_{min} [m ³ /s]
Kokra do Jezernice	13,0	0,49	21	0,16
Kokra v.p. Kokra	113,1	4,47	93	1,333
Kokra Britof	144,8	4,20	106	1,000
Kokra v.p. Kranj	223,7	5,807	127	1,115
Jezernica	30,7	1,28	35	0,34
Reka do Kokre	16,9	0,76	26	0,23
Koritarica	5,67	0,22	10	0,07
Lobnica	5,16	0,20	9	0,07
Suhadolnikov graben	9,5	0,41	16	0,11

3.3 Idejna zasnova mHE Kokra

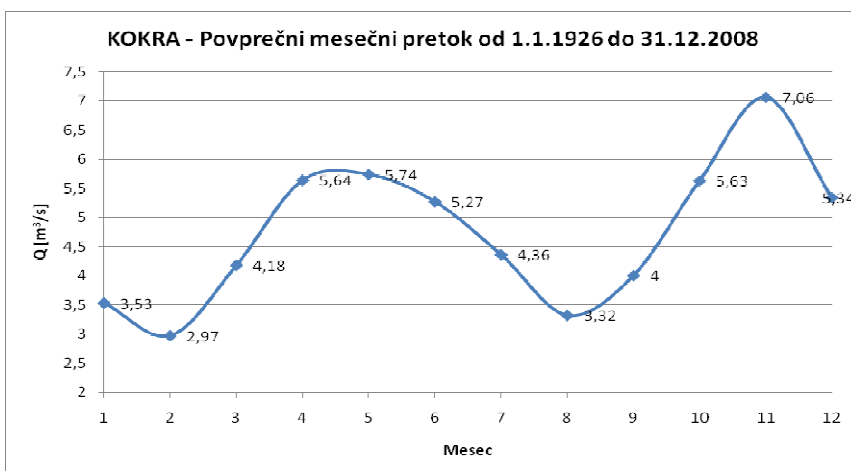
3.3.1 Analiza pretokov

Podatke o dnevni pretokih za vodomerno postajo Kokra I za obdobje 1926–2008 sem pridobil na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje in prostor. Iz množice podatkov sem ustvaril preglednico dnevni pretokov za posamezno leto v obravnavanem obdobju. Izračunal sem aritmetične vrednosti srednjih dnevni, mesečni in letni pretokov in izdelal grafikone za omenjene pretoke. Izmed povprečnih letni pretokov sem izbral leto z

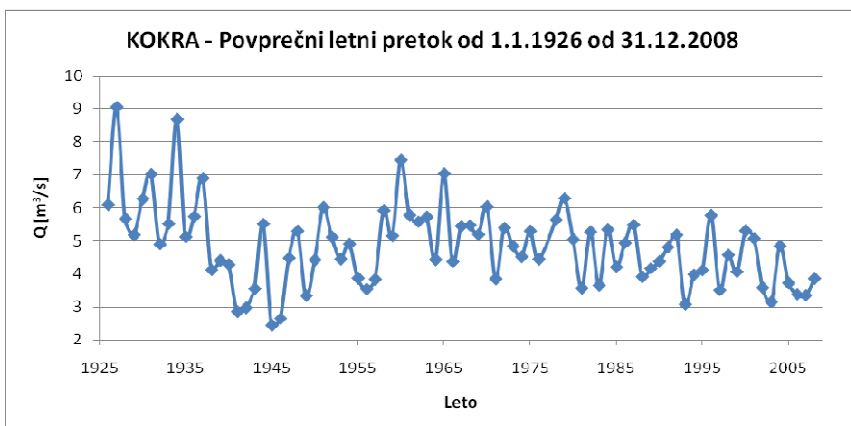
največjo in najmanjšo vsoto pretokov in na ta način določil pretok za sušno in mokro obdobje. Za ti dve obdobji sem izdelal še krivulji trajanja pretokov.



Slika 23: Povprečni dnevni pretoki na vodomerni postaji Kokra I



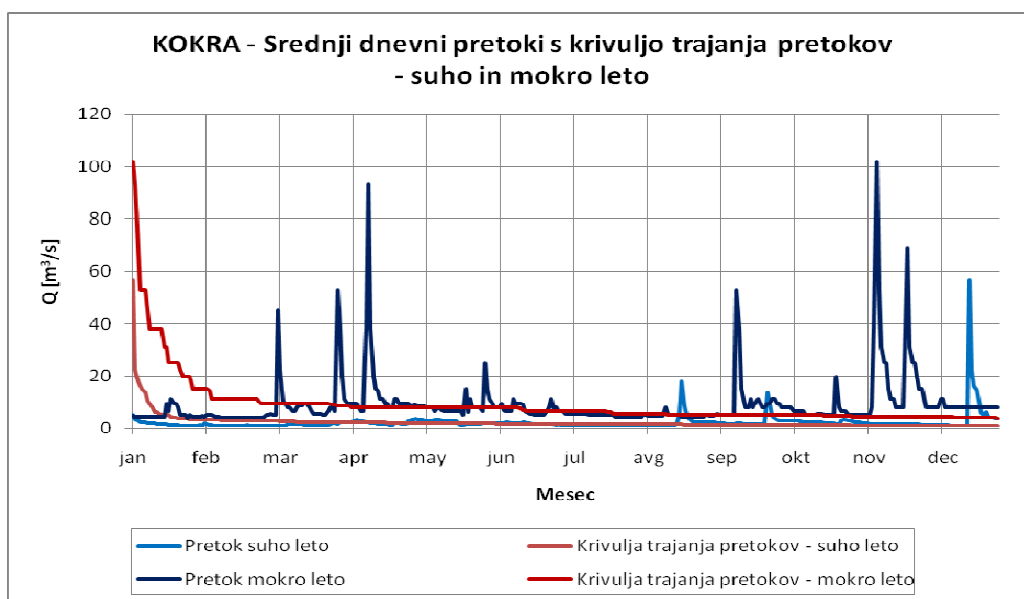
Slika 24: Povprečni mesečni pretoki na vodomerni postaji Kokra I



Slika 25: Povprečni letni pretoki na vodomerni postaji Kokra I

Preglednica 1: Srednji mesečni pretoki

Mesec	Srednji mesečni pretok [m ³ /s]
Januar	3,53
Februar	2,97
Marec	4,18
April	5,64
Maj	5,74
Junij	5,27
Julij	4,36
Avgust	3,32
September	4,00
Oktober	5,63
November	7,06
December	5,34



Slika 26: Srednji dnevni pretoki in krivulja trajanja pretokov za sušno in mokro leto na vodomerni postaji Kokra I

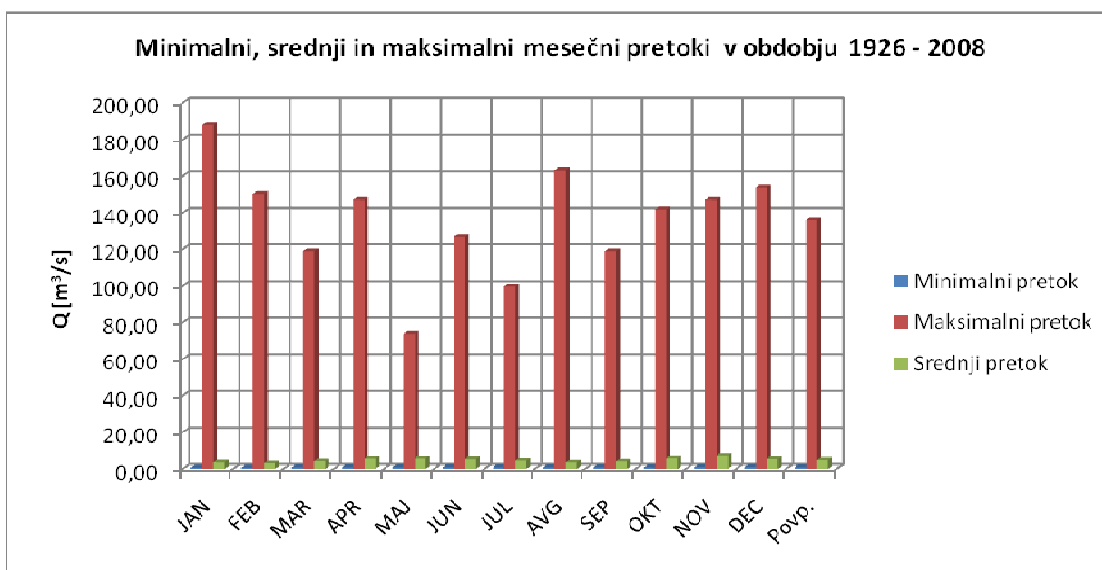
Preglednica 2: Analiza dnevni pretokov za povprečno, mokro in sušno leto, na vodomerni postaji Kokra I

<i>Q_{suho}</i>		<i>Q_{mokro}</i>		<i>sQ_{dnevni}</i>	
Mean	2,42	Mean	9,06	Mean	4,84
Standard Error	0,19	Standard Error	0,53	Standard Error	0,08
Median	1,90	Median	6,40	Median	4,83
Mode	1,30	Mode	7,80	Mode	#N/V
Standard Deviation	3,54	Standard Deviation	10,22	Standard Deviation	1,44

<i>Qsuho</i>		<i>Qmokro</i>		<i>sQdnevni</i>	
Sample Variance	12,52	Sample Variance	104,42	Sample Variance	2,08
Kurtosis	160,44	Kurtosis	37,04	Kurtosis	0,65
Skewness	11,30	Skewness	5,45	Skewness	0,64
Range	56,00	Range	98,18	Range	8,35
Minimum	1,00	Minimum	3,82	Minimum	2,45
Maximum	57,00	Maximum	102,00	Maximum	10,80
Sum	884,20	Sum	3305,40	Sum	1766,54
Count	365,00	Count	365,00	Count	365,00

Preglednica 3: Minimalni, maksimalni in srednji mesečni pretoki v obdobju od 1926 do 2008

Mesec	Min pretok	Max pretok	Srednji pretok
Januar	0,72	188,00	3,53
Februar	0,72	150,00	2,98
Marec	0,92	119,00	4,25
April	0,88	147,00	5,70
Maj	0,98	74,00	5,71
Junij	0,98	127,00	5,31
Julij	0,93	99,80	4,43
Avgust	0,89	163,00	3,41
September	0,92	119,00	4,09
Oktober	0,84	142,00	5,84
November	1,00	147,00	7,38
December	1,00	154,00	5,37
Povprečje	0,90	135,82	4,84



Slika 27: Minimalni, srednji in maksimalni mesečni pretoki v obdobju od 1926 do 2008 na vodomerni postaji Kokra I

3.3.1.1 Ekološko sprejemljivi pretok Qes

Ekološko sprejemljivi pretok sem izračunal na podlagi Uredbe o kriterijih za določitev ter način spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka. Faktor f za izračun ekološko sprejemljivega pretoka pri povratnem odvzemu sem izbral v preglednici 2, glede na ekološki tip vodotoka in velikost prispevne površine. Kokra, glede na ekološki tip vodotoka, spada v 3. skupino, 224 km² velika prispevna površina pa jo uvršča v razred med 100 in 1000 km². Vrednost faktorja f je 1,1. V nadaljevanju sem izračunal ekološko sprejemljivi pretok, potrebne podatke sem pridobil na spletni strani Agencije Republike Slovenije za Okolje (ARSO).

Kriteriji za določitev ekološko sprejemljivega pretoka na reki Kokri so (Uredba o kriterijih za določitev ter način spremljanja in poročanja o ekološko sprejemljivem pretoku, 2009):

1. srednji mali pretok je aritmetično povprečje najnižjih letnih vrednosti srednjega dnevnega pretoka na tem mestu v daljšem opazovalnem obdobju. Srednji mali pretok se izraža v m³/s in se izračuna po naslednji enačbi:

$$sQ_{np} = \sum_{i=1}^{i=N} Q_{np,i} / N$$

pri čemer je sQ_{np} srednji mali pretok, $Q_{np,i}$ najmanjši srednji dnevni pretok v i -tem koledarskem letu in N število let v opazovalnem obdobju. Za reko Kokro znaša srednji mali pretok na merilni postaji Kokra, za obdobje od leta 1926 do 2008:

$$sQ_{np} = 0,90 \text{ m}^3/\text{s}$$

2. srednji pretok je aritmetično povprečje srednjih letnih vrednosti pretoka v daljšem opazovalnem obdobju. Srednji pretok se izraža v m³/s in se izračuna po naslednji enačbi:

$$sQ_s = \sum_{i=1}^{i=N} Q_{s,i} / N$$

pri čemer je sQ_s srednji pretok, $Q_{s,i}$ srednji letni pretok v i -tem koledarskem letu in N število let v opazovalnem obdobju. Za reko Kokro znaša srednji pretok na merilni postaji Kokra, za obdobje od leta 1926 do 2008:

$$sQ_s = 4,84 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ekološko sprejemljivi pretok Qes se izračuna po enačbi:

$$Q_{es} = f \cdot Q_{np} = 1,1 \cdot 0,90 \text{ m}^3 / \text{s} = 0,99 \text{ m}^3 / \text{s}$$

3.3.1.2 Energetski potencial

Energetski potencial, imenovan tudi bruto padec, je višinska razlika med določenima lokacijama na določenem delu rečnega odseka. Za energetsko izkoriščanje so zanimivi samo odseki, kjer imajo padci večje vrednosti od tistih, ki določajo mirni tok. Neto padec je bruto padec zmanjšan za izgubo višine na dovodnem in iztočnem delu, ki nastane zaradi izgub (lokalnih in linijskih). Predstavlja tisto potencialno energijo vodotoka, ki jo lahko izkoristimo za proizvodnjo električne energije (Šolc, 1981). Bruto padec vodotoka sem dobil kot razliko vrednosti med koto zajetja in koto iztoka na mestu strojnice. Višina gladine na zajetju znaša 575 m.n.v. in višina gladine na iztoku 510 m.n.v.. Vrednosti sta približni in sta odčitani iz Prostorskega informacijskega sistema občin (PISO)). Energetski potencial znaša 65 m.

3.3.2 Moč vodotoka in mHE

Energetski potencial vodotoka je enak povprečni moči vodotoka na določenem odseku v časovnem obdobju enega leta. Predstavlja delo, ki ga lahko opravi vodna masa, če pade iz neke višine. Povprečna moč vodotoka se izračuna kot produkt srednjega letnega pretoka in bruto padca, ki je ustvarjen na rečnem odseku.

$$N = \rho * g * Q_s * H_b$$

$$N = 1000 * 9,81 * 4,84 * 65$$

$$N = 3,08 \text{ MW}$$

N – teoretična moč vodotoka, brez vseh izgub [MW]

ρ – gostota vode [1000 kg/m³]

g – težnostni pospešek [9,81 m/s²]

H_b – bruto padec vodotoka na določenem odseku (H_b = 65 m)

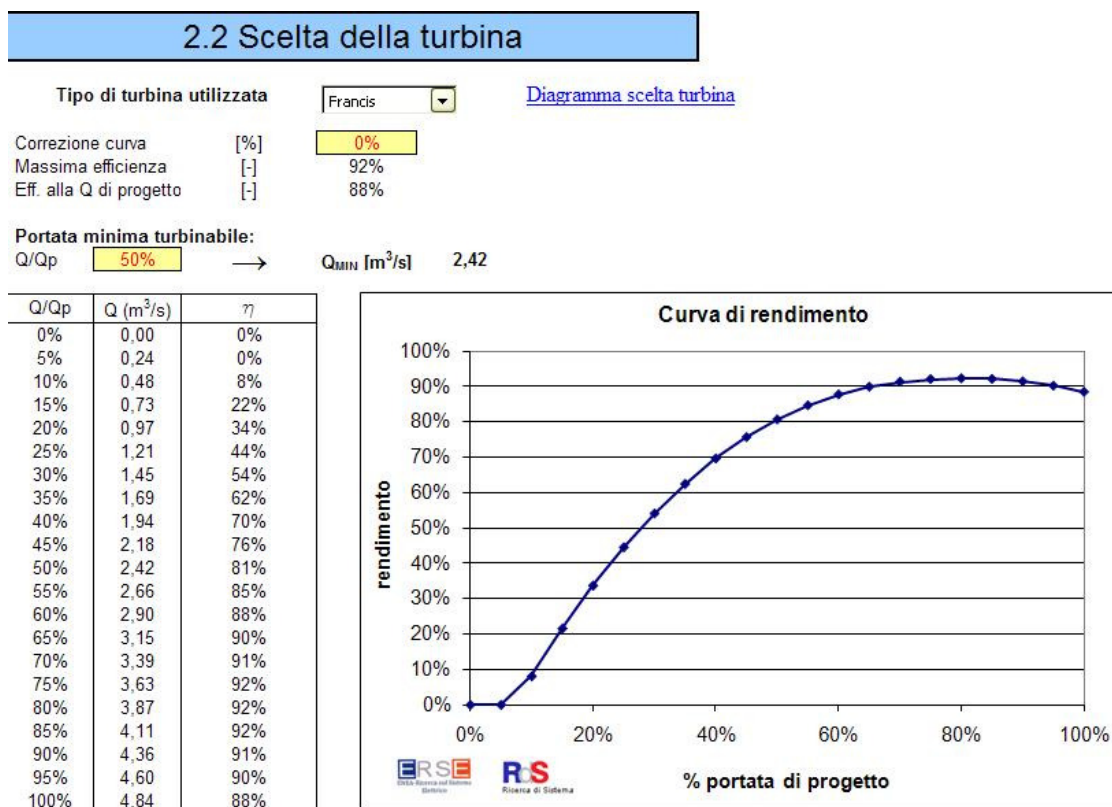
Q – srednji rečni pretok (Q_s = 4,84 m³/s)

3.3.3 Izbira turbine

Izbira vrste turbine je odvisna od dveh glavnih kriterijev, to sta instalirani pretok in višinska razlika med koto zajetja vode in koto turbine (osi turbine). Višinska razlika med koto zajetja in koto turbine pri mHE Kokra znaša 65 m, instalirani pretok pa 4,84 m³/s. Na podlagi teh dveh vrednosti sem iz diagrama za določitev najustreznejše krivulje (Območja pretokov in padcev, za določitev najustreznejše turbine (ESHA, 2004, 175)) izbral Francisovo turbino, ki je primerna za srednje in velike vrednosti padcev ter srednje vrednosti pretokov. Količina dotekajoče vode se bo regulirala na določeni koti odvzemnega objekta, pri čemer se bo odvečna količina vode prelivala čez preliv. Minimalni pretok, pri katerem Francisova turbina še obratuje, znaša 50 % instaliranega pretoka (ESHA 2004). Za predvideno mHE Kokra znaša vrednost minimalnega pretoka 2,43 m³/s, priporočena hitrost vode v cevovodu pa 1,5 m/s. Premer dovodne cevi na turbino, linijske in lokalne izgube ter krivuljo učinkovitosti (ang. turbine efficiency curve, ital. curva di rendimento) Francisove turbine sem določil s programom Smart Mini-Idro. Vrednosti so prikazane na naslednjih slikah.

2.1 Calcolo del salto netto			
Portata di progetto	[l/s]	4840,0	
Salto lordo	[m]	65,00	
Caratteristiche della condotta forzata:			
lunghezza della c.f.	[m]	2800,00	
velocità di progetto nella c.f.	[m/s]	1,50	
scabrezza di Strickler	[m ^{1/3} /s]	96	
diametro della condotta forzata	[m]	2,027	→ D _{COMM} [m] 2,050
cadente massima in c.f.	[-]	0,001	
massima perdita continua in c.f.	[m]	1,60	
massima perdita percentuale	[%]	2,46%	
perdita localizzata (= $\alpha \cdot V^2/2g$)	[m]	0,05	$\alpha = 0,5$
Salto netto alla portata di progetto	[m]	63,35	

Slika 28: Linijske in lokalne izgube v cevovodu, neto višinska razlika (padeč) ter premer dovodne cevi



Slika 29: Krivulja učinkovitosti Francisove turbine

3.3.4 Predvidena letna proizvodnja energije

Letna proizvodnja energije se izračuna po enačbi $E = P \cdot t$, pri čemer P predstavlja moč turbine, t pa interval trajanja proizvodnje električne energije v urah (h). Moč turbine se določi na podlagi produkta instaliranega pretoka, padca, težnostnega pospeška ter gostote vode. Instaliran pretok sem določil kot dvakratno vrednost srednjega nizkega pretoka v sušnem obdobju. Poenostavljen izračun vrednosti instaliranega pretoka znaša:

$$Q_{INST} = 2 \cdot s \cdot Q_N = 2 \cdot 2,42 = 4,84 \text{ m}^3 / \text{s} = 4840 \text{ l} / \text{s}$$

Teoretična moč turbine brez izgub tako znaša:

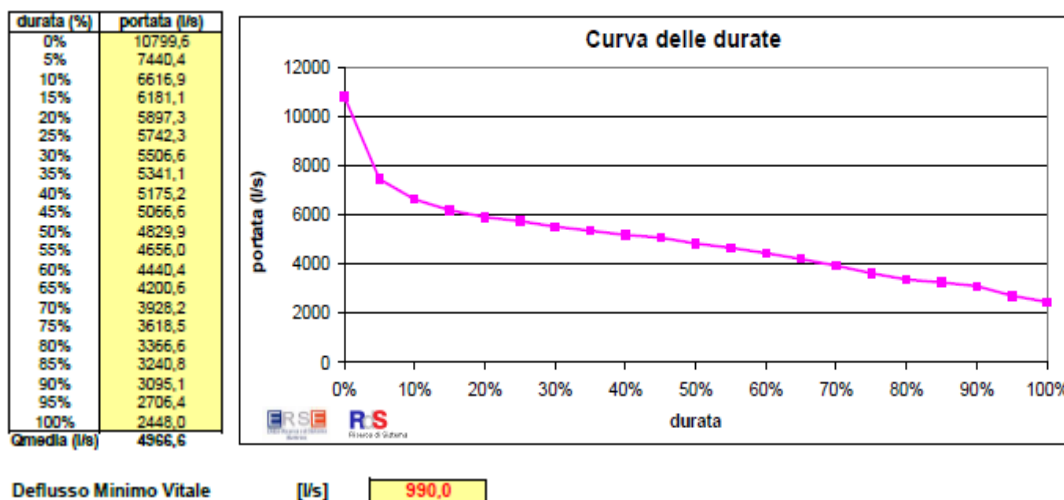
$$N = \rho \cdot g \cdot s \cdot Q_s \cdot H_b$$

$$N = 1000 \cdot 9,81 \cdot 4,84 \cdot 65$$

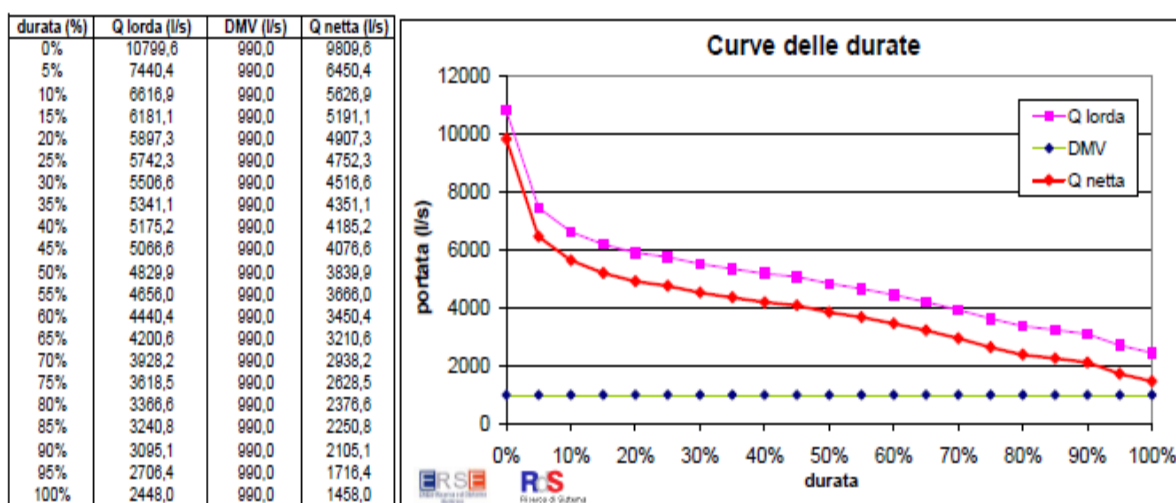
$$N = 3,08 \text{ MW}$$

V nadaljevanju je prikazan izračun vrednosti instaliranega pretoka s programom Smart Mini-Idro. V prvi fazi je potrebno določiti krivuljo trajanja pretokov ter vrednost ekološko

sprejemljivega pretoka. Vrednosti o trajanju (ital. durata) pretokov ter ekološko sprejemljivem pretoku (ital. Deflusso Minimo Vitale) so izračunane iz podatkov ARSO ter vnesene ročno.

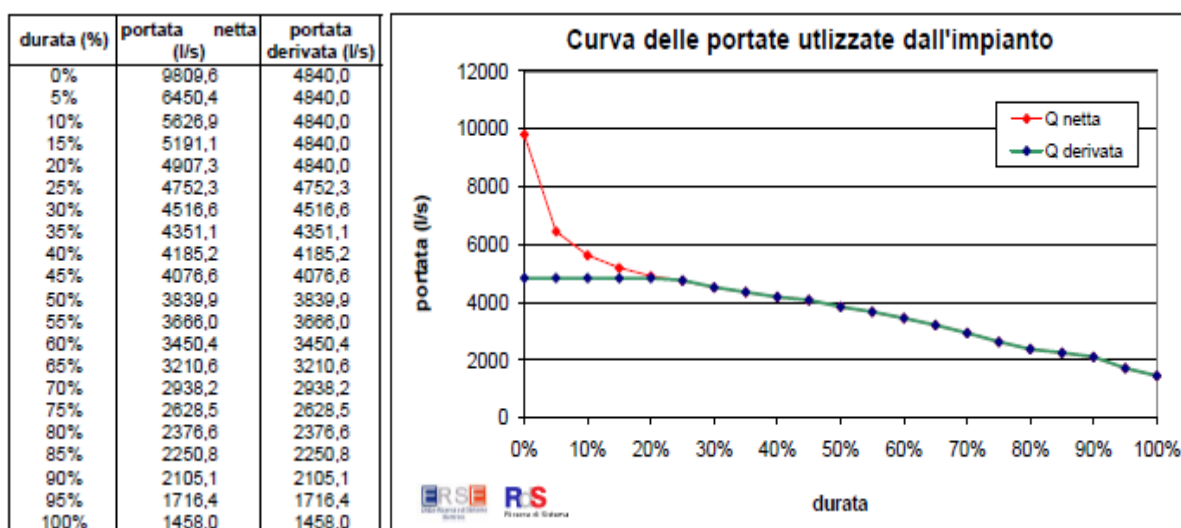


Slika 30: Določitev krivulje trajanja za mHE Kokra s programom Smart Mini-Idro.



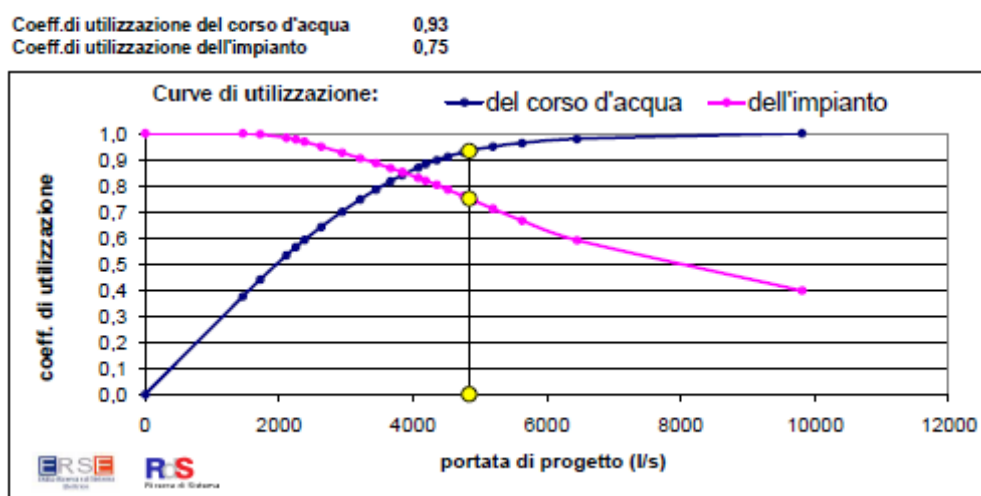
Slika 31: Izračun neto krivulje trajanja za mHE Kokra, s programom Smart Mini-Idro.

Program je nato izračunal in izrisal neto krivuljo trajanja pretokov. Za izračun količin pretokov, ki jih lahko odvezamo iz vodotoka oziroma dinamičnega instaliranega pretoka, je bilo treba vnesti še vrednost instaliranega pretoka, ki znaša 4840 l/s.



Slika 32: Izračun instaliranega pretoka (ital. portata derivata) in krivulji neto in instaliranega pretoka za mHE Kokra, s programom Smart Mini-Idro.

Vrednost povprečnih letnih količin odvzete vode, izračunana s pomočjo programa Smart Mini-Idro, znaša 3605,8 l/s oziroma 3,605 m³/s.



Slika 33: Krivulja izkoriščenosti vodotoka in odvzete vode

Poenostavljen izračun količine letne proizvodnje električne energije se izračuna kot produkt med močjo turbine in trajanjem proizvodnje električne energije. Za vrednost trajanja proizvodnje električne energije sem privzel vrednost 6 mesecev.

$$E_L = P_i \cdot t = 3,08 \cdot (6 \cdot 30 \cdot 24) = 13332,50 \text{ MWh} = 13,33 \text{ GWh}$$

E_L – letna proizvodnja energije elektrarne [MWh] predstavlja proizvodno sposobnost elektrarne v enem letu

P_i – instalirana moč elektrarne predstavlja maksimalno moč instaliranih turbin

t – čas trajanja proizvodnje električne energije, privzeta je vrednost 6 mesecev

S programom Smart Mini-Idro sem določil predvideno količino proizvedene električne energije. Ob dejstvu, da bo v strojnico vgrajen asinhronski generator z izkoristkom 0,97 in transformator z učinkovitostjo 0,98, znaša maksimalna moč turbine 2,66 MW, nazivna moč turbine 2,39 MW in povprečna moč turbine 2,10 MW (Slika 34: Karakteristike turbine). Količina letne proizvodnje energije predvidene mHE Kokra znaša 14,023 MWh oziroma 14,02 GWh (Slika 35: Krivulja trajanja pretokov in proizvodnje električne energije). Letna količina proizvedene električne energije, ki sem jo izračunal po enačbi se razlikuje od letne količine proizvedene električne energije, ki sem jo določil s programom Smart Mini-Idro zaradi privzetega trajanja proizvodnje 6 mesecev ter upoštevanja teoretične moči turbine brez izgub. Razlika je le 4,9 odstotka, zato lahko poenostavljen izračun letne proizvedene količine električne energije vseeno služi za njeno oceno.

3.1 Caratteristiche dell'impianto

Nome impianto		mHE Kokra
Località		Slovenija
Corso d'acqua		Kokra
Portata di progetto	[l/s]	4.840,0
Salto lordo	[m]	65
Tipo di turbina		Francis

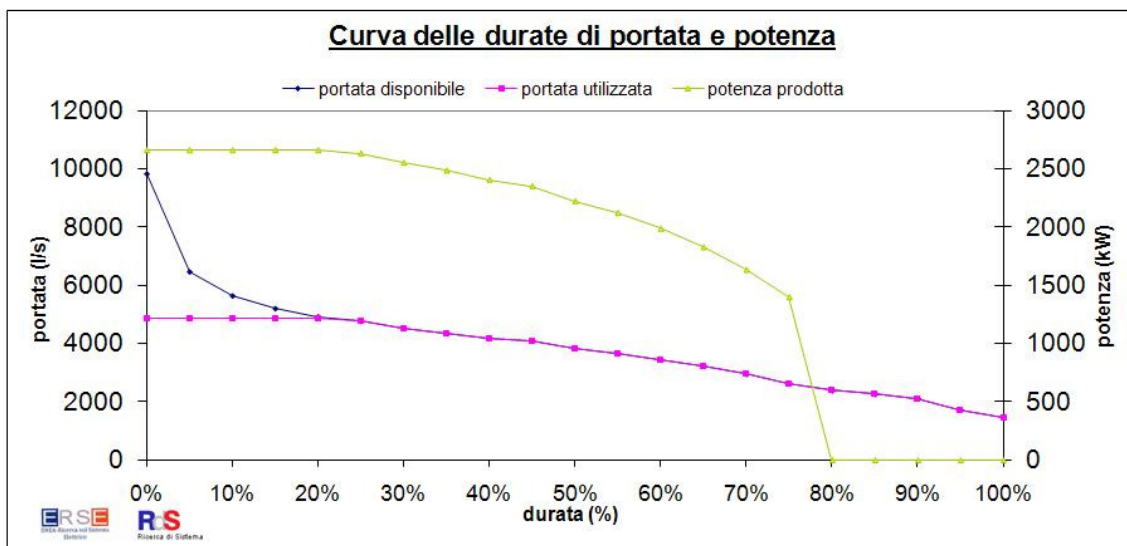
3.2 Potenza dell'impianto

Eff. turbina alla portata di progetto	[%]	88%
Perdite localizzate	[m]	0,05
Massima perdita idraulica	[%]	2,46%
Efficienza al generatore	[%]	97%
Efficienza al trasformatore	[%]	98%
Efficienza al moltiplicatore di giri	[%]	100%
Percentuale di fermo impianto	[%]	5%
Potenza massima dell'impianto	[kW]	2.659
Potenza nominale dell'impianto	[kW]	2.393
Potenza media dell'impianto	[kW]	2.098

Slika 34: Karakteristike turbine

3.3 Produzione annua di energia

Produzione annua di energia [MWh] 14.023
Durata teorica annua di funzionamento [giorni] 292



Slika 35: Krivulja trajanja pretokov in proizvodnje električne energije

3.3.5 Ekonomska analiza predvidene mHE Kokra

Predvidena mHE Kokra bo proizvodna naprava OVE z energetske tehnologije, ki izkorišča naravni vir energije, in sicer energetski potencial vodotoka Kokra. Glede na nazivno moč se po Uredbi o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije, uvršča v 3. velikostni razred nazivne električne moči od 1 MW do vključno 10 MW. Referenčni stroški predvidene mHE Kokra znašajo 82,34 EUR/MWh oziroma 0,08234 EUR/kWh. Za mHE Kokra se predvideva podpora v obliki zagotovljenega odkupa proizvedene električne energije. Cena zagotovljenega odkupa znaša 82,34 EUR/MWh (Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije, 2009).

3.3.5.1.1 Pričakovana proizvodnja in prodaja

Predviden projekt mHE Kokra bo investitor realiziral do konca 2015. S proizvodnjo električne energije bo predvidoma pričel s 1.1.2016. Termina sta prosto izbrana in zgolj informativna. Izračun pričakovanega poslovnega prihodka po realizaciji projekta mHE Kokra temelji na naslednjih predpostavkah:

- Preglednica 4: Količina proizvodnje električne energije v enem letu

Leto	2015	2016	2017	2018
Proizvedena količina el. energije	0	14023 MWh	14023 MWh	14023 MWh

- Prodajna cena v skladu z Uredbo o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije za predvideno mHE Kokra znaša 82,34 EUR/MWh (Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije, 2009).
- Preglednica 5: Poslovni prihodek iz naslova prodaje električne energije po posameznih letih

Leto	2015	2016	2017	2018
Prihodek	0	1154654 EUR	1154654 EUR	1154654 EUR

3.3.5.1.2 Tehnično-tehnološki vidik investicije

Osnovna konfiguracija mHE Kokra zajema:

- zaježitev z vtočnim objektom
- bočno zajetje s peskolovom
- tlačni cevovod
- strojnica z odvodnim kanalom
- kratek odvodni kanal
- daljnovidni priključek na omrežje

Investitor bo v okviru predvidene investicije vlagal sredstva v vso opremo, ki je potrebna za nemoteno proizvodnjo električne energije, in jo sestavljajo strojna, elektro ter hidromehanska oprema in tlačni cevovod.

Strojno opremo predstavlja Francisova turbina z dodatno opremo, potrebno za namestitvev in delovanje Francisove turbine, elektro opremo pa generator z vertikalno osjo in kotalnimi ležaji. Regulator napetosti je vgrajen v sam regulator. Sistem vodenja in regulacije med drugim zagotavlja avtomatsko in zanesljivo delovanje agregata brez prisotnosti upravljavca, regulacijo hitrosti agregata pred sinhronizacijo na mrežo in regulacijo nivoja vode na vstopu v cevovod. Strojna in elektro oprema bo vgrajena v strojnici. Hidromehansko opremo sestavljajo: vtočna groba rešetka, zapornica vtoka v peskolov, zapornice talnih izpustov na

zajetju in peskolovu, vtočna fina rešetka, čistilni stroj za čiščenje naplavin iz fine rešetke, dvigalo v strojnici.

Preglednica 6: Vrednost opreme za mhe Kokra

Vrsta opreme	Vrednost v EUR
Hidromehanska oprema	765.000,00
Oprema – zajetje	55.000,00
Dvigalo	6.000,00
Skupaj	826.000,00

Vrednosti opreme, zemljišč, predvidenih gradbenih del ter stroškov materiala so okvirne in služijo za predstavo in ekonomsko analizo predvidene investicije. Povzete so iz investicijskega programa primerljive mHE Lovrenc (Toplak, 2009). Vrednosti zemljišč in predvidenih gradbenih objektov so podane v nadaljevanju.

Vrednost zemljišča:

- zemljišče za potrebe strojnice (2000 m²): 25.000,00 EUR
- zemljišče za potrebe zajetja (1400 m²): 65.000,00 EUR

Skupaj: 90.000,00 EUR

Preglednica 7: Vrednost gradbenih del

Vrsta gradbenega dela	Vrednost v EUR
Gradbeni objekti – zajetje	150.000
Gradbeni objekti – strojnica	130.000
Cevovod – gradnja predora (ocena)	4.000.000
Cevovod – jeklo	750.000
Rekonstrukcija obstoječega jezua	15.000
Omarica strojnice in zajetja, kablovod strojnica – omrežje	6.000
Skupaj	5.051.000

Preglednica 8: Stroški materiala

	2016	2017	2018
Vrsta stroška			
energija	2.500	2.500	2.500
voda	0	0	0
ostali. mat. str.	5.000	5.000	5.000
Skupaj	5.500	5.500	5.500

Predvideni stroški storitev pri obratovanju mhe Kokra, so povzeti iz investicijskega programa mHE Lovrenc (Toplak, 2009) in služijo za okvirno oceno. Vrednosti znašajo:

- strošek koncesije: v višini 5 % od poslovnih prihodkov
- vodno povračilo: 0,1694 EUR/MWh
- storitve nadzora v višini: 300 EUR/mesec
- storitve vzdrževanja v višini: 10 % amortizacije
- stroški zavarovanja v višini: 22.000 EUR/leto
- druge storitve v višini: 1.500 EUR/leto

Preglednica 9: Stroški

Leto	2016	2017	2018
Stroški storitev			
Strošek koncesije	57.737	57.737	57.737
Vodno povračilo	2.375	2.375	2.375
Storitve nadzora	3.600	3.600	3.600
Storitve vzdrževanja	15.000	15.000	15.000
Stroški zavarovanja	22.000	22.000	22.000
Druge storitve	1.500	1.500	1.500
Skupaj	102.212	102.212	102.212

Obratovanje predvidene mHE Kokra bo popolnoma avtomatizirano, zato bo za potrebe nemotene proizvodnje električne energije potreben le delavec za kontrolo in nadzor nad obratovanjem. Predvidena je zaposlitev delavca srednješolske izobrazbe elektro ali strojne smeri, za katerega je zahtevan bruto osebni dohodek 1500 EUR/mesec ter dodatnimi stroški v višini 2.500 EUR/leto.

3.3.5.2 Rekapitulacija investicije

Preglednica 10: Rekapitulacija investicije

Elementi	Vrednost [EUR]
Zemljišče	90.000
Gradbeni objekt	5.051.000
Oprema	826.000
Osnovna vlaganja	130.000
Dokumentacija, nadzor (proj. dok., posl. fin. načrt, študija vplivov na okolje, št. pož. varn., geom. por., projektni pogoji, soglasja, prost. akti, lok. info., gr. nadzor)	95.000
Upravni postopki, soglasja, odškodnine, meritve	35.000

Stroški kredita	5.500
Skupaj osnovna sredstva	6.097.000
Obratna sredstva	12.000
Ostala vlaganja – prispevki	0
<i>Skupaj</i>	<i>6.109.000</i>

Analizo financiranja sem opravil z računalniškim programom Smart Mini-Idro.

Modalità di calcolo:

Stima sintetica
 Computo metrico estimativo
 Formule

Voce opera	€
Opere Civili	5.141.000
Apparati elettromeccanici e centrale	826.000
Amministrazione e Progettazione	130.000
Varie e Miscellanee	12.000
TOTALE PARZIALE	6.109.000
IVA (% sul totale parziale)	20%
TOTALE (€)	#####

Costo totale dell'opera 7.330.800 [€]
 Contributo statale 0% [%]

Costo capitale (€) 7.330.800

Slika 36: Stroški investicije

Parametri finanziari	
tasso di attualizzazione	0,04
vita di progetto (anni)	30

5.2 Costi annui

gestione e manutenzione 2% [% del costo totale]
 spese di gest. e manut. 146.616 [€/anno]
 tasse e canoni 12,05 [€/kW/anno]
 spese per tasse e canoni 28.831 [€/anno]
Costo annuo 175.447 [€/anno]

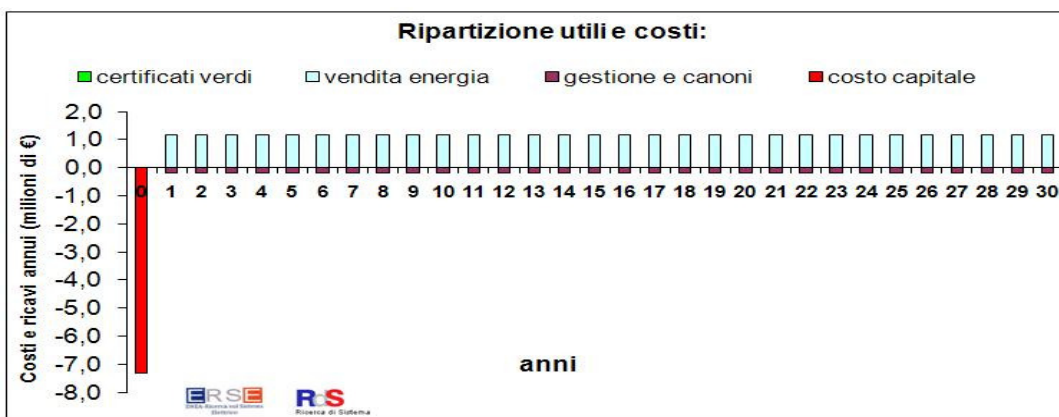
5.3 Beneficio annuo

Prezzo di cessione energia 0,08234 [€/kWh]
 Certificati Verdi 51 prezzo Certificato Verde: 0 [€/kWh] per i primi 15 anni

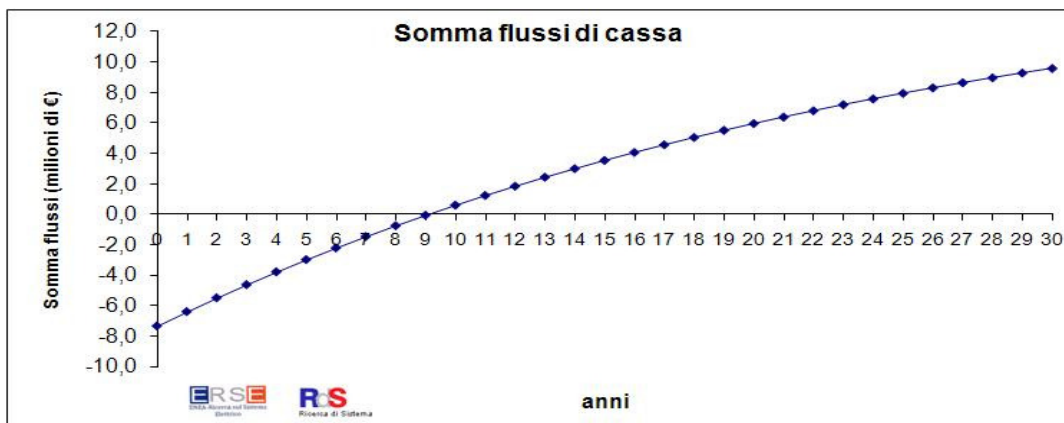
5.4 Analisi finanziaria

Valore attuale netto (VAN) 9.601.422 [€]
 Ind. Rend. attualizzato (IRA) 1,31 [-]
 Periodo di pareggio att. (PPA) 9,08 [anni]
 Tempo di ritorno investimento 7,49 [anni]
Rapporto beneficio-costi 1,93 [-]

Slika 37: Finančna analiza



Slika 38: Porazdelitev dobička in stroškov



Slika 39: Vsota denarnih tokov

Denarni tok skozi življenjsko dobo projekta nam kaže dobo vračanja naložb. Doba vračanja naložb je čas, ko se vsota prihodkov izenači z vrednostjo investicijskih sredstev. Ob predpostavljani 4 % interni stopnji donosa (približna vrednost obresti na banki), 2 % stroških upravljanja in vzdrževanja, odkupni ceni električne energije 0,08234 EUR/kWh ter 30 letni življenjski dobi investicije znašata čas izravnave predvidene investicije v mHE Kokra 9,08 let, doba vračanja vloženi sredstev pa 7,49 let (Slika 37 in Slika 39).

Eno od najpogosteje uporabljenih meril za presojanje smiselnosti investicijskega projekta je njegova neto sedanja vrednost, ki jo dobimo tako, da vse bodoče donose z uporabo izbrane obrestne mere oziroma diskontne stopnje reduciramo na začetni trenutek in od tako dobljene vrednosti odštejemo investicijski vložek. Izračunane vrednosti, skupaj z neto sedanjo vrednostjo investicije v mHE Kokra, ki znaša 9.601.422 EUR, predstavljajo za obravnavano naložbo ugoden naložbeni kazalec.

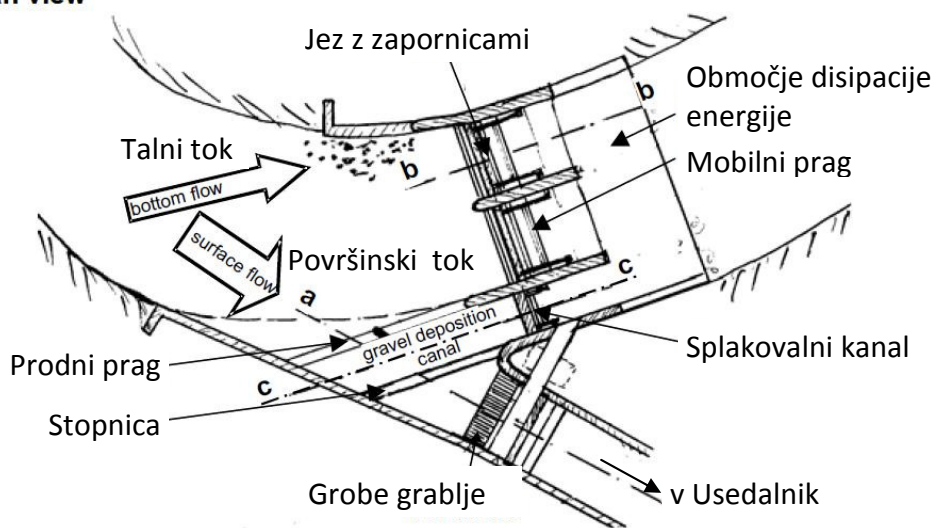
3.3.6 Objekti mHE

3.3.6.1 Zajetje

Lokacija zajetja mHE Kokra bi bila urejena na zunanji, konkavni, strani rečne krivine vodotoka Kokra, saj bi na ta način zaradi sekundarnega toka zmanjšali možnost vnosa proda v območje odvzemnega mesta in naprej v usedalnik. Zajetje bi bilo lateralnega tipa, sestavljeno iz odvzemnega mesta, usedalnika ter vtoka v cevovod, ki bi bili armirano-betonski objekti. Odvzemno mesto bi bilo usmerjeno poševno na smer toka v strugi, z odprtini za odvzem vode na določeni globini, s čimer bi dosegli, da raznovrstno plavje ne bi imelo možnosti priti v območje usedalnika. Na odvzemnem mestu bi bila urejena prodni kanal, preko katerega bi splakovali prod iz odvzemnega mesta ter ribja steza. Pred vtokom v usedalnik bi bila nameščena tudi zapornica, ki bi regulirala količino odvzete vode in po potrebi tudi zaprla vtok vode v usedalnik in naprej v cevovod. Pred vtokom v usedalnik bi bile postavljene grobe grablje.

Obstoječ oziroma rekonstruiran Virnik-Hajniharjev jez bi služil za to, da bi se v strugo prelival odvečni pretok ter količina ekološko sprejemljivega pretoka (Qes). Vtok v cevovod bi bil urejen na koncu usedalnika, take dolžine, da bi se v njem lebdeči delci in kamenje zagotovo usedli. Ureditev zajetja je prikazana na naslednjih slikah.

Plan view



Tloris ureditve zajetja (ESHA, 2004, 112)

3.3.6.1.1 Jez

Za proizvodnjo električne energije v mHE Kokra bi uporabil že zgrajeni kamniti jez Virnik (Slika 9: Jez Virnik (Mrak, 2010), Karakteristike delujočih mHE na Kokri (Globevnik in sod., 1998, 33):). Širina jezu je med 15 in 20 m, višina pa znaša 3,7 m. Obstoječ jez je zgrajen v strugi vodotoka Kokra. Voda se bo bočno prelivala v komoro preko peskolova. Ob levi strani bo potekala struga za potrebe zagotavljanja ekološko sprejemljivega pretoka. Osnovni podatki o Virnik-Hajniharjevem jezu so podani v naslednji preglednici (Globevnik in sod., 1998).

Vzdolžni profil Kokre (Globevnik in sod., 1998, 19)

Profil	Stacionaža [m]	Kota dna [m]	Kota desnega brega [m]	Kota levega brega [m]
prag in jez – Hajniharjev jez	21365	570,7	576,8	576,0
prag in jez – Hajniharjev jez	21365	574,4	576,8	576,0

Z uporabo in rekonstrukcijo obstoječega jezu za ureditev odvzemnega mesta bi bil dosežen minimalni morfološki vpliv na vodotok, saj obstoječega stanja ne bi znatno spreminjali. Ker je v bližini odprti kop magmatskih kamnin, bi lahko kot kamniti material za rekonstrukcijo jezu, poleg rečnega proda uporabili tudi trdne in odporne magmatske kamenine iz bližnjega kopa.

3.3.6.1.2 Usedalnik

Dolžina usedalnika mHE Kokra pri izbrani širini $B = 6$ m in učinkovitosti 0,2 mm znaša:

$$v_D = \frac{100}{9 \cdot 0,2} \cdot \left(\sqrt{1 + 1,57 \cdot 10^2 \cdot 0,2^3} - 1 \right) \rightarrow v_D = 27,86 \text{ mm/s} \rightarrow L \geq \frac{Q}{v_D \cdot B}$$

$$L \geq \frac{Q}{v_D \cdot B} \rightarrow L \geq \frac{4,84}{0,02786 \cdot 6} \rightarrow L \geq 28,95 \text{ m}$$

Višina usedalnika, ob predpostavki, da je $v_T = 0,25$ m/s znaša:

$$t_D = t_T \rightarrow \frac{h}{v_D} = \frac{L}{v_T} \rightarrow h = \frac{L \cdot v_D}{v_T} = \frac{28,95 \cdot 0,02786}{0,25} \rightarrow h = 3,23 \text{ m}$$

Peskolov mHE bo odmaknjen od struge in v celoti vgrajen v brežino. Dostop za potrebe vzdrževanja bo urejen. Za izpuščanje usedlega peska je na koncu usedalnika predvidena zapornica v talnem izpustu, za izpuščanje oziroma iztekanje vode v primeru obilnih padavin pa bo urejen prelivni prag.

Zadnji del usedalnika predstavlja vtočna komora. Predvidena je za umiritev toka vode pred vstopom v cevovod. Vtok v cevovod je konusno oblikovan, tako da so hidravlične izgube minimalne. Morebitne plavine se bodo čistile s pomočjo čistilnega stroja.

3.3.6.2 Dovodni kanal

Premer cevovoda se izračuna po naslednji enačbi, pri čemer izgube energije ne presežejo 4% (ESHA, 2004):

$$D = 2,69 \cdot \left(\frac{n^2 \cdot Q^2 \cdot L}{H} \right)^{0,1875} = 2,69 \cdot \left(\frac{0,013^2 \cdot 4,84^2 \cdot 2800}{65} \right)^{0,1875} \rightarrow D = 1,93 \text{ m}$$

V nadaljevanju je prikazan postopek izračuna debeline stene cevovoda. Najprej je treba izračunati hitrost vode v cevi:

$$Q = v \cdot S \rightarrow v = \frac{Q}{S} = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot D^2} = \frac{4,84 \cdot 4}{\pi \cdot 2^2} \rightarrow v = 1,54 \text{ m/s}$$

v – hitrost vode [m/s], Q – pretok [m³/s], S – površina prereza [m²]

Pri pogoju, da se ventil zapre v treh sekundah (analiziranje za neugoden primer vodnega kladiva), znaša skupni tlak v cevovodu:

$$N = \left(\frac{L \cdot v_0}{g \cdot P_0 \cdot t} \right)^2 = \left(\frac{2800 \cdot 1,54}{9,81 \cdot 65 \cdot 3} \right)^2 = 5,08$$

N – brezdimenzionalen člen v Allievi enačbi, v_0 – hitrost vode [m/s], g – težnostni pospešek [m/s²], P_0 – bruto padec (hidravlični tlak) [m], t – čas zaprtja ventila

$$\Delta P = P_0 \cdot \left(\frac{N}{2} \pm \sqrt{\frac{N^2}{4} + N} \right) = 65 \cdot \left(\frac{5,08}{2} \pm \sqrt{\frac{5,08^2}{4} + 5,08} \right) = +385,84 \text{ m} ; -55,64 \text{ m}$$

Celoten tlak je: $65 + 385,84 = 45,08 \text{ kN / mm}$

Debelina stene znaša (ESHA, 2004):

$$e = \frac{P_1 \cdot D}{2 \cdot \sigma_f} + e_s = \frac{45,08 \cdot 2000}{2 \cdot 1400} + 1 = 34,2 \text{ mm}$$

kjer so P_1 – celoten tlak [kN/mm], D – premer cevovoda [mm], σ_f – dovoljena natezna napetost 1400 kN/mm^2 , e_s – dodatna debelina zaradi korozije.

3.3.6.3 Strojnica

Strojnica predstavlja objekt, v katerem so nameščeni glavni elementi za proizvodnjo električne energije. Sama zgradba (ustrezne dimenzije in gabariti) mora biti zasnovana v skladu s prostorsko ureditvenimi pogoji občine Preddvor, v kateri se nahaja predvidena mHE Kokra. Oblika zgradbe mora biti prilagojena krajevemu vzorcu pozidave, s čimer se doseže čim manjši vizualni vpliv na okolje. Strojnica bo služila za namestitev strojne opreme, ki jo sestavljajo generator, turbina ter oprema za obratovanje. V objektu je predviden ločen prostor za postavitev transformatorja in nizkonapetostne celice.

3.3.6.4 Iztočni kanal

Iztočni kanal je objekt, ki je namenjen izpustu vode, potem ko jo izkoristimo na turbini. Za dosego minimalnega vplivanja na vodotok mora biti urejen tako, da je hitrost iztoka pred izpustom v reko približno enaka hitrosti vodotoka, za dosego optimalnega delovanja turbine pa mora biti potopljen.

3.3.6.5 Ribja steza

Ribja steza na zajetju mHE Kokra, bi bila v obliki lestve, z vertikalnimi odprtini. Višinska razlika med posameznimi bazeni bi bila med 10 in 30 cm. Natančna velikost in višinska

razlika med posameznimi bazeni sta odvisna od ribjih vrst v vodotoku (rečna postrv, šarenka in lipan) in bi bili določeni glede na mnenje Ribiške družine Kranj.

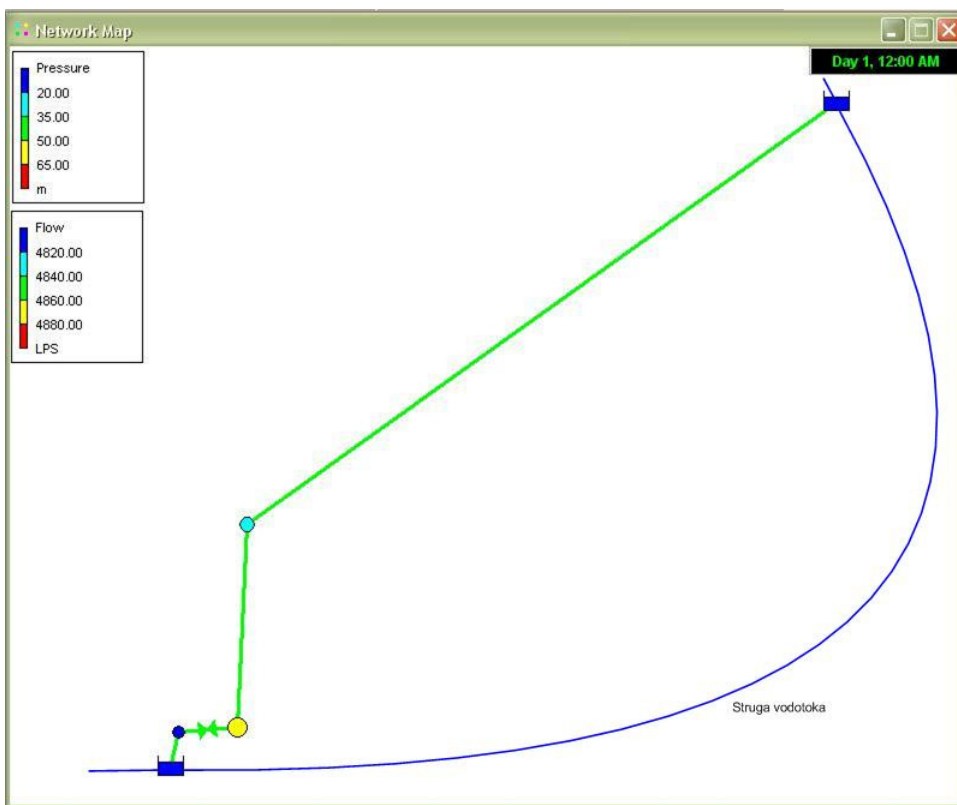


Ribja steza z vertikalnimi odprtinami (ESHA, 2004, 225)

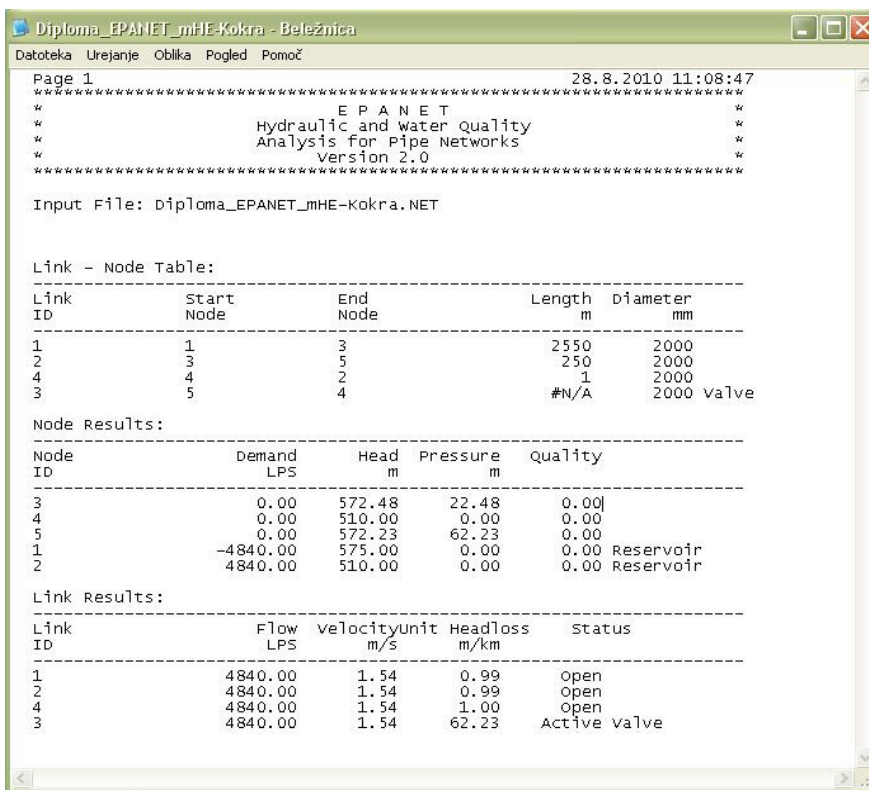
3.3.7 Izdelava hidravličnega modela mHE Kokra s programom EPANET 2.0

Hidravlični model vodovodnega sistema mHE Kokra sem v programskem okolju Epanet 2.0 izdelal z namenom preveritve predhodno izračunanih hidravličnih izgub, ki vplivajo na energetski potencial vode, ki jo mHE izkorišča za proizvodnjo električne energije. Hidravlične izgube v naravi predstavljajo višinsko razliko vodne gladine, med vtočnim in iztočnim mestom, ki nastane zaradi premagovanja trenja v cevovodu ter lokalnih izgub na zajetju in v razbremenilniku.

Hidravlični sistem mHE Kokra sestavljajo linijski in točkovni elementi. Linijski elementi so cevi, ki predstavljajo tlačni cevovod od mesta zajetja do turbine. Točkovni elementi so vodni viri, vozlišča in ventil. Vodna vira sta odzemno mesto in iztok, ki predstavljata neomejen vir vode s stalno gladino. Zahtevata vnos nadmorske višine, ki je znaša za odzemno mesto 575 m in mesto iztoka 510 m. Vozlišča so točkovni elementi, ki se morajo nahajati na koncih posameznih cevi, v katerih ni drugih točkovnih vodooskrbnih objektov (Mrak, 2010). Za prvo vozlišče sem določil nadmorsko višino raztežilnika oziroma razbremenilnika (550 m.n.v.), za drugi dve vozlišči pa nadmorsko višino strojnice (510 m.n.v.), saj tvorita virtualno linijo, ki je potrebna za namestitev ventila. V sistemu je tudi ventil, ki uravnava pretok (ang. Flow Control Valve). Določena vrednost pretoka je enaka instaliranemu pretoku. Podatek, ki ga zahteva element ventil, je tako kot pri cevi, premer cevi, ki je enak predhodno izračunanemu, in znaša zaokroženo 2000 mm.



Slika 40: Model mHE Kokra – EPANET 2.0 (gladine se lahko izračunajo s HEC-RAS)



Slika 41: Analiza modela mHE Kokra s programom EPANET 2.0

Vsota hidravličnih izgub izračunana s programom Smart Mini-Idro znaša 1,65 m in energetski potencial oziroma padec 63,35 m. Vsota hidravličnih izgub, izračunana s programom Epanet 2.0 znaša 2,77 m in neto padec 62,23 m. Privzet je premer cevi 2,0 m, izračunan po enačbi:

$$Q = v \cdot S \rightarrow S = \frac{Q}{v} = 3,227 \text{ m}^2 \rightarrow d = \sqrt{\frac{S \cdot 4}{\pi}} = 2,0 \text{ m}$$

pri čemer je: v – priporočena vrednost hitrosti 1,5 m/s

S – prečni prerez cevovoda [m^2]

Q – instalirani pretok [m^3/s]

ter dolžina cevovoda 2800 m, ki je v primeru izračuna s programom Epanet 2.0, razdeljena na cev med zajetjem in raztežilnikom dolžine 2550 m in cev med raztežilnikom in strojnico dolžine 250 m. Izgube in neto padec, izračunana s programom Epanet 2.0, sta zaradi natančnejše zasnove bolj točna.

4 OBDELAVE IN ANALIZE

Na področju izkoriščanja vodne energije za pridobivanje električne energije sta na območju Evropske Unije glavna dokumenta Vodna Direktiva (ang. Water Framework Directive) in Direktiva 2009/68/ES (nekdanja RES Direktiva). Cilji vodne direktive so zaščita vseh voda, dober status za vse vode, upravljanje z vodami na nivoju porečij ter boljše vključevanje prebivalcev. Glavni cilji Direktive 2009/68/ES so: ambiciozni cilji za vse države članice in promocija obnovljivih virov energije za pridobivanje električne energije. Cilje obeh direktiv bom skušal čim bolj izpolniti z izdelavo MCA analize. Cilj MCA analize za mHE Kokra je razviti sistem za odločanje o optimalnem posegu v prostor, na podlagi združevanja temeljnih zahtev ohranjanja rečnega ekosistema na eni in izkoriščanja hidroenergetskega potenciala na drugi strani. Postopek izdelave MCA analize je opisan v naslednjih podpoglavjih.

4.1 Izdelava večkriterijske analize za mHE Kokra

4.1.1 Identifikacija ciljev in deležnikov

Deležniki za mHE Kokra so:

- javne uprave: UE Kranj
- organi odločanja: soglasodajalci
- proizvajalci električne energije: Gorenjske elektrarne, d.o.o.
- kmetje, ribiči in živinorejci: Ribiška družina Kranj
- turistični delavci: Turistično društvo Kokra, Turistično društvo Preddvor, Zavod za turizem Kranj
- lokalne skupnosti in združenja: Občina Preddvor
- lastniki vodnih pravic in zemljišč

4.1.2 Identifikacija variant

Varianta je vsaka od nebstveno različnih oblik kakega pojava ali stvari, zlasti umetniškega dela; različica, inačica (SSKJ, 2010). Vsaka varianta je v postopku večkriterijske analize opisana z enim ali več vzročnimi faktorji, ki so indikatorji, ki opisujejo vpliv na statusni

indikator. Z drugimi besedami, vsak vzročni faktor je neposredno povezan s statusnim indikatorjem, ki modificira njegove vrednosti.

Variante za MCA za mHE Kokra so:

- trenutno stanje brez odvzema vode,
- predvideno stanje z odvzemom vode na lokaciji mHE Kokra,
- predvideno stanje z zmanjšanim odvzemom vode na lokaciji mHE Kokra.

4.1.3 Identifikacija kriterijev in indikatorjev ter njihova normalizacija

Pri izdelavi MCA analize za mHE Kokra sem se odločil za dva osnovna kriterija: okoljski kriteriji in proizvodnja električne energije. Okoljski kriteriji upoštevajo predpise s področja ohranjanja narave, varstva okolja in urejanja voda. Cilj urejanja voda, podan z Vodno direktivo, je dobro stanje voda, tako fizikalno, kemijsko kot biološko. S kriterijem okoljski kriteriji so zajeti vsi indikatorji, ki bodo tudi kasneje v postopku prostorskega umeščanja predmet pogojev oziroma smernic, ki jih bodo izdali nosilci urejanja prostora. Kriterij proizvodnja električne energije upošteva predpise s področja proizvodnje električne energije z obnovljivimi viri energije. Cilj tega kriterija je čim večja proizvodnja električne energije, izražena v MWh. Kriterij zajema indikatorje, ki vplivajo na proizvodnjo električne energije.

Ta dva kriterija sta glavni veji drevesa odločanja. Razčlenil sem jih z dodanimi listi, ki predstavljajo statusne indikatorje, ki z vzročnimi faktorji vplivajo na vrednost statusnega indikatorja. Indikatorji, uporabljeni za izdelavo večkriterijske analize so opisani v naslednjih podpoglavjih.

4.1.3.1 Normalizacija podatkov

Z uporabo indikatorjev kot spremenljivk, je možno statusnemu indikatorju dodeliti tehnično agregacijo, ki predstavlja metodo združevanja podrejenih indikatorjev statusnemu indikatorju. Pri tem definiramo uporabno funkcijo, s katero indikatorju njegovo originalno vrednost spremenimo v brezdimenzionalno. Obenem definiramo še vzročno povezavo (ang. Causal Relationship (CR)), s katero opišemo vpliv vzročnega faktorja (ang. Causal Factor (CF)) na indikator. Z brezdimenzionalno vrednostjo je indikator lahko primerljiv z drugimi indikatorji. Omenjeni postopek imenujemo normalizacija podatkov.

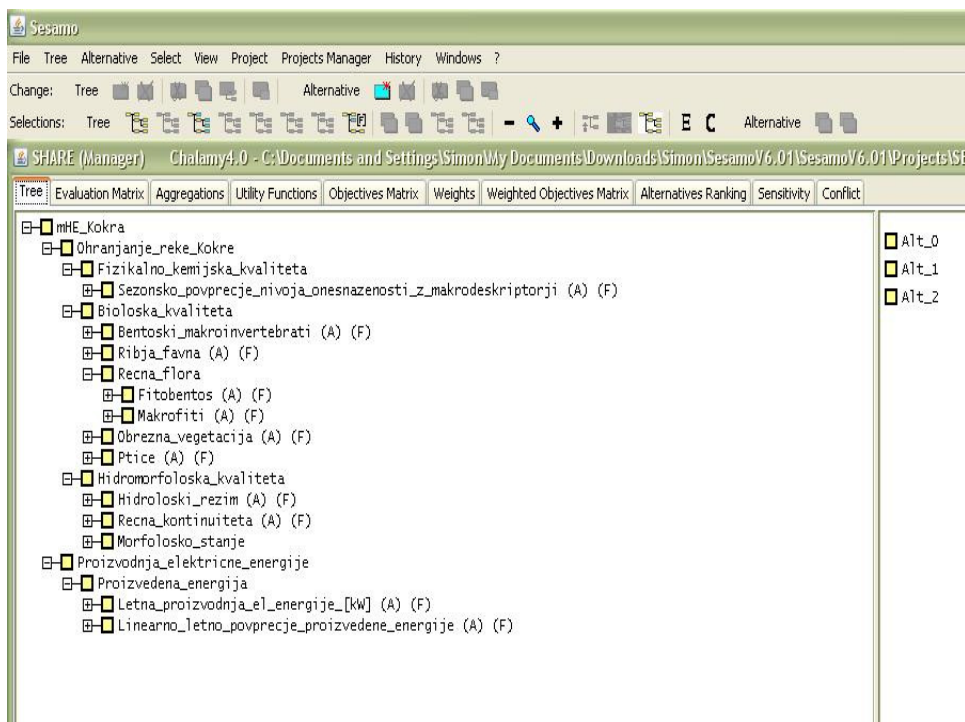
Postopek normalizacije podatkov je opisan na primeru bentoških makroinvertebratov. Makroinvertebratom kot indikatorjem biološke kvalitete s tehnično agregacijo dodelimo indikator, to je rezidualni pretok (Qres, ang. residual instream flow), ki je obenem tudi vzročni faktor, ki vpliva na vrednost makroinvertebratov v vodotoku. Pri rezidualnem pretoku, ki je enak naravnemu pretoku v strugi, je vrednost makroinvertebratov enaka 14, kar pomeni, da je vodotok v dobrem stanju, saj imajo makroinvertebrati za življenje na razpolago celotno količino pretoka. Vrednost je določena z lestvico za oceno vodotokov glede na bentoške makroinvertebrate. Ker pa pretok po času ni konstanten, se vrednost makroinvertebratov s pretokom spreminja, pri nekem določenem pretoku pa znatno upade, saj je delež pretoka v strugi manjši od tistega, ki ga organizmi potrebujejo za nemoteno življenje. Torej rezidualni pretok kot vzročni faktor pogojuje vrednost makroinvertebratov. Vrednost makroinvertebratov, nadalje z uporabno funkcijo, spremenimo v brezdimenzijsko na intervalu od 0 do 1, pri čemer vrednost 1 predstavlja vrednost 14. Uporabna funkcija je v tem primeru določena kot stopnična funkcija, ki vrednostim na intervalu lestvice za oceno kvalitete vodotoka glede na bentoške makroinvertebrate dodeli vrednosti na intervalu od 0 do 1.

INDICATOR	INDICATOR VALUE	NORMALISED SCORE	VALUATION
IBE	< 3,5	0	BAD
IBE	3,5-5,5	0,25	SUBSTANDARD
IBE	5,5-7,5	0,50	SUFFICIENT
IBE	7,5-9,5	0,75	GOOD
IBE	>9,5	1	HIGH

Lestvica za oceno kvalitete vodotoka, glede bentoške makroinvertebrate (Mochet, 2010, 18).

Vzročni faktorji predstavljajo vpliv, povzročen zaradi odvzema vode na kvaliteto reke in proizvodnjo električne energije. Vzročni faktorji za večkriterijsko analizo mHE Kokra so naslednji:

- rezidualni pretok (Qres),
- višina med koto zajetja vode in koto iztoka (energetski potencial),
- dolžina rečnega odseka med točko odvzema vode in točko izpusta vode nazaj v reko Kokro.



Slika 42: Struktura drevesa za odločanje s prikazanimi kriteriji, indikatorji in variantami

	Alt_0	Alt_1	Alt_2
miHE_Kokra	0	0	0
Sezonsko_p...	560	367	424
Fizikalno_ke...	0	0	0
Bentoski_ma...	10.92	1.92	3.48
Ribja_favna	11	-3	1
Fitobentos	1	1	1
Makrofiti	1	1	1
Recna_flora	0	0	0
Obrezna_ve...	1	6.144	4.294
Ptice	2	0	1
Bioloska_kva...	0	0	0
Hidroloski_re...	41	11.42	17.925
Recna_konti...	96.4	61.896	72.08
Morfolosko_...	0	0	0
Hidromorfolo...	0	0	0
Ohranjanje_...	0	0	0
Letna_proizv...	0	1,983.729	1,588.067
Linearno_let...	0	0.472	0.378
Proizvedena...	0	0	0
Proizvodnja_...	0	0	0

	Alt_0	Alt_1	Alt_2
Letna_proizv...	0	1,983.729	1,588.067
Qder_medium	0	3.66	2.93
Visina_[m]	65	65	65

Slika 43: Evalvacijska matrika

4.1.3.2 Indikator: sezonsko povprečje nivoja onesnaženosti z makrodeskriptorji

Indikator makrodeskriptorji je indeks, ki opisuje stopnjo onesnaženosti, izraženo z makrodeskriptorji, ki so temeljni okoljski parametri za kemijsko-mikrobiološko karakterizacijo reke. Možni makrodeskriptorji so lahko izrazi, ki jih uporabljamo za opis biodiverzitete kot na primer prisotnost tujih vrst, izginotje in vrnitev skupnih zvrsti, spremembe v sezonskih pojavih, ipd. (Boero, 2007).

Uporabna funkcija, v nadaljevanju UF, ima obliko: $f = v(g)$, pri čemer g označuje LIM vrednost (ital. Livello di inquinamento da macrodescrittori) oziroma nivo onesnaženja z makrodeskriptorji v določenem obdobju. Oblika UF je podana na Slika 45: Oblika uporabne funkcije za indikator makrodeskriptorji, odvisna pa je od naslednjih pogojev:

if $g < 60 \rightarrow v(g) = 0$;

if $60 \leq g \leq 115 \rightarrow v(g) = 0.25$;

if $120 \leq g \leq 235 \rightarrow v(g) = 0.5$;

if $240 \leq g \leq 475 \rightarrow v(g) = 0.75$;

if $480 \leq g \leq 650 \rightarrow v(g) = 1$.

Vzročni faktor (v nadaljevanju CF), odvisen od LIM indikatorja za posamezno varianto, je odstotek povprečnega letnega rezidualnega pretoka (Q_{res}). Za določitev indikatorja sta bila uporabljena povprečni letni pretok in povprečna letna količina odvzete vode oziroma povprečni letni instalirani pretok. V primeru, da nimamo odvzema vode, je vrednost Q_{res} 100%, v primeru odvzema vode pa je vrednost Q_{res} proporcionalno manjša. Oblika vzročne povezave (v nadaljevanju CR) je prikazana na Slika 44: Vzročna povezava med LIM indeksom in rezidualnim pretokom.

Povprečni letni pretok na vodomerni postaji Kokra I znaša 4,84 m³/s, povprečni letni odzem vode za potrebe proizvodnje električne energije na predvideni mHE Kokra pa 3,66 m³/s. CF oziroma Q_{res} za posamezno varianto znaša:

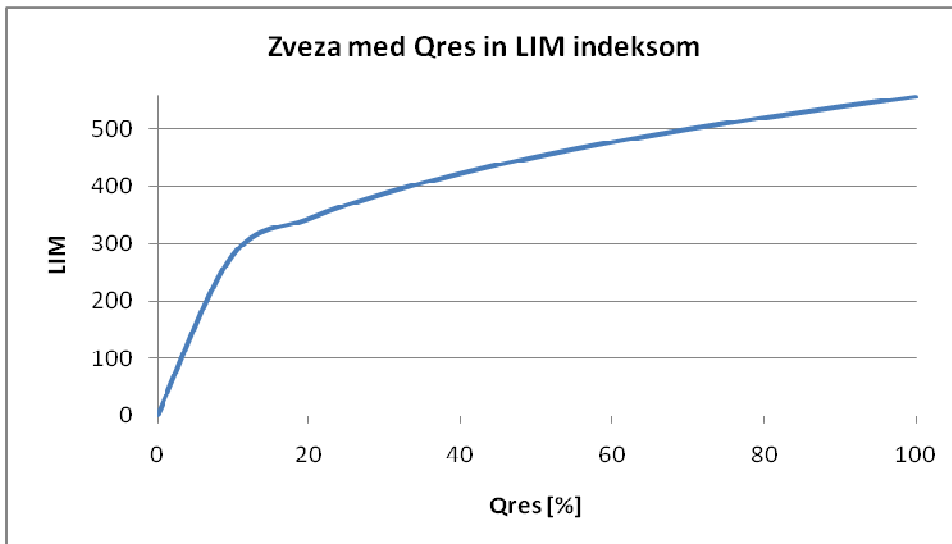
Alt_0: Q_{res} (brez odvzema vode) znaša 100 %

Alt_1: Q_{res} (z odvzemom vode) znaša 24,4 %

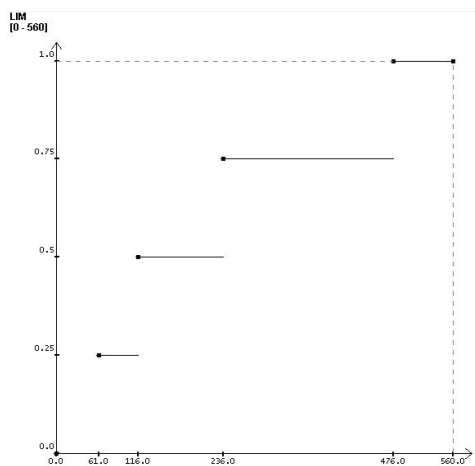
Alt_2: Q_{res} (z 80 % odvzemom vode) znaša 39,5 %

Vzročna povezava med rezidualnim pretokom in LIM indikatorjem ima obliko:

$$f(Q_{res}) = 140 \cdot (Q_{res}^{0,3})$$



Slika 44: Vzročna povezava med LIM indeksom in rezidualnim pretokom



Slika 45: Oblika uporabne funkcije za indikator makrodeskriptorji

CR prikazuje zvezo med pretokom in vrednostjo LIM, pri čemer se LIM vrednost pri 20% Qres znatno znižajo, ker LIM doživijo šok, kjer ne morejo več normalno funkcionirati.

4.1.3.3 Indikator: ribja favna

Indikator ribja favna temelji na uporabi lokalnih matrik ocenjevanja kvalitete stalnih populacij rib. Končna vrednost, ki je odvisna od rečnega odseka, je vsota vseh prisotnosti

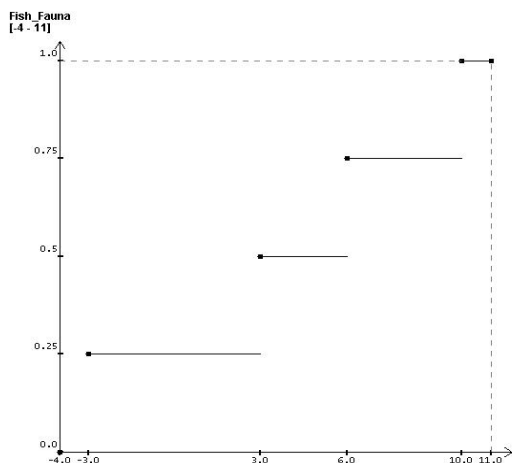
podindikatorjev (ribjih vrst). Najvišja stopnja je dodeljena avtohtonim ribjim populacijam in odgovarja referenčnim pogojem (Mochet, 2010). Vodotok Kokra je življenski prostor za naslednje vrste rib: potočna postrv, šarenka in lipan.

INDICATOR	INDICATOR VALUE	VALUATION
FISH FAUNA	-4	BAD
FISH FAUNA	-3 - 2	SUBSTANDARD
FISH FAUNA	3 - 5	SUFFICIENT
FISH FAUNA	6 - 9	GOOD
FISH FAUNA	>10	HIGH

Lestvica za oceno kvalitete vodotoka, glede na ribjo favno (Mochet, 2010, 22).

Uporabna funkcija ima obliko: $f = v(c)$, pri čemer c predstavlja vsoto vseh podindikatorjev, ki določajo kvaliteto ribjih populacij na rečnem odseku. Oblika UF je podana na Slika 46: Oblika uporabne funkcije za indikator ribja favna, odvisna pa je od naslednjih pogojev:

- if $c \leq -3 \rightarrow v(c) = 0$;
- if $-3 < c \leq 3 \rightarrow v(c) = 0.25$;
- if $3 < c \leq 6 \rightarrow v(c) = 0.5$;
- if $6 < c \leq 10 \rightarrow v(c) = 0.75$;
- if $10 < c \rightarrow v(c) = 1$



Slika 46: Oblika uporabne funkcije za indikator ribja favna

Vzročni faktor (Qres) za posamezno varianto znaša:

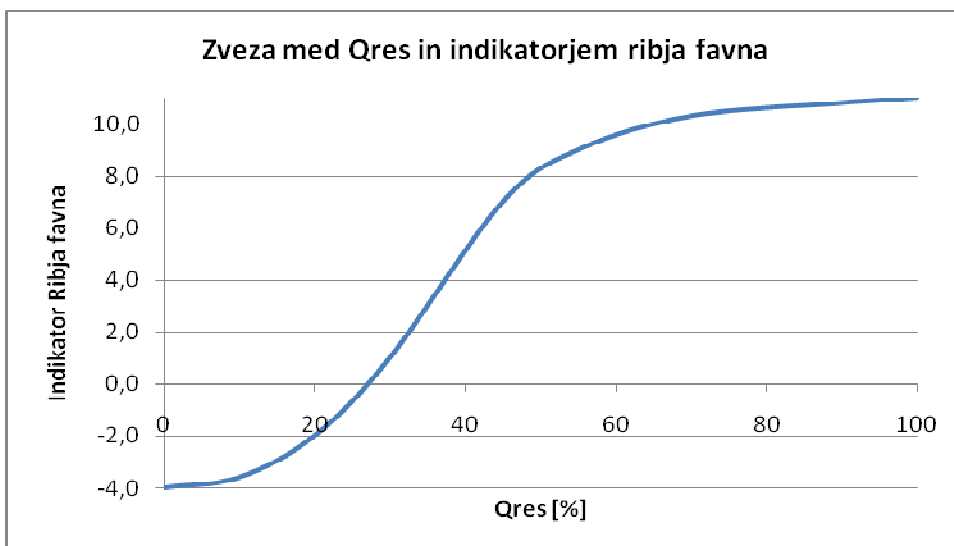
Alt_0: Qres (brez odvzema vode) znaša 100 %

Alt_1: Qres (z odvzemom vode) znaša 24,4 %

Alt_2: Qres (z 80 % odvzemom vode) znaša 39,5 %

CF za ribjo favno je odstotek povprečenega letnega rezidualnega pretoka. Oblika CR je prikazana na Sliki 47. Vzročna povezava med rezidualnim pretokom in indikatorjem ribja favna ima obliko:

$$f(Q_{res}) = \text{round}(-0.00005 \cdot (Q_{res}^3) + 0.0075 \cdot (Q_{res}^2) - 0.1 \cdot (Q_{res}) - 4)$$



Slika 47: Zveza med Qres in indikatorjem ribja favna

CF prikazuje upadanje vrednosti indikatorja, ki odgovarja upadanju rezidualnega pretoka. Za majhne vrednosti pretokov ($Q_{res} < 25\%$) vrednosti indikatorja padejo pod nič, ker ribje populacije v teh pogojih težko preživijo in se reproducirajo.

4.1.3.4 Indikator: bentoški makroinvertebrati

Združba makroinvertebratov predstavljajo vodni nevretenčarji, to so organizmi večji od 1 mm in vidni s prostim očesom. Pri ekoloških ocenah vodnih ekosistemov, oziroma vrednotenju kakovosti voda se uporabljajo zaradi specifične vloge v njih. Odražajo celotne ekološke razmere vzorčnega mesta, vključno s fizikalnimi lastnostmi in niso le odraz organskega obremenjevanja, ampak tudi različnih stresov (morfološke spremembe, spreminjanje pretokov, ...). Kakovost voda na osnovi združbe makroinvertebratov merimo s saprobnim indeksom (Urbanič in Toman, 2003).

Indikator je izražen z IBE (ital. Indice Biotico Estesio), ki je makrobentoški indeks na osnovi analize struktur združb makroinvertebratov, ki naseljuje različne rečne tipologije. Izraža

kvalitetno oceno rečnega okolja glede na spremembe združb makroinvertebratov, zaradi vodnega onesnaženja in onesnaženja s sedimenti ter fizičnih in morfoloških motenj potopljenih delov struge. Rezultat analize je numerična vrednost indeksa, ki je razdeljen na pet stopenj, ki opisujejo biološko kvaliteto vodotoka (Mochet, 2010).

INDICATOR	INDICATOR VALUE	VALUATION
IBE	< 3,5	BAD
IBE	3,5 - 5,5	SUBSTANDARD
IBE	5,5 - 7,5	SUFFICIENT
IBE	7,5 - 9,5	GOOD
IBE	> 9,5	HIGH

Lestvica za oceno kvalitete vodotoka, glede na bentoške makroinvertebrate (Mochet, 2010, 18).

Uporabna funkcija ima obliko: $f = v(a)$, pri čemer a predstavlja povprečje makrobentoškega indeksa IBE za določeno obdobje. Oblika UF je podana na Sliki 48, odvisna pa je od naslednjih pogojev IBE indeksa:

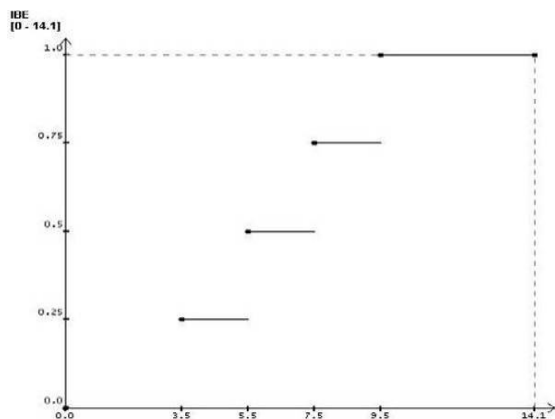
$$\text{if } a \leq 3,5 \rightarrow v(a) = 0;$$

$$\text{if } 3,5 < a \leq 5,5 \rightarrow v(a) = 0.25;$$

$$\text{if } 5,5 < a \leq 7,5 \rightarrow v(a) = 0.5;$$

$$\text{if } 7,5 < a \leq 9,5 \rightarrow v(a) = 0.75;$$

$$\text{if } 9,5 < a \rightarrow v(a) = 1$$



Slika 48: Oblika UF za indikator bentoški makroinvertebrati

Vzročni faktor za IBE indikator je odstotek povprečnega sezonskega (zima, pomlad, poletje, jesen) rezidualnega pretoka (Q_{res}). Vrednosti so prikazane v Preglednica 11: Povprečne

količine predvidene odvzete vode v določenem letnem obdobju. Oblika vzročne povezave je prikazana na Sliki 49.

Preglednica 11: Povprečne količine predvidene odvzete vode v določenem letnem obdobju

Letni cas	sQI-cas [l/s]	Qinst [l/s]	Qres%	Qinst80 [l/s]	Qres80	Qres80%
ZIMA	3960,78	1981,38	50,0	1585,10	2375,68	60,0
POMLAD	5220,40	4193,76	19,7	3355,01	1865,40	35,7
POLETJE	4382,95	3178,76	27,5	2543,01	1839,94	42,0
JESEN	5768,80	4822,46	16,4	3857,97	1910,84	33,1

Odstotek povprečnega sezonskega rezidualnega pretoka je razmerje med povprečnim zahtevanim pretokom v določenem letnem obdobju in povprečnim pretokom v istem letnem obdobju. CF oziroma Qres za posamezno varianto znaša:

Zima:

Alt_0: Qres (brez odvzema vode) znaša 100 %

Alt_1: Qres (z odvzemom vode) znaša 50,0 %

Alt_2: Qres (z 80 % odvzemom vode) znaša 60,0 %

Pomlad:

Alt_0: Qres (brez odvzema vode) znaša 100 %

Alt_1: Qres (z odvzemom vode) znaša 19,7 %

Alt_2: Qres (z 80 % odvzemom vode) znaša 35,7 %

Poletje:

Alt_0: Qres (brez odvzema vode) znaša 100 %

Alt_1: Qres (z odvzemom vode) znaša 27,5 %

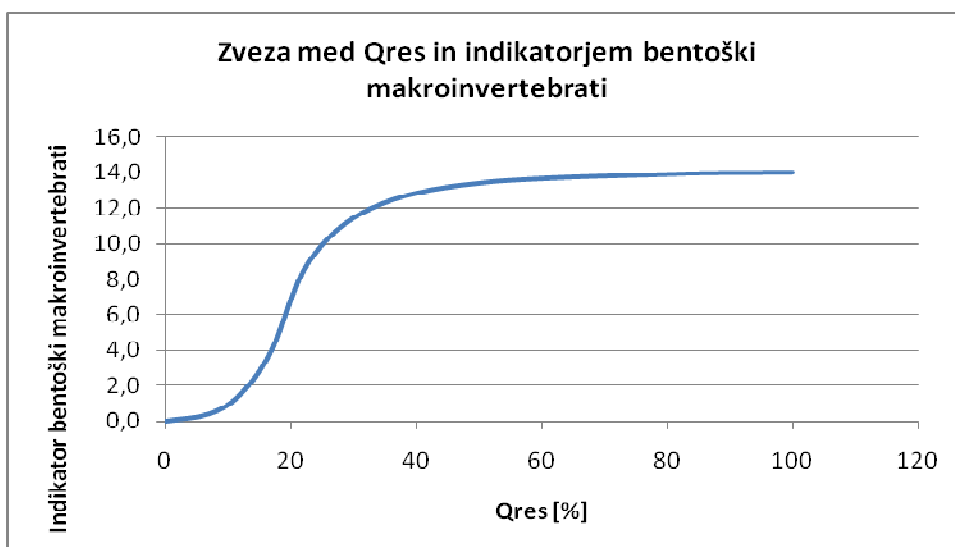
Alt_2: Qres (z 80 % odvzemom vode) znaša 42,0 %

Jesen:

Alt_0: Qres (brez odvzema vode) znaša 100 %

Alt_1: Qres (z odvzemom vode) znaša 16,4 %

Alt_2: Qres (z 80 % odvzemom vode) znaša 33,1 %



Slika 49: Zveza med Qres in indikatorjem bentoški makroinvertebrati

CF prikazuje upadanje vrednosti indikatorja, ki odgovarja upadanju rezidualnega pretoka. Za majhne vrednosti pretokov ($Q_{res} < 25\%$) vrednosti indikatorja padejo pod nič, ker bentoški makroinvertebrati v teh pogojih težko preživijo in se reproducirajo.

4.1.3.5 Indikator: makrofiti

Makrofit je vodna rastlina v litoralnem (plitvem priobalnem) pasu, opazna s prostim očesom. V vodnih sistemih so razporejene v enem ali več slojih. Močno se razrastejo v poletnem in jesenskem času, medtem ko večina vrst v zimskem času v našem podnebnju odmre. Primer take rastline je beli lokvanj (Makrofiti, 2010). Indikator makrofiti temelji na indeksu bioloških makrofitov na območju, ki temelji na uporabi več kot 200 markerjev, ki podajajo prisotnost in številčnost organizmov. Vrednost indikatorja je količnik med indeksom bioloških makrofitov na obravnavanem in referenčnem območju (Mochet, 2010).

Uporabna funkcija ima obliko: $f = v(m)$, pri čemer m predstavlja povprečje indeksa bioloških makrofitov. Oblika UF je podana na Sliki 50, odvisna pa je od tipa vodotoka.

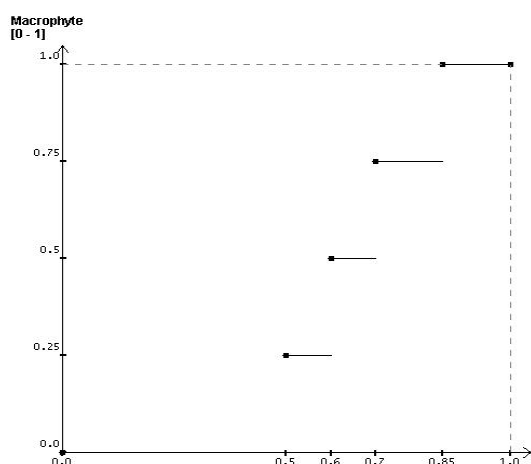
$$\text{if } m \leq 0,50 \rightarrow v(m) = 0;$$

$$\text{if } 0,50 < m \leq 0,60 \rightarrow v(m) = 0.25;$$

$$\text{if } 0,60 < m \leq 0,70 \rightarrow v(m) = 0.5;$$

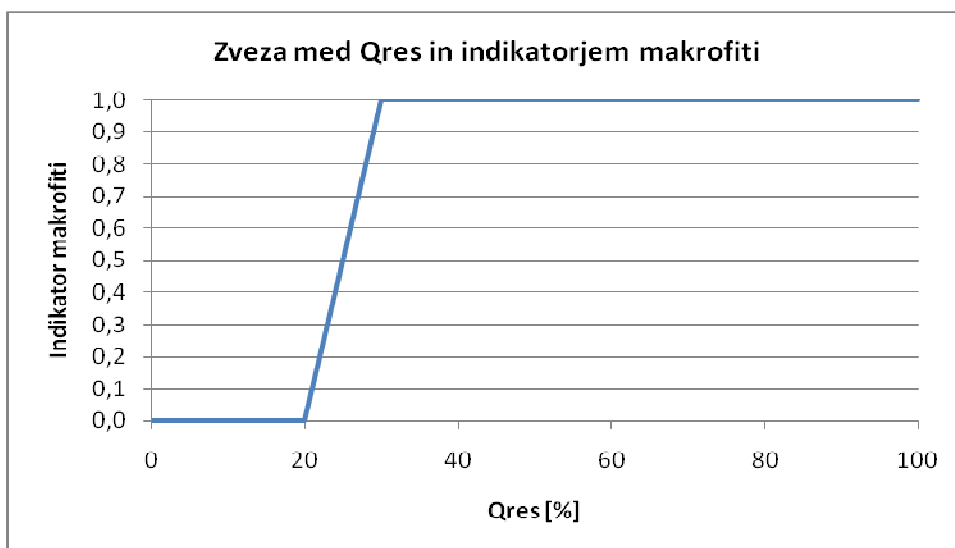
$$\text{if } 0,70 < m \leq 0,85 \rightarrow v(m) = 0.75;$$

if $0,85 < m \rightarrow v(m) = 1$



Slika 50: Oblika uporabne funkcije za indikator makrofiti

Vzročni faktor za indikator makrofitov je odstotek povprečnega letnega rezidualnega pretoka (Qres). Oblika CR je prikazana na naslednji sliki.



Slika 51: Zveza med Qres in indikatorjem makrofiti

Vzročni faktor (Qres) za posamezno varianto znaša:

Alt_0: Qres (brez odvzema vode) znaša 100 %

Alt_1: Qres (z odvzgom vode) znaša 24,4 %

Alt_2: Qres (z 80 % odvzgom vode) znaša 39,5 %

Indikator makrofitov je trofični indeks, za katerega je bilo določeno, da ni tako zelo odvisen na spremembo pretoka. CR prikazuje, da je za ohranitev normalnih vrednosti tega indikatorja dovolj že njhna količina vode.

4.1.3.6 Indikator: fitobentos

Bentos je skupnost rastlinskih in živalskih organizmov ter mikroorganizmov, ki stalno ali začasno živijo na dnu vodotoka. Organizmi, ki sestavljajo bentos, lahko živijo na površini dna ali v enem izmed njegovih slojev. V vodah, v katerih svetloba prodira do dna, je bentos delno ali popolnoma prehranjevalno samozadosten, ker ga sestavljajo proizvajalci, porabniki in razkrojevalci. Fitobentos je del bentosa, ki ga sestavljajo alge in v vodi rastoči mahovi (Fitobentos, 2010). Indikator fitobentos je večmetrični indikator, ki ga sestavljata indeks specifične občutljivosti onesnaženja ter trofični indeks. Indikator fitobentos je določen kot aritmetična sredina obeh indeksov (Mochet, 2010).

INDICATOR	INDICATOR VALUE	VALUATION
ICMi	0,30	BAD
ICMi	0,30 – 0,60	SUBSTANDARD
ICMi	0,60 – 0,70	SUFFICIENT
ICMi	0,70 – 0,87	GOOD
ICMi	> 0,87	HIGH

Lestvica za oceno kvalitete vodotoka, glede na fitobentos (Mochet, 2010, 24).

Uporabna funkcija ima obliko: $f = v(d)$, pri čemer d predstavlja povprečje indeksa fitobentosa v določenem obdobju. Oblika UF je podana na Sliki 52, odvisna pa je od tipa vodotoka. Vrednosti so določene za alpsko reko Chalamy, ki spada v tip A1.

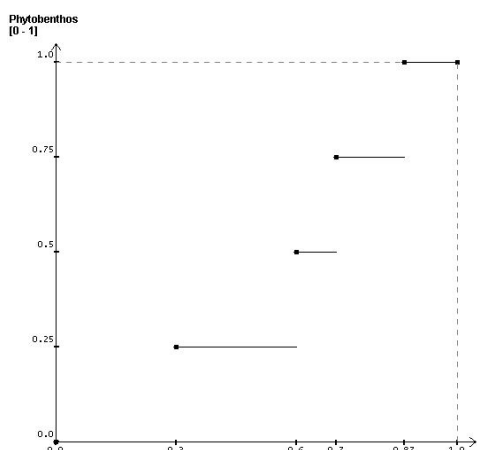
if $d \leq 0,3 \rightarrow v(d) = 0$;

if $0,3 < d \leq 0,6 \rightarrow v(d) = 0,25$;

if $0,6 < d \leq 0,7 \rightarrow v(d) = 0,5$;

if $0,7 < d \leq 0,87 \rightarrow v(d) = 0,75$;

if $0,87 < d \rightarrow v(d) = 1$



Slika 52: Oblika uporabne funkcije za indikator fitobentos

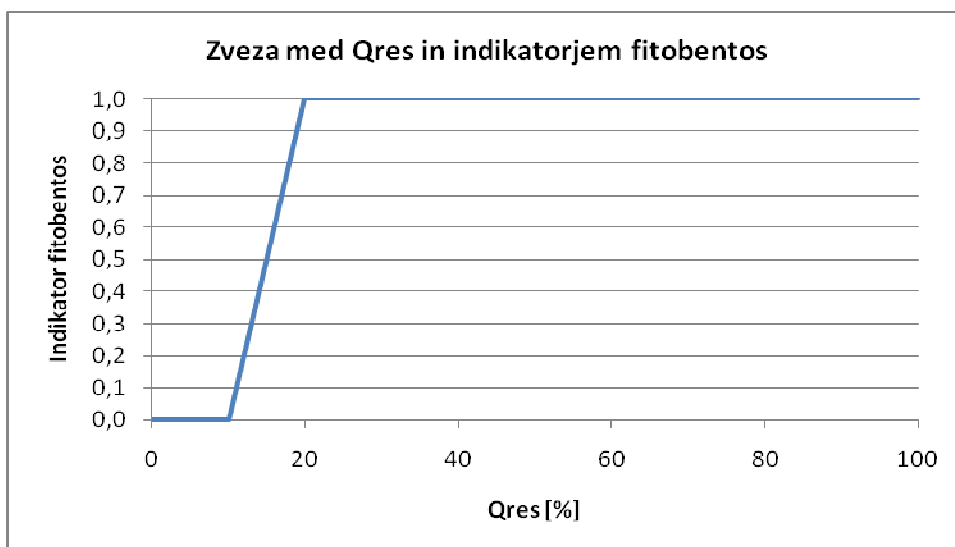
Vzročni faktor (Qres) za posamezno varianto znaša:

Alt_0: Qres (brez odvzema vode) znaša 100 %

Alt_1: Qres (z odvzemom vode) znaša 24,4 %

Alt_2: Qres (z 80 % odvzemom vode) znaša 39,5 %

Vzročni faktor ima obliko: $f(Qres) = \text{step function} \rightarrow \text{for } x < 10 \text{ } y = 0 \text{ and for } x > 10 \text{ } y = 1$. Oblika CR je prikazana na Sliki 53.



Slika 53: Zveza med Qres in indikatorjem makrofiti

Za indikator makrofitov je ocenjeno, da spremembe pretoka nanj le malo vplivajo. CR prikazuje, da je za ohranitev normalnih vrednosti tega indikatorja dovolj že mjhna količina vode ($Qres > 10\%$)

4.1.3.7 Indikator: obrežna vegetacija

Obrežna vegetacija je v poročilu Zavoda o varstvu narave poseben habitat, ki je označen kot eden najbolj ogroženih na slovenskem ozemlju. Na rečnem obrežju najdemo mnoge močvirske in lesne rastline, ki imajo predvsem zaščitno funkcijo. Ščitijo reko pred onesnaževanjem, saj predstavljajo filter za hranila, ki se spirajo iz zaledja in tako vplivajo na kvaliteto vode. Obrežna vegetacija predstavlja tudi zaščito reke kot habitata številnih organizmov in zato povečuje biodiverzitetno vodnega ekosistema. Rastlinstvo obrežnega pasu s koreninskim sistemom utrjuje rečni breg in zadržuje vodo v pokrajini (Rauch, 2005). Indikator obrežna vegetacija je koeficient ekološke ranljivosti (predviden kot kombinacija notranje občutljivosti zunanjim pritiskom in zmožnosti okoljskega sistema povrniti se v naravno stanje) in okoljske vrednosti, ki odraža naravnost obrežne vegetacije (povzet po River Basin Management Plan 2006 (Piano di Tutelladelle Acque) of the AostaValley Region) (SHARE, 2010).

Vrednosti se nahajajo na intervalu od 1 do 10, pri čemer 1 predstavlja vlažne cone in obrežni gozd, 2 grmovno vegetacijo, 4 poljedeljske in kmetijske površine, 10 pa urbano okolje.

INDICATOR	INDICATOR VALUE	VALUATION
RIPARIAN VEGETATION	10	BAD
RIPARIAN VEGETATION	4	SUBSTANDARD
RIPARIAN VEGETATION	3	SUFFICIENT
RIPARIAN VEGETATION	2	GOOD
RIPARIAN VEGETATION	1	HIGH

Lestvica za oceno kvalitete vodotoka, glede na obrežno vegetacijo (Mochet, 2010, 28).

Uporabna funkcija ima obliko: $f = v(r)$, pri čemer r predstavlja koeficient okoljske vrednosti. Oblika UF je podana na Sliki 54, odvisna pa je od naslednjih pogojev:

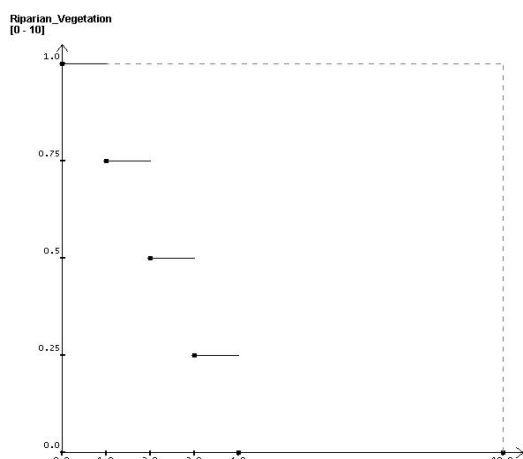
$$\text{if } r \leq 1 \rightarrow v(r) = 1;$$

$$\text{if } 1 < r \leq 2 \rightarrow v(r) = 0.75;$$

$$\text{if } 2 < r \leq 3 \rightarrow v(r) = 0.5;$$

$$\text{if } 3 < r \leq 4 \rightarrow v(r) = 0.25;$$

$$\text{if } 4 < r \rightarrow v(r) = 0$$



Slika 54: Oblika uporabne funkcije za indikator obrežna vegetacija

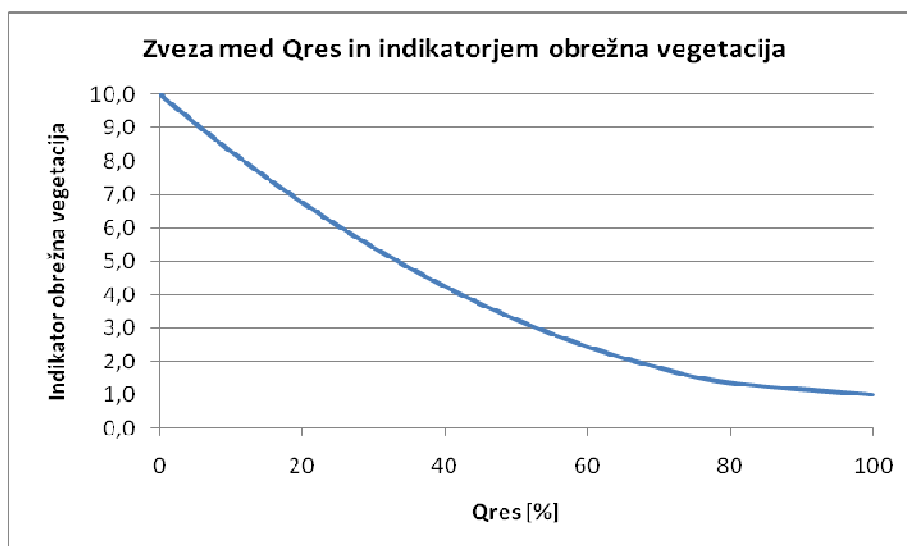
CF za indikator obrežne vegetacije je odstotek povprečnega letnega rezidualnega pretoka (Qres). Oblika vzročne povezave je prikazana na Sliki 55.

Vzročni faktor (Qres) za posamezno varianto znaša:

Alt_0: Qres (brez odvzema vode) znaša 100 %

Alt_1: Qres (z odvzemom vode) znaša 24,4 %

Alt_2: Qres (z 80 % odvzemom vode) znaša 39,5 %



Slika 55: Zveza med Qres in indikatorjem obrežna vegetacija

Indikator obrežne vegetacije je občutljiv na spremembe pretoka. CR to ponazarja s povečanjem vrednosti indikatorja ob zmanjšanju pretoka. To kaže na dejstvo, da obrežni vegetaciji ustrezajo nizki pretoki v strugi.

4.1.3.8 Indikator: ptice

Indikator ptice temelji na prisotnosti oziroma odsotnosti določenih vrst ptic in njihovih gnezdišč vzdolž vodotoka. Za primer mHE Kokra sem privzel vrednosti testnega primera Challamy river projekta SHARE, kjer so izbrali kot indikator prisotnost oziroma odsotnost povodnega kosa (lat. *Cinclus Cinclus*). Majhna ptica, ki gnezdi vzdolž reke Challamy, je močno povezana z reko in zelo občutljiva na njene spremembe (Mochet, 2010).

Za indikator ptice za primer mHE Kokra sem predpostavil, da na območju Kamniško–Savinjskih Alp in vzhodnih Karavank živijo naslednje ptičje vrste, ki so občutljive na spremembe vodotoka Kokra: belka (lat. *Lagopus mutus helveticus*), črna žolna (lat. *Dryocopus martius*), divji petelin (lat. *Tetrao urogallus*), gozdni jereb (lat. *Bonasa bonasia*), koconogi čuk (lat. *Aegolius funereus*), mali skovik (lat. *Glaucidium passerinum*), planinski orel (lat. *Aquila chrysaetos*), ruševac (lat. *Tetrao tetrix tetrix*), sokol selec (lat. *Falco peregrinus*) in triprsti detel (lat. *Picoides tridactylus*) (Natura 2000, 2010). Če je na območju prisotna ena ptica, ocenimo indikator z oceno 1 in opišemo stanje kot dobro (Mochet, 2010).

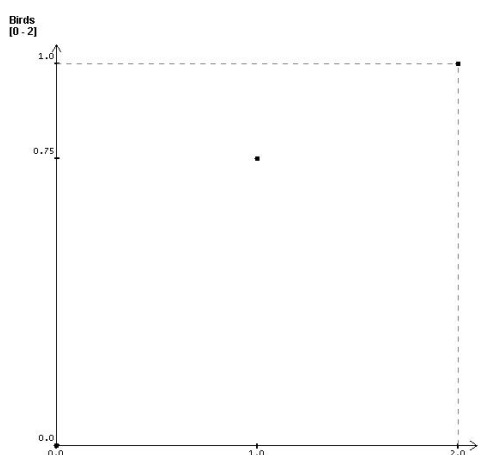
Uporabna funkcija ima obliko: $f = v(b)$, pri čemer b predstavlja privzeto vrednost prisotnosti/odsotnosti povodnega kosa. Ptice prisotne na območju mHE Kokra so navedene v podpoglavju 4.1.3.8. Najbolj ogroženo in od vodotoka odvisno ptico se podrobno določi s posameznim poročilom o monitoringu ptic na določenem območju. Ker nobena izmed ptic ni življenjsko ogrožena oziroma za nobeno izmed ptic ni navedeno, da bi bila življenjsko odvisna od vodotoka, sem temu indikatorju pripisal majhno relativno pomembnost.

Oblika UF je podana na Sliki 56, odvisna pa je od naslednjih pogojev:

if $b = 2 \rightarrow v(b) = 1$;

if $b = 1 \rightarrow v(b) = 0.75$;

if $b = 0 \rightarrow v(b) = 0$



Slika 56: Oblika uporabne funkcije za indikator ptice

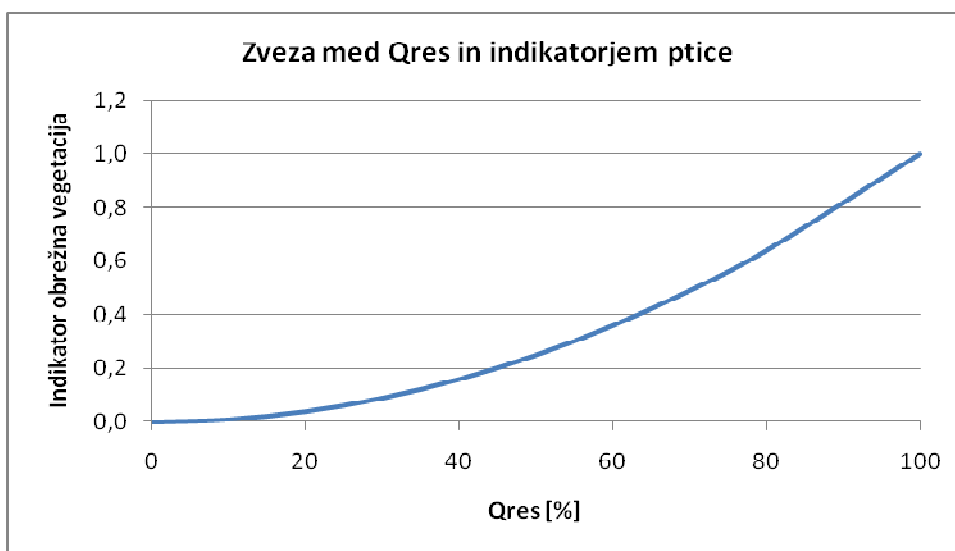
CF za indikator obrežne vegetacije je odstotek povprečnega letnega rezidualnega pretoka (Qres). Vzročni faktor (Qres) za posamezno varianto znaša:

Alt_0: Qres (brez odvzema vode) znaša 100 %

Alt_1: Qres (z odvzemom vode) znaša 24,4 %

Alt_2: Qres (z 80 % odvzemom vode) znaša 39,5 %

Oblika vzročne zveze je prikazana na sliki 57.



Slika 57: Zveza med Qres in indikatorjem ptice

Predpostavljeno je, da je indikator ptice občutljiv na spremembe pretoka. CR kaže dejstvo, da vrednost indikatorja upada skupaj z upadanjem odstotka pretoka. V primeru nizkih rezidualnih pretokov, se povodni kos, zaradi premajhnih pretokov, odseli iz območja vodotoka.

4.1.3.9 Indikator: rečna kontinuiteta

Indikator rečna kontinuiteta opisuje vpliv umetnih posegov na rečno kontinuiteto. Predstavlja odstotek hidrotehničnih del na rečnem odseku. V naravnem rečnem ekosistemu ni ovir za biološke, morfološke in fizikalno kemijske procese, zato ima hiporeična cona med gladino in dnom struge pomembno funkcijo v rečnem ekosistemu. Tvori samočistilni sistem in vključuje biomaso, ki se giblje zaradi poplav, ki dvignejo substrat in predstavlja restavracijo združb makroinvertebratov po poplavnih dogodkih (Mochet, 2010).

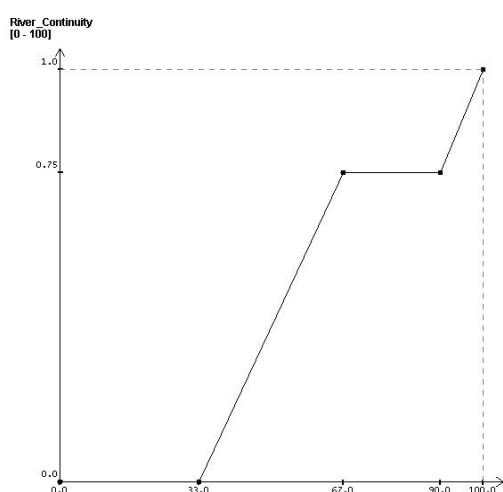
Uporabna funkcija ima obliko: $f = v(s)$, pri čemer s predstavlja odstotek rečnega odseka brez hidrotehničnih del. Oblika UF je podana na Sliki 58, odvisna pa je od naslednjih pogojev:

if $s < 0,33 \rightarrow v(s) = 0$;

if $0,33 < s < 0,67 \rightarrow v(s) = \text{liner increase just to } 0,75$;

if $0,67 < s < 0,90 \rightarrow v(s) = 0,75$;

if $0,90 < s \rightarrow v(s) = \text{linear increase just to } 1$.



Slika 58: Oblika uporabne funkcije za indikator rečna kontinuiteta

Vzročni faktor (Q_{res}) za posamezno varianto znaša:

Alt_0: Q_{res} (brez odvzema vode) znaša 100 %

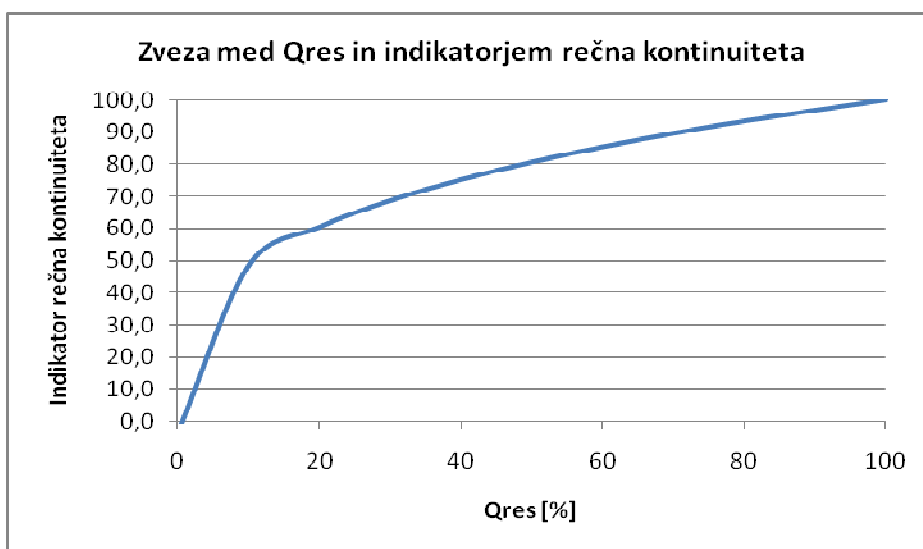
Alt_1: Q_{res} (z odvzemom vode) znaša 24,4 %

Alt_2: Q_{res} (z 80 % odvzemom vode) znaša 39,5 %

Delež umetnega dela struge oziroma brežin se izračuna kot razmerje med dolžino s hidrotehničnimi deli urejene struge in dolžino rečnega odseka in znaša:

$$s [\%] = \frac{\text{hidrotehnična dela [m]}}{\text{rečič odsek [m]}} \cdot 100 = \frac{3 \cdot 50 \text{ m}}{4200 \text{ m}} \cdot 100 = 3,6 \%$$

Vzročna povezava za indikator obrežne vegetacije je odstotek povprečnega letnega rezidualnega pretoka (Qres). Oblika CR je prikazana na Sliki 59.

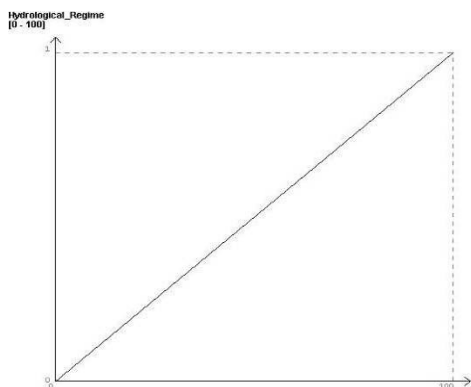


Slika 59: Zveza med Qres in indikatorjem ptice

Funkcija predstavlja povezavo med površino vode in dnom struge, zmanjšano za odstotek umetnih brežin.

4.1.3.10 Indikator: odtočni režim

Indikator odtočni režim opisuje, kako se spreminja vodni režim v primerjavi z naravnim. Namen indikatorja je opisati obliko pretokov in oceniti njihovo spremembo v primerjavi z referenčnimi (naravnimi) pretoki (Mochet, 2010). Uporabna funkcija ima obliko: $f = v(h)$, pri čemer h predstavlja povprečni mesečni pretok. Oblika UF je linearna funkcija $f(Q_{res})=Q_{res}$, podana na Sliki 60.



Slika 60: Oblika uporabne funkcije za indikator hidrološki režim

Vzročni faktor za indikator odtočnega režima je odstotek povprečnega mesečnega rezidualnega pretoka (Q_{res}). Oblika CR je linearna funkcija in $f(Q_{res}) = a(Q_{res})$.

Delež povprečnega mesečnega rezidualnega pretoka se izračuna kot razmerje med količino odvzete vode ter srednjim mesečnim pretokom dolžino in za posamezni mesec za varianto 1 (Alt_1: odvzem vode) znaša:

Preglednica 12: Delež rezidualnega pretoka

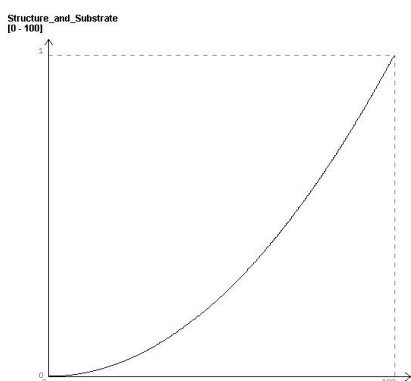
Mesec	sQm [m ³ /s]	Qes [m ³ /s]	Qinst [m ³ /s]	Qres [m ³ /s]	Qres [%]	Qins 80% [m ³ /s]	Qres [m ³ /s]	Qres [%]
1	3,53	0,99	2,54	0,99	28,1	1,98	1,55	43,8
2	2,98	0,99	1,99	0,99	33,2	1,55	1,44	48,2
3	4,25	0,99	3,26	0,99	23,3	2,56	1,69	39,8
4	5,70	0,99	4,71	0,99	17,4	3,72	1,98	34,7
5	5,71	0,99	4,72	0,99	17,3	3,73	1,98	34,7
6	5,31	0,99	4,32	0,99	18,7	3,40	1,90	35,8
7	4,43	0,99	3,44	0,99	22,3	2,71	1,73	38,9
8	3,41	0,99	2,42	0,99	29,0	1,89	1,52	44,6
9	4,09	0,99	3,10	0,99	24,2	2,43	1,66	40,5
10	5,84	0,99	4,84	1,00	17,1	3,83	2,01	34,4
11	7,38	0,99	4,84	2,54	34,4	3,87	3,51	47,5
12	5,37	0,99	4,38	0,99	18,4	3,46	1,91	35,6

Indikator odtočnega režima je občutljiv na spremembe pretoka. CR prikazuje vrednosti indikatorja, ki naraščajo skupaj z naraščanjem odstotka rezidualnega pretoka.

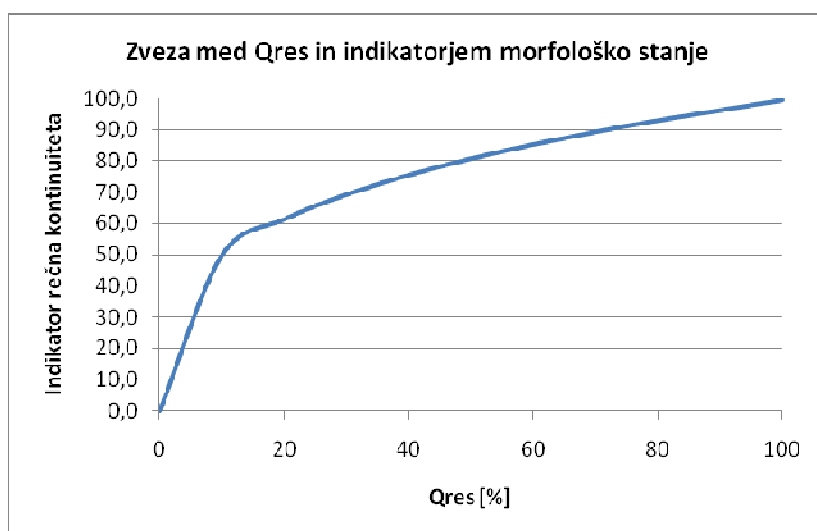
4.1.3.11 Indikator: morfološko stanje

Indikator morfološko stanje ocenjuje, kako se spreminja dejansko stanje vodotoka v primerjavi z referenčnim (naravnim) stanjem. Struktura in substrat kot morfološka elementa opisujeta strukturo in delovanje rečnega sistema. Indikator pogostost reber, tolmunov in brzic predstavlja pogostost teh elementov na rečnem odseku in s tem karakteristike ekološke spremenljivosti glede na pretok (Mochet, 2010).

Uporabna funkcija ima obliko: $f = v(z)$, pri čemer z predstavlja odstotek pogostosti reber, tolmunov in brzic. Oblika UF je podana na Sliki 61. CF za indikator morfološko stanje je odstotek povprečnega letnega rezidualnega pretoka (Q_{res}). Oblika CR je prikazana na Sliki 62.



Slika 61: Oblika uporabne funkcije za indikator morfološko stanje

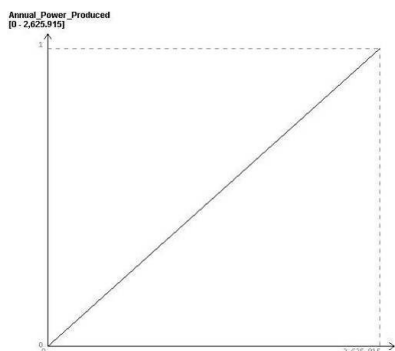


Slika 62: Zveza med Q_{res} in indikatorjem morfološko stanje

Vzročna funkcija funkcija povezuje pogostost reber, tolmunov in brzic s pretokm.

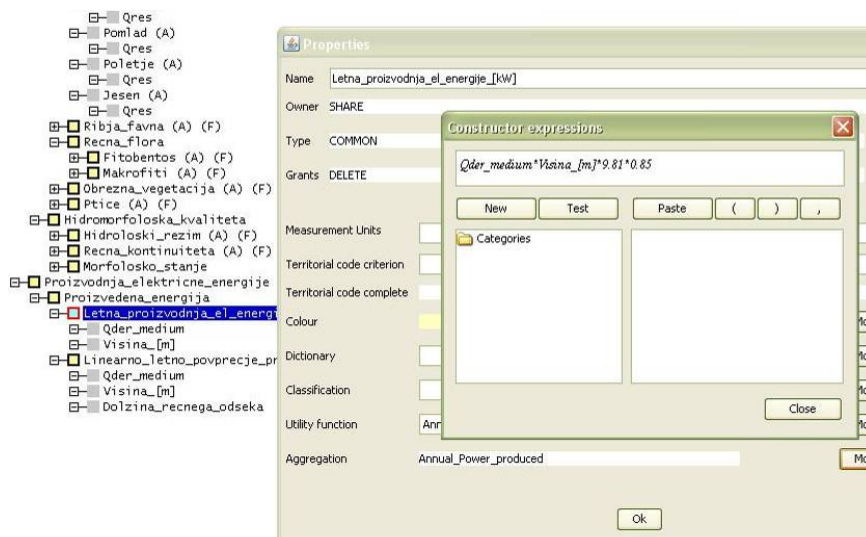
4.1.3.12 Letna proizvodnja električne energije

Indikator letne proizvodnje energije je ocena povprečne proizvedene energije v enem letu. Indikator izražen v kW je rezultat enačbe: $P = Q_{der} \times Head \times g \times \eta$ [kW] (Mochet, 2010). Uporabna funkcija ima obliko: $f = v(z)$, pri čemer z predstavlja letno proizvodnjo električne energije. Oblika UF je linearna funkcija $f(Q_{res})=Q_{res}$, podana na Sliki 63.



Slika 63: Oblika uporabne funkcije za indikator proizvodnja električne energije

Vzročni faktor za indikator letne proizvodnje električne energije sta količina povprečnega letnega instaliranega pretoka (Q_{req}) ter neto višina (Head).



Slika 64: CF za indikator letne proizvodnje električne energije

CR prikazuje zvezo med odvzetim pretokom in višino z vrednostjo pretoka.

4.1.4 Določitev pomembnosti indikatorjev

S pomočjo programa Sesamo lahko hierarhično strukturiramo odločitveni problem v obliki odločitvenega drevesa. Predhodno določenim kriterijem ter variantam moramo zato določiti uteži, s katerimi določimo njihovo pomembnost. Določanje uteži je subjektivno, upoštevan pa mora biti pogoj, da je vsota uteži za posamezno skupino kriterijev, ki izhaja iz skupnega vozlišča, enaka 1.

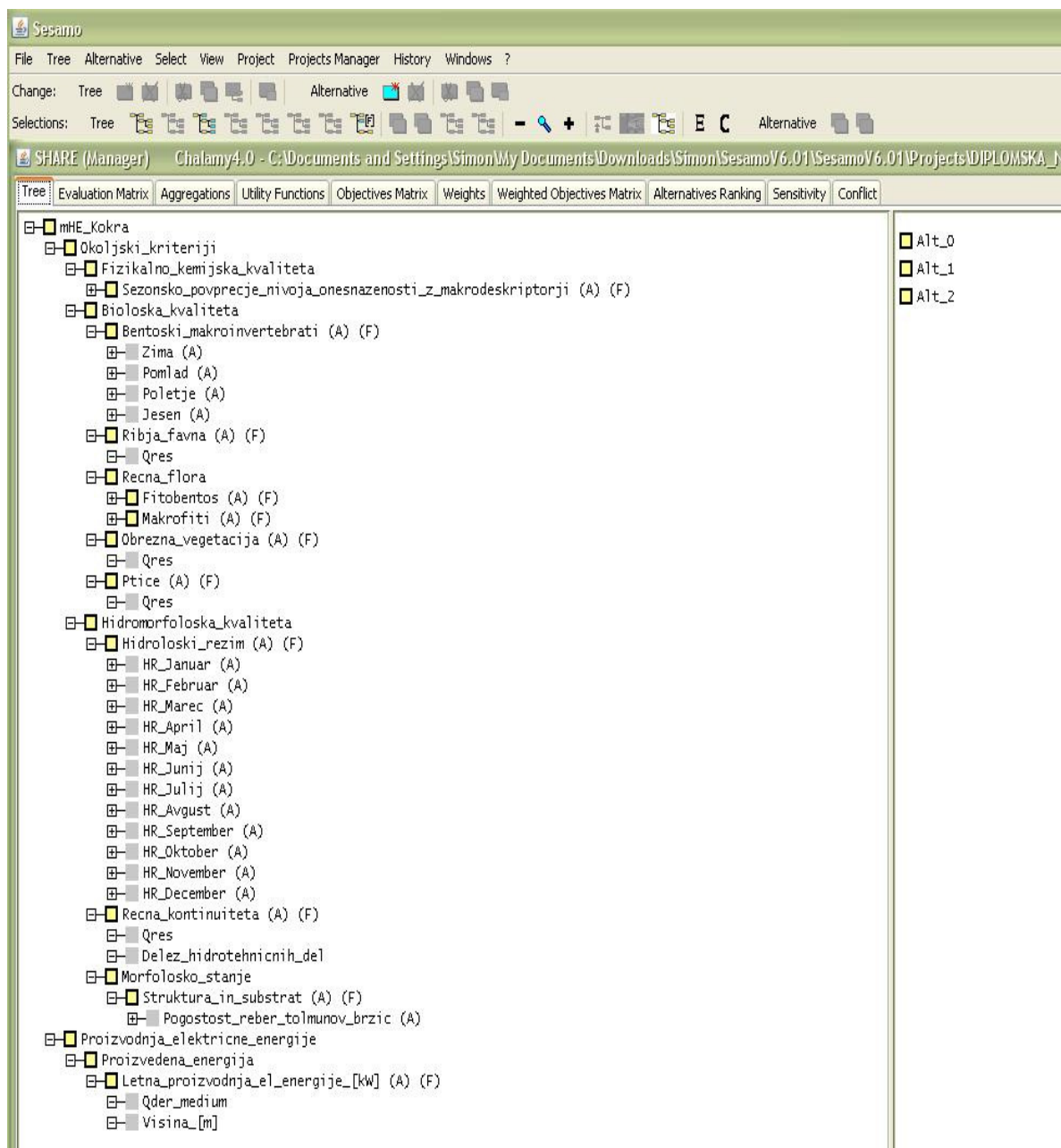
Uteži za ocenjevanje mHE Kokra sem podal na hierarhičen način. Vrednosti uteži so bile izbrane subjektivno, na podlagi lastne presoje, z ozirom na uteži podane v testnem projektu reke Chalamy. Vrednosti uteži variirajo med 0 in 1. Glavna kriterija, okoljski kriteriji in proizvodnja električne energije, imata vrednost uteži 0,6 in 0,4 oziroma 0,7 in 0,3, iz česar je razvidno, da ima pri proizvodnji električne energije v predvideni mHE Kokra večji pomen ohranjanje kakovosti vodotoka Kokre.

Indikatorji kriterija okoljski kriteriji imajo določene naslednje vrednosti uteži: fizikalno-kemijsko stanje 0,2, biološka kvaliteta 0,5 in hidromorfološka kvaliteta 0,3. Večji del pomembnosti ohranjanja vodotoka predstavlja biološka kvaliteta, saj nanjo lahko najmanj vplivamo. Indikator kriterija proizvodnja električne energije, letna proizvodnja električne energije ima vrednost uteži 1,0. Indikatorji biološke kvalitete imajo določene naslednje vrednosti uteži: bentoški makroinvertebrati 0,3, ribja favna 0,21, rečna flora 0,21, obrežna vegetacija 0,21 in ptice 0,07. Vrednost uteži za ptice je tako majhna zato, ker na območju mHE Kokra ni življenjsko ogroženih vrst ptic. Vrednosti indikatorjev kriterija hidromorfološka kvaliteta so naslednje: hidrološki režim 0,6, rečna kontinuiteta 0,2 in morfološko stanje 0,2.

4.2 Rezultati večkriterijske analize za mHE Kokra

Večkriterijsko analizo za mHE Kokra bomo naredili na dveh primerih. V prvem primeru (Večkriterijska analiza za mHE Kokra I) bo razmerje uteži med okoljskimi kriteriji in proizvodnjo električne energije, 6 proti 4, v drugem primeru (Večkriterijska analiza za mHE Kokra II) pa bo razmerje 7 proti 3, kar pomeni, da relativna pomembnost okoljskih kriterijev

predstavlja 60 oziroma 70 odstotkov, proizvodnja električne energije pa 40 oziroma 30 odstotkov, celotne vrednosti, ki znaša 100 %.



Slika 65: Odločitveno drevo v programskem okolju Sesamo

Odločitveno drevo (Slika 65: Odločitveno drevo v programskem okolju Sesamo) predstavlja osnovni prikaz v programu SESAMO. V njem sta določena glavna kriterija, statusni indikatorji, indikatorji ter variante.

4.2.1 Večkriterijska analiza za mHE Kokra I

	Alt_0	Alt_1	Alt_2
mHE_Kokra	0	0	0
Sezonsko_p...	557.35	365.492	421.801
Fizikalno_ke...	0	0	0
Bentoski_ma...	10.92	1.92	3.48
Ribja_favna	11	-3	1
Fitobentos	1	1	1
Makrofiti	1	1	1
Recna_flora	0	0	0
Obrezna_ve...	1	6.144	4.294
Ptice	2	0	1
Bioloska_kv...	0	0	0
Hidroloski_re...	41	11.42	17.925
Recna_konti...	96.4	61.896	72.08
Struktura_in...	3.981	2.607	3.013
Morfolosko_...	0	0	0
Hidromorfolo...	0	0	0
Okoljski_kriteriji	0	0	0
Letna_proizv...	0	1,983.729	1,588.067
Proizvedena...	0	0	0
Proizvodnja_...	0	0	0

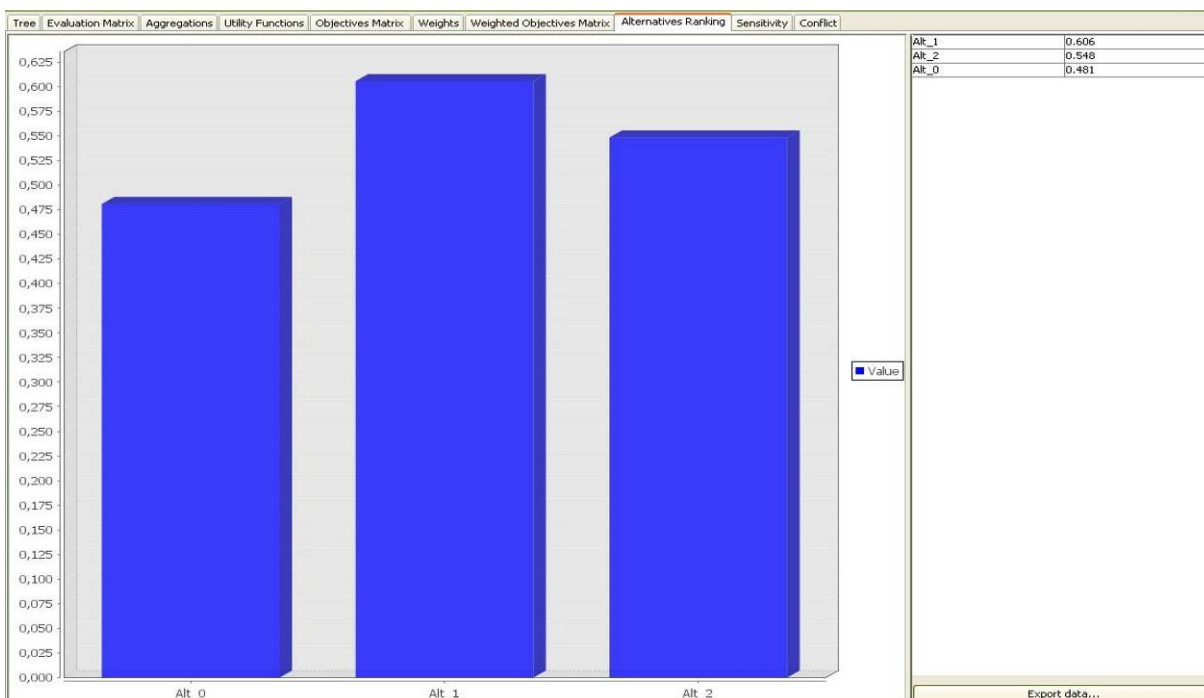
Slika 66: Evalvacijska matrika

	Alt_0	Alt_1	Alt_2
mHE_Kokra	-	-	-
Sezonsko_p...	1	0.75	0.75
Fizikalno_ke...	-	-	-
Bentoski_ma...	1	0	0
Ribja_favna	1	0.25	0.25
Fitobentos	1	1	1
Makrofiti	1	1	1
Recna_flora	-	-	-
Obrezna_ve...	0.75	0	0
Ptice	1	0	0.75
Bioloska_kv...	-	-	-
Hidroloski_re...	0.41	0.114	0.179
Recna_konti...	0.91	0.637	0.75
Struktura_in...	0.002	0.001	0.001
Morfolosko_...	-	-	-
Hidromorfolo...	-	-	-
Okoljski_kriteriji	-	-	-
Letna_proizv...	0	1	0.801
Proizvedena...	-	-	-
Proizvodnja_...	-	-	-

Slika 67: Normalizirana matrika

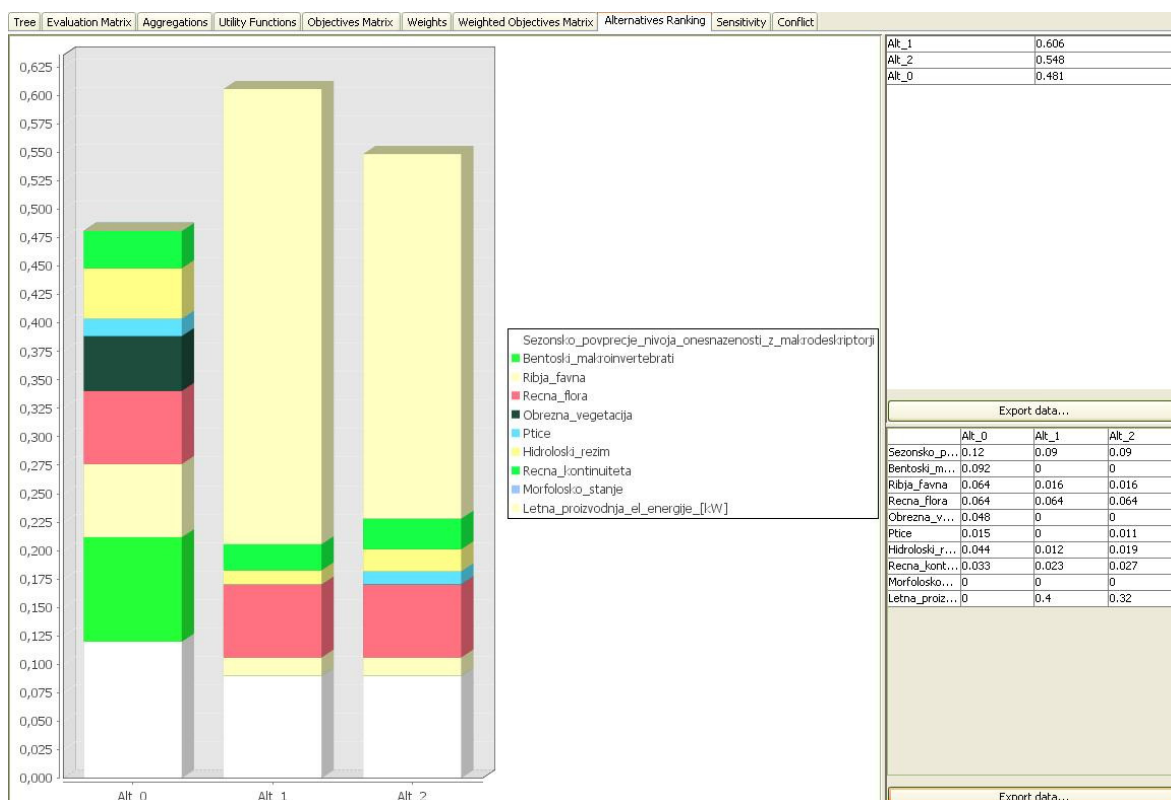
	Alt_0	Alt_1	Alt_2
mHE_Kokra	-	-	-
Sezonsko_p...	0.12	0.09	0.09
Fizikalno_ke...	-	-	-
Bentoski_ma...	0.092	0	0
Ribja_favna	0.064	0.016	0.016
Fitobentos	0.039	0.039	0.039
Makrofiti	0.026	0.026	0.026
Recna_flora	-	-	-
Obrezna_ve...	0.048	0	0
Ptice	0.015	0	0.011
Bioloska_kv...	-	-	-
Hidroloski_re...	0.044	0.012	0.019
Recna_konti...	0.033	0.023	0.027
Struktura_in...	0	0	0
Morfolosko_...	-	-	-
Hidromorfolo...	-	-	-
Okoljski_kriteriji	-	-	-
Letna_proizv...	0	0.4	0.32
Proizvedena...	-	-	-
Proizvodnja_...	-	-	-

Slika 68: Utežena matrika



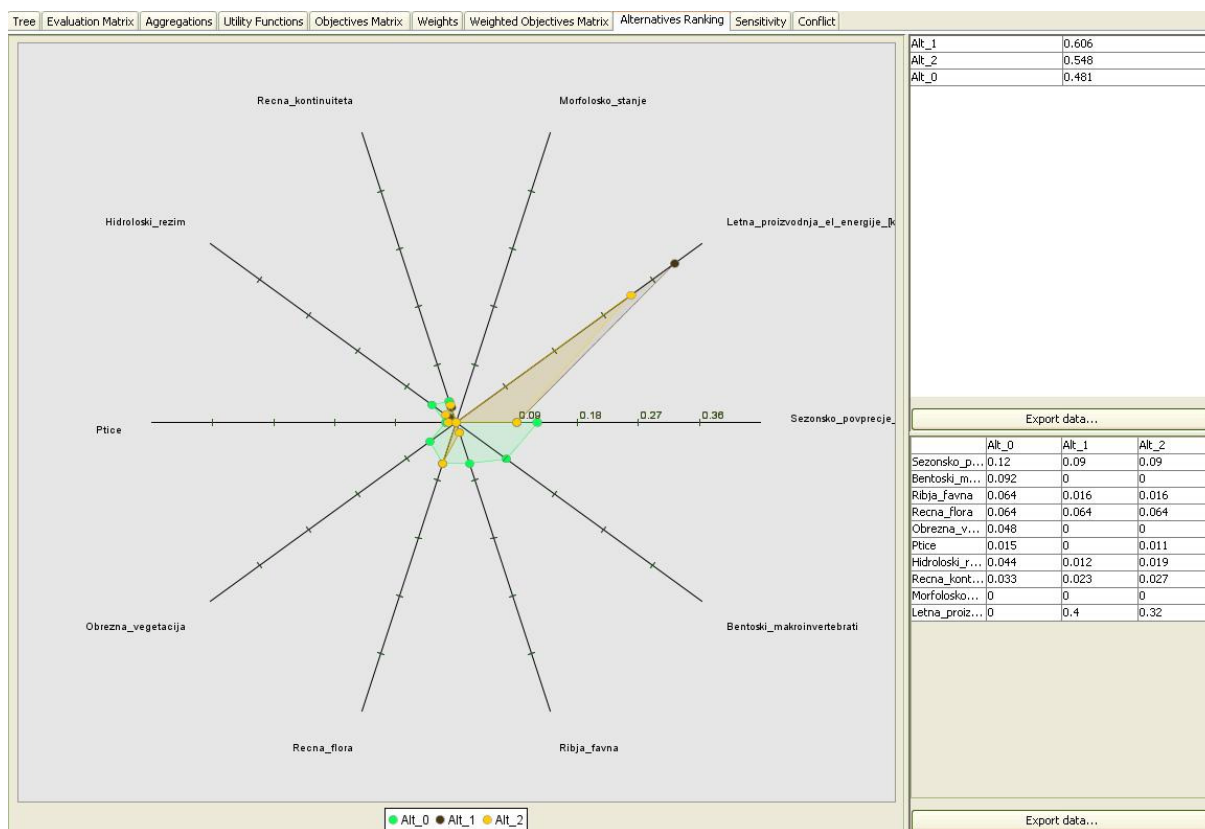
Slika 69: Primerjava variant

Stolpčni grafikon ocenjevanje variant prikazuje vrednosti variant za podane kriterije in indikatorje. Iz grafikona je razvidno, da je ob danih vrednostih uteži najboljša izbira druga varianta (Alt_1), saj ima najvišjo vrednost, vrednosti variant Alt_0 in Alt_2 pa sta skoraj enaki. Najbolj zanimivo je, da ob zmanjšanem odvzemu vode za 20 % in s tem zmanjšani proizvodnji električne energije, vrednost variante Alt_2 ni znatno višja, celo nasprotno, je manjša od variante Alt_1. To pomeni, da ob danih vrednostih variant in indikatorjev, proizvodnja električne energije z zmanjšanim odvzemom vode ni smiselna.



Slika 70: Primerjava indikatorjev – stolpčni grafikon

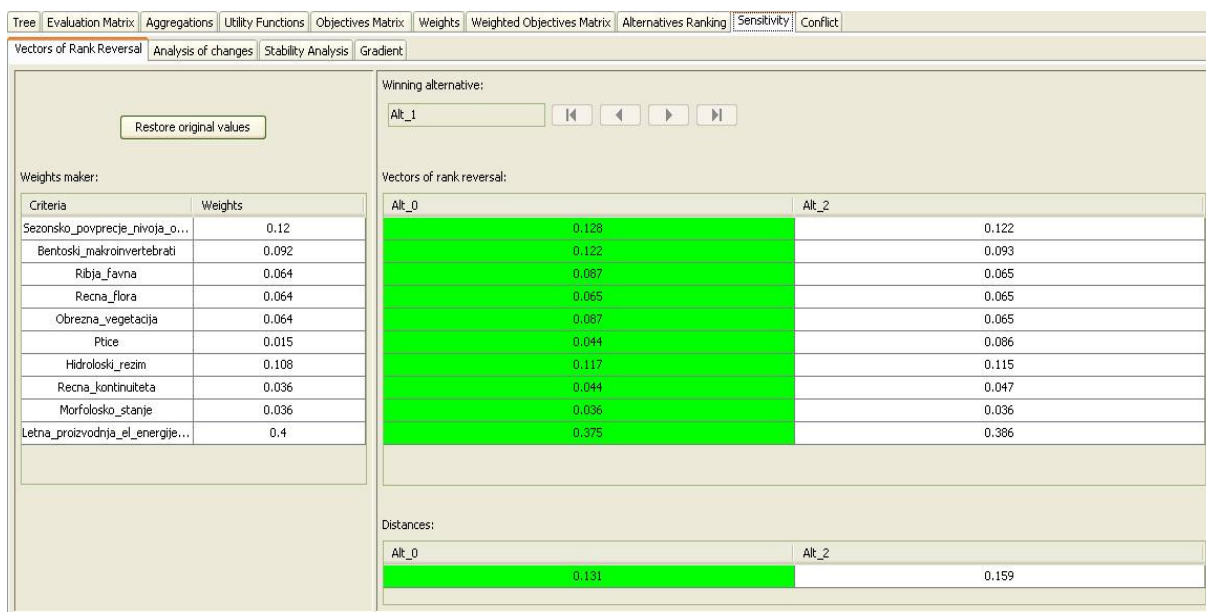
Stolpčni grafikon primerjava indikatorjev prikazuje vrednosti indikatorjev, ki določajo vrednosti kriterijev okoljski kriteriji ter proizvodnja električne energije. Iz grafikona je razvidno, da je ob danih vrednostih uteži najboljša izbira druga varianta (Alt_1), saj ima najvišjo vrednost, kar se grafično odraža kot najvišja skupna višina stolpca. Sledita varianta Alt_2 in Alt_0. Zanimivo je, da je vrednost variante Alt_1 višja od vrednosti variante Alt_2, pri čemer varianta Alt_2 za proizvodnjo električne energije izrablja samo 80 % projektnih vrednosti pretoka. Isto situacijo prikazuje tudi naslednja slika (Slika 71: Primerjava indikatorjev – radarski grafikon).



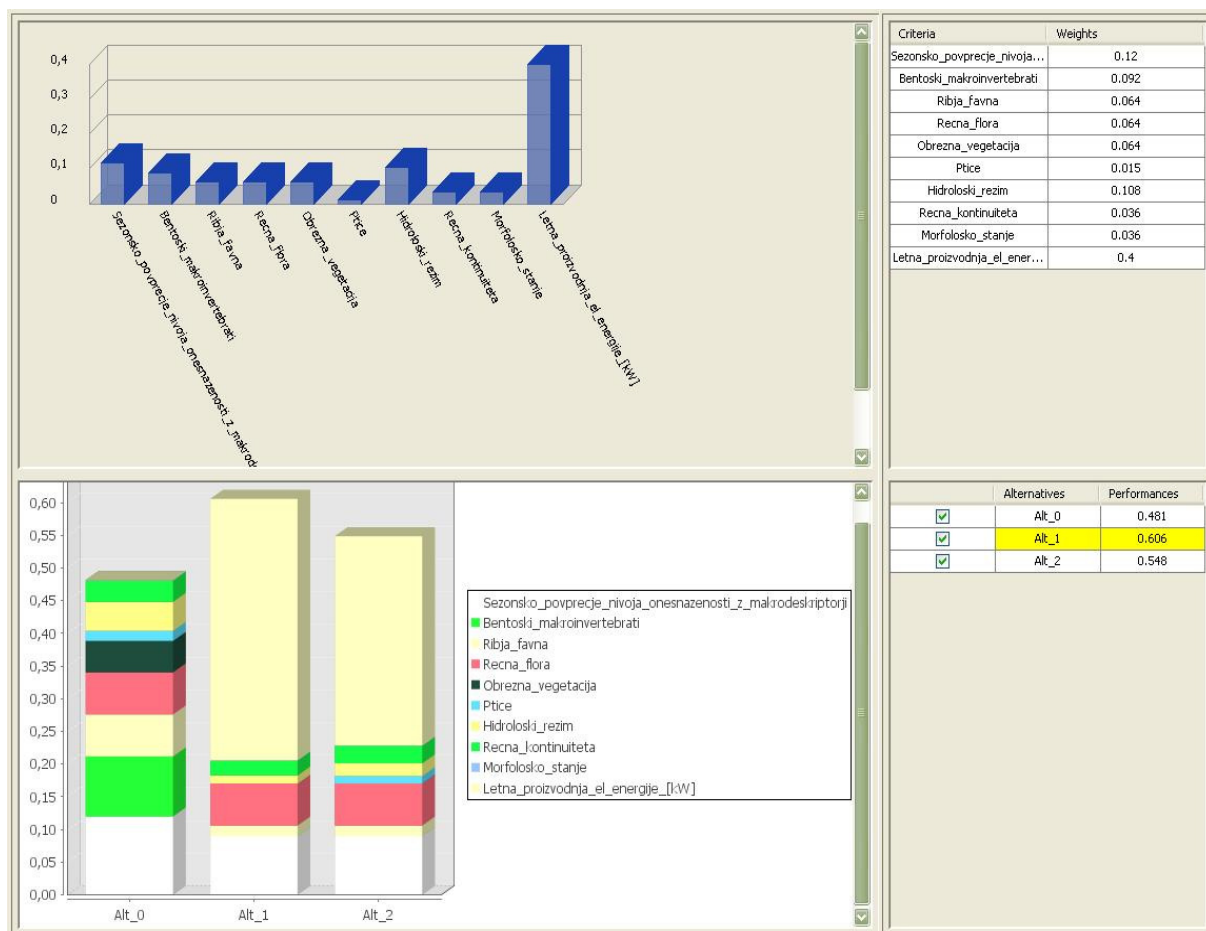
Slika 71: Primerjava indikatorjev – radarski grafikon

Z analizo občutljivosti (ang. Sensitivity analysis) lahko ugotovimo katere in za koliko bi bilo potrebno spremeniti uteži posameznih kriterijev, da bi spremenili vrstni red variant. Ker so podatki lahko zaradi možnih konceptnih ali merskih napak nepopolni ali nezanesljivi, z občutljivostno analizo, ki je v bistvu ponovna analiza, ki pa ne spremeni prvotnih vrednosti, preverimo, koliko te možne napake vplivajo na končni rezultat ocenjevanja. Občutljivostno analizo izvedemo tudi zato, ker so uteži posameznih indikatorjev določene subjektivno.

Variante lahko med seboj primerjamo tudi tabelarično (Slika 72: Primerjava variant z zmagovalno varianto). Pri tem načinu pregleda so vrednosti zmagovalne variante izpisane na levi strani okna, ostale variante pa so izpisane na desni, pri čemer je druga najboljša varianta obarvana zeleno. Stabilnostna analiza, prikazana na Slika 74: Stabilnostna analiza, omogoča določitev minimalnih sprememb posameznim utežem, ki spremenijo vrsti red variant.



Slika 72: Primerjava variant z zmagovalno varianto



Slika 73: Občutljivostna analiza I – osnovni pogled

Criteria	Weights	Alt_0	Alt_1	Alt_2
Sezonsko_povprecje_nivoja_o...	0.12	0	0.499	0.27
Bentoski_makroinvertebrati	0.092	0	0.125	0.067
Ribja_favna	0.064	0	0.166	0.09
Recna_flora	0.064	0	-	-
Obrezna_vegetacija	0.064	0	0.166	0.09
Ptice	0.015	0	0.125	0.27
Hidroloski_rezim	0.108	0	0.421	0.292
Recna_kontinuiteta	0.036	0	0.457	0.421
Morfolosko_stanje	0.036	0	137.719	99.564
Letna_proizvodnja_el_energie...	0.4	0	-0.125	-0.084

Slika 74: Stabilnostna analiza

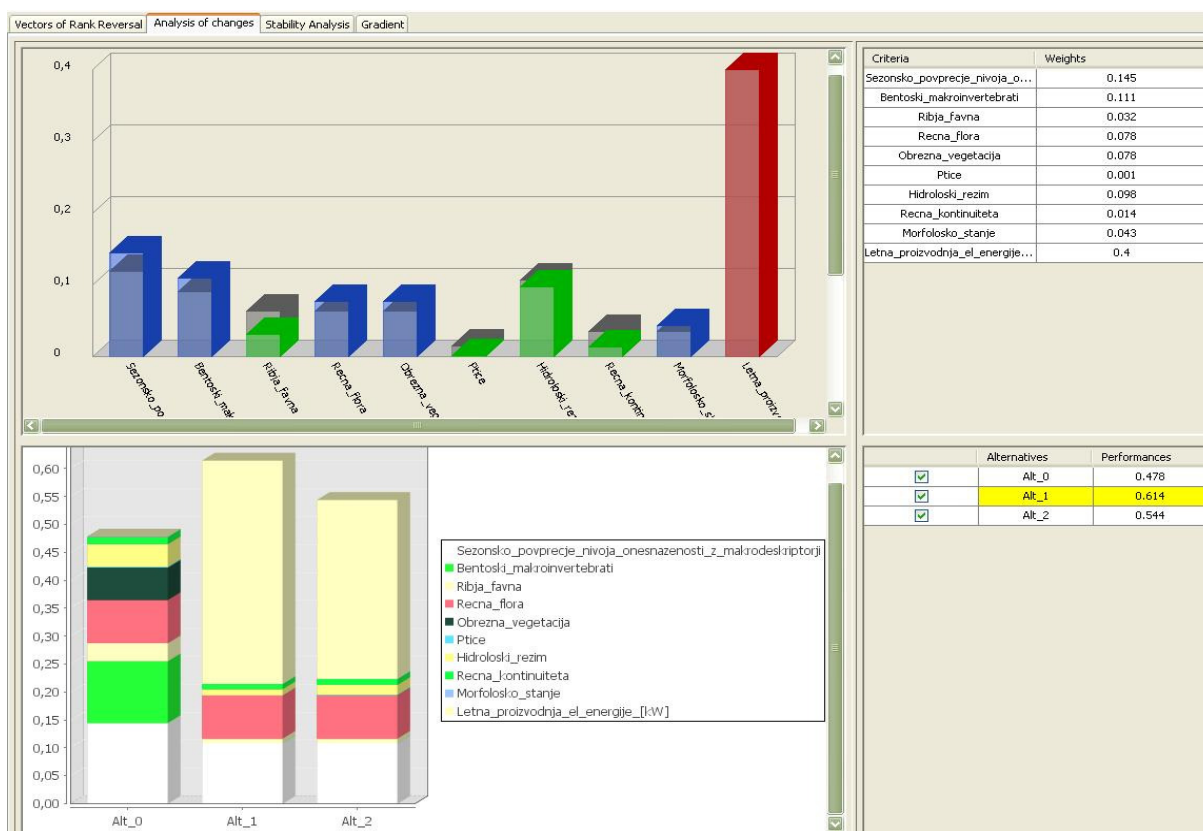


Slika 75: Občutljivostna analiza I – primerjanje različnih variant

Program Sesamo omogoča, da pri grafični primerjavi variant, lahko fiksiramo in spreminjamo posamezne ali več indikatorjev. Na ta način lahko opazujemo, kako se ob določeni fiksirani vrednosti indikatorja spreminjajo vrednosti ostalih indikatorjev. Indikator, ki ga fiksiramo se obarva rdeče, indikator, ki ga želimo spreminjati pa zeleno. Indikatorji, ki jih ne fiksiramo ali spreminjamo, ostanejo obarvani v modro. Zelo priročno je, da ostanejo prikazane prvotne vrednosti indikatorjev (obarvane sivo). Na zgoraj prikazani sliki (Slika 75: Občutljivostna analiza I – primerjanje različnih variant) je vidno, da s spreminjanjem uteži posameznim

kriterijem lahko dosežemo popolnoma drugačno razvrstitev od prvotne. Z večanjem pomembnosti letne proizvodnje električne energije ter ob fiksiranih vrednostih hidrološkega režima, morfološkega stanja, ribje favne in bentoških makroinvertebratov lahko dobimo kot zmagovalno varianto, varianto Alt_1, vendar na račun zmanjšanja vrednosti makrodeskriptorjev, rečne flore, obrežne vegetacije, ptic in rečne kontinuitete.

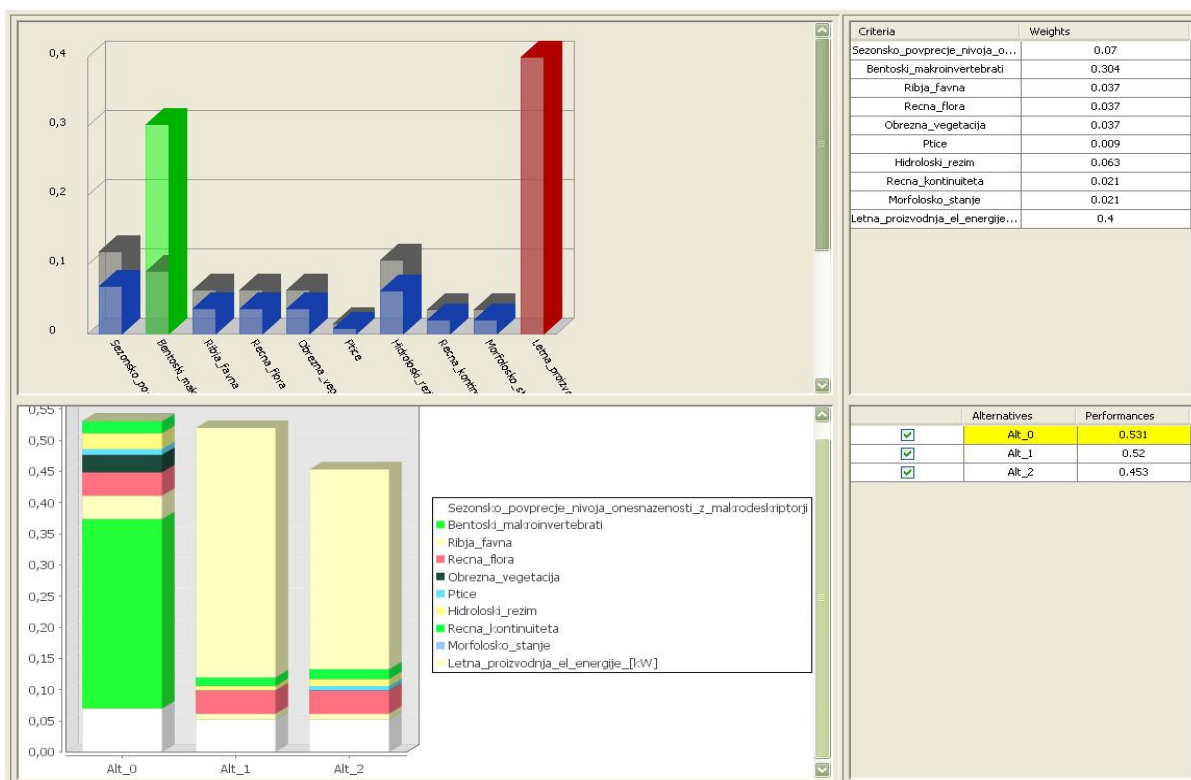
Pri izvajanju občutljivostne analize (Slika 75: Občutljivostna analiza I – primerjanje različnih variant) smo znižali vrednosti indikatorjev letna proizvodnja električne energije in ptice. Vrednost indikatorja ptic smo znižali, ker na območju mHE Kokra ni življenjsko ogroženih ptic, vrednost indikatorja letna proizvodnja električne energije pa na račun doseganja boljšega ekološkega stanja. Obenem smo povečali vrednost indikatorjev ribja favna in obrežna vegetacija. Odstotek povečanja oziroma zmanjšanja vrednosti je bil poljubno izbran. Rezultat analize je zmagovalna varianta Alt_0. V tem primeru je vrednost variante trenutnega stanja, brez mHE Kokra, večja, kar pomeni, da bi bila gradnja mHE Korka z ekološkega vidika težko upravičljiva.



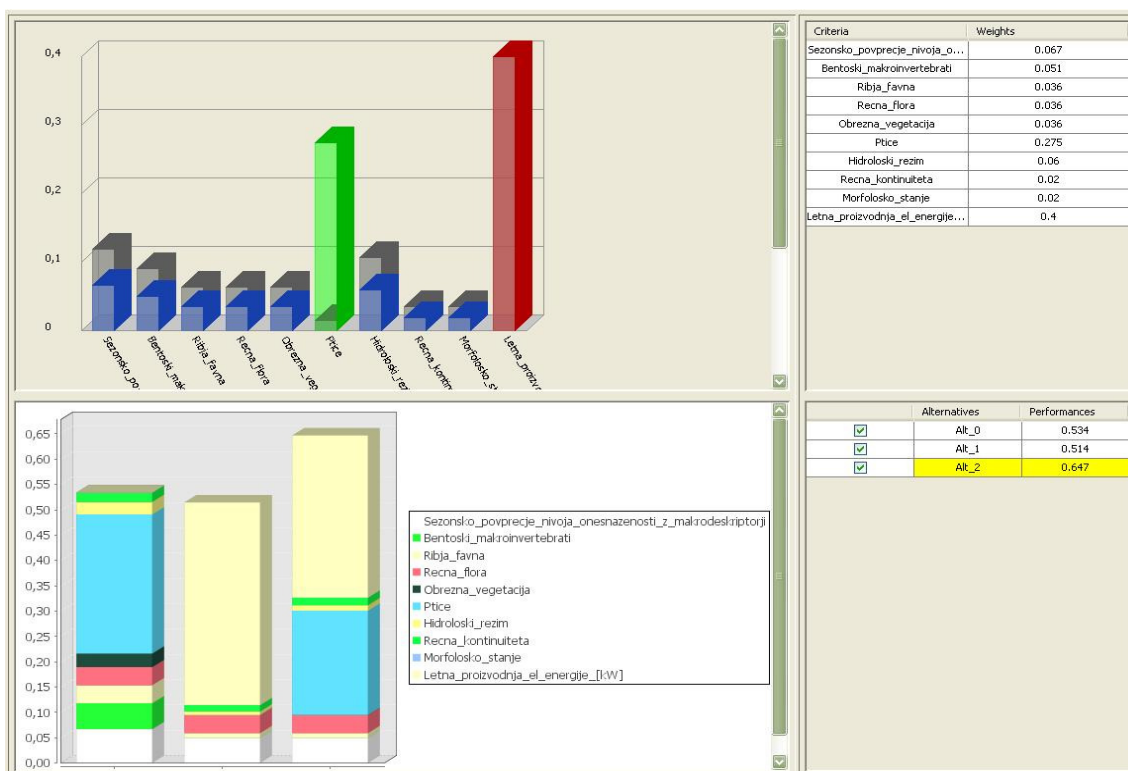
Slika 76: Občutljivostna analiza I – primerjanje različnih variant

V naslednji analizi (Slika 76: Občutljivostna analiza I – primerjanje različnih variant) smo fiksirali vrednost indikatorja proizvodnja električne energije z namenom, da ne želimo zmanjšati predvidene količine proizvedene električne energije, prav tako je ne želimo povečati. Hkrati smo znižali vrednosti indikatorjev ribja favna, ptice, hidrološki režim in rečna kontinuiteta. Razlogi za znižanje teh vrednosti so naslednji. Indikatorju hidrološki režim smo minimalno znižali vrednost, zato ker bo mHE Kokra zasnovana tako, da bo minimalno vplivala na vodotok, pri čemer bo v vodotok neprekinjeno spuščala količine ekološko sprejemljivega pretoka, prelivni objekt bo imel premično krono, zajetje pa preliv, tako da bo hidrološki režim vodotoka čim manj spremenjen. Vrednost rečne kontinuitete se ne bo povečala, saj je vodotok Kokra že sedaj urejen s hidrotehničnimi deli, predvidena mHE Kokra pa bo povečevala kontinuiteto, saj bo trenutni Virnikov jez temu primerno urejen. Indikator ptice je znižan na minimalno vrednost, ker na območju mHE Kokra ni življenjsko ogroženih ptic, odvisnih od vodotoka samega. Vrednost indikatorja ribja favna je nižja zato, ker bo mHE Kokra imela urejeno ribjo stezo, katere trenutni Virnikov jez nima. Kot zanimivost se zopet pokaže, da se, navkljub znižanju določenih okoljskih indikatorjev ter fiksiranju vrednosti proizvodnje električne energije, vrednost ostalih okoljskih indikatorjev bistveno ne zviša. Tako je zmagovalna varianta še vedno varianta Alt_1.

Z nadaljnjimi analizami smo pregledovali, kaj se zgodi, če spreminjamo posamezne kriterije in kako to vpliva na vrstni red variant. Indikatorja, ki najbolj vplivata na vrstni red variant, ob nesorazmernem povečanju posameznega indikatorja in fiksiranju vrednosti proizvodnje električne energije, sta bentoški makroinvertebrati ter ptice. Edino ta dva indikatorja lahko posamezno, ob neutemeljenem prekomernem povečanju njune vrednosti, spremenita vrstni red variant (Slika 77: Občutljivostna analiza I – primerjanje različnih variant, Slika 78: Občutljivostna analiza I – primerjanje različnih variant). Sklepamo lahko, da sta ta dva indikatorja najbolj občutljiva na spremembe ekološkega stanja vodotoka. Opozoriti pa je treba na že prej omenjeno dejstvo, da indikator ptice nima velike pomembnosti, saj na območju mHE Kokra ni življenjsko ogroženih in esencialno od potoka odvisnih vrst ptic. Tako je najpomembnejši kriterij, ki vpliva na vrstni red variant, indikator bentoški makroinvertebrati.



Slika 77: Občutljivostna analiza I – primerjanje različnih variant



Slika 78: Občutljivostna analiza I – primerjanje različnih variant

Rezultat večkriterijske analize mHE Kokra je občutljivostna analiza, s katero smo za podane kriterije in indikatorje, glede na zastavljen cilj, določili optimalno rešitev oziroma zmagovalno varianto. Variante so v primeru večkriterijske analize za mHE Kokra obstoječe stanje brez odvzema vode, predviden poseg v prostor in predviden poseg v prostor z zmanjšanim odvzemom vode, cilj pa nameravan poseg v prostor, gradnja mHE Kokra.

Za izdelavo občutljivostne analize je bilo potrebno predhodno določiti kriterije in indikatorje. Kriterija sta v primeru večkriterijske analize za mHE Kokra, okoljski kriteriji in proizvodnja električne energije. Indikatorji dodeljeni tema kriterijema so opisani v predhodnih poglavjih, prav tako vzročni faktorji, vzročne povezave in uporabne funkcije, ki služijo določitvi brezdimezionalnih vrednosti indikatorjev. Tem vrednostim smo določili še relativno pomembnost, s katero s katero smo določili uteženo matriko, katera je služila za izdelavo analize občutljivosti.

Optimalna rešitev, določena s programom Sesamo, je varianta Alt_1, ki predstavlja izgradnjo mHE Kokra s predvidenim, nezmanjšanim odvzemom vode. Vrednosti uteži, ki so bile predhodno določene ter vzročni faktorji in z njimi povezane vzročne povezave, so pokazale, da se navkljub posegu v prostor, vrednosti okoljskih kriterijev oziroma kvaliteta rečnega ekosistema ne bi bistveno poslabšala. Še več, ob upoštevanju dejstva, da bi odvzemno mesto uredili z rekonstrukcijo jezua Virnik, ki nima objektov za zagotavljanje migracije ribjih populacij, bi stanje v vodotoku na tem področju še izboljšali, saj bi z ureditvijo odvzemnega mesta vzpostavili prekinjeno kontinuiteto dolvodno in gorvodno od trenutnega jezua. Večkriterijska analiza za mHE Kokra je tako pokazala, da je proizvodnja električne energije v mHE Kokra, okoljsko sprejemljiv poseg v prostor.

4.2.2 Večkriterijska analiza za mHE Kokra II

Analiza je identična analizi, opisani v podpoglavju Večkriterijska analiza za mHE Kokra I, zato bodo tu podane samo slike in kratek komentar.

	Alt_0	Alt_1	Alt_2
mHE_Kokra	0	0	0
Sezonsko_p...	557.35	365.492	421.801
Fizikalno_ke...	0	0	0
Bentoski_ma...	10.92	1.92	3.48
Ribja_favna	11	-3	1
Fitobentos	1	1	1
Makrofiti	1	1	1
Recna_flora	0	0	0
Obrezna_ve...	1	6.144	4.294
Ptice	2	0	1
Bioloska_kva...	0	0	0
Hidroloski_re...	41	11.42	17.925
Recna_konti...	96.4	61.896	72.08
Struktura_in...	3.981	2.607	3.013
Morfolosko_...	0	0	0
Hidromorfolo...	0	0	0
Okoljski_kriteriji	0	0	0
Letna_proizv...	0	1,983.729	1,588.067
Proizvedena...	0	0	0
Proizvodnja_...	0	0	0

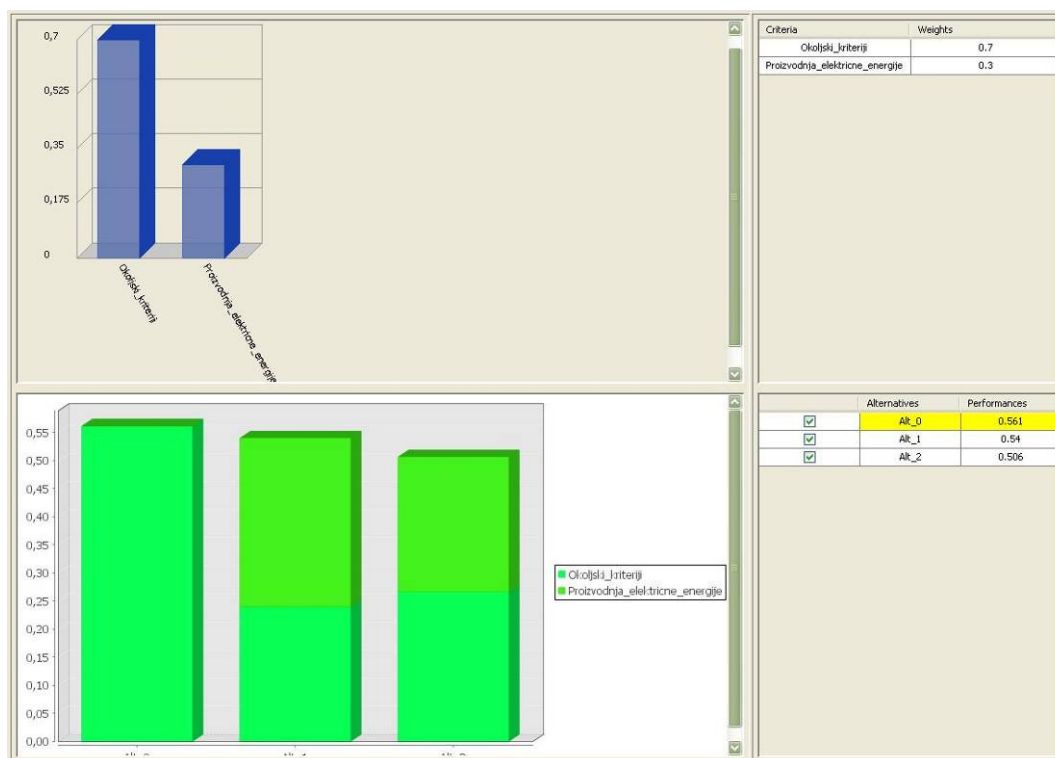
Slika 79: Evalvacijska matrika

	Alt_0	Alt_1	Alt_2
mHE_Kokra	-	-	-
Sezonsko_p...	1	0.75	0.75
Fizikalno_ke...	-	-	-
Bentoski_ma...	1	0	0
Ribja_favna	1	0.25	0.25
Fitobentos	1	1	1
Makrofiti	1	1	1
Recna_flora	-	-	-
Obrezna_ve...	0.75	0	0
Ptice	1	0	0.75
Bioloska_kva...	-	-	-
Hidroloski_re...	0.41	0.114	0.179
Recna_konti...	0.91	0.637	0.75
Struktura_in...	0.002	0.001	0.001
Morfolosko_...	-	-	-
Hidromorfolo...	-	-	-
Okoljski_kriteriji	-	-	-
Letna_proizv...	0	1	0.801
Proizvedena...	-	-	-
Proizvodnja_...	-	-	-

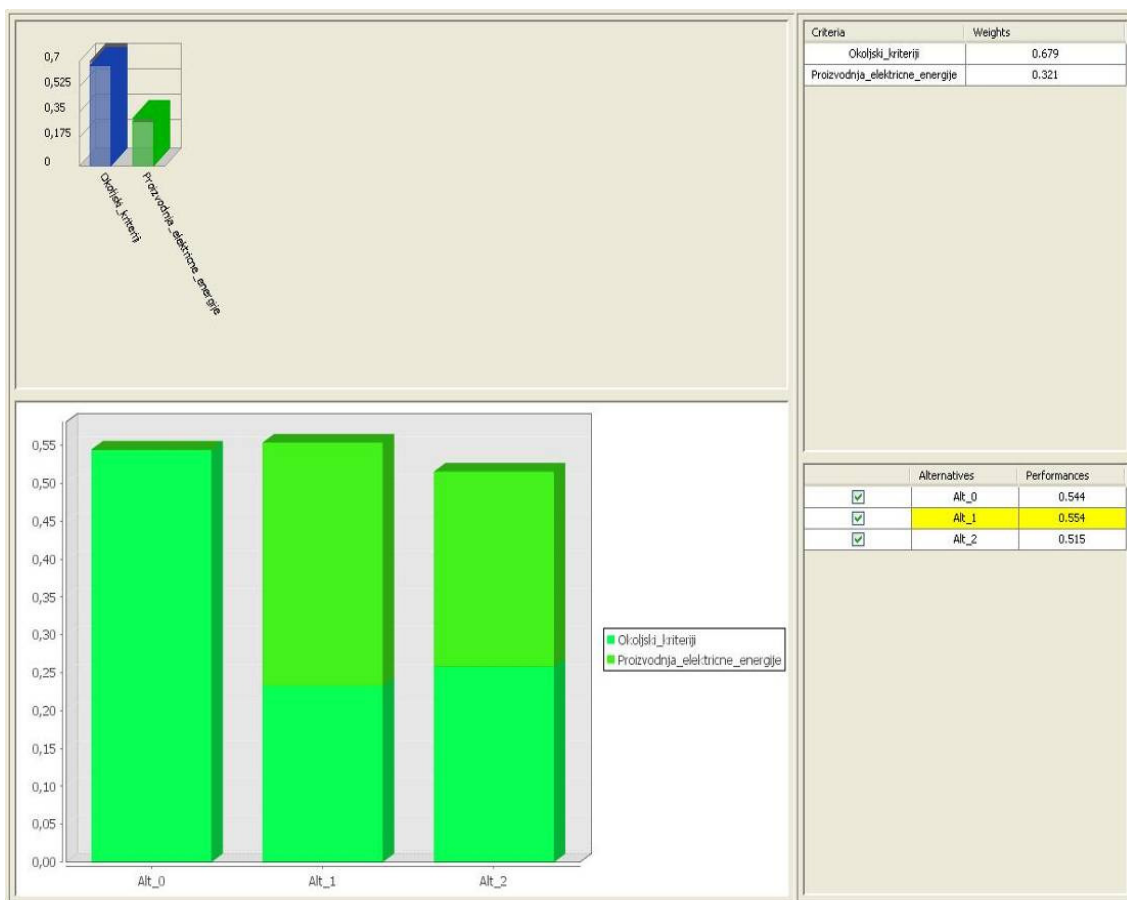
Slika 80: Normalizirana matrika

	Alt_0	Alt_1	Alt_2
mHE_Kokra	-	-	-
Sezonsko_p...	0.14	0.105	0.105
Fizikalno_ke...	-	-	-
Bentoski_ma...	0.107	0	0
Ribja_favna	0.075	0.019	0.019
Fitobentos	0.045	0.045	0.045
Makrofiti	0.03	0.03	0.03
Recna_flora	-	-	-
Obrezna_ve...	0.056	0	0
Ptice	0.018	0	0.013
Bioloska_kva...	-	-	-
Hidroloski_re...	0.052	0.014	0.023
Recna_konti...	0.038	0.027	0.032
Struktura_in...	0	0	0
Morfolosko_...	-	-	-
Hidromorfolo...	-	-	-
Okoljski_kriteriji	-	-	-
Letna_proizv...	0	0.3	0.24
Proizvedena...	-	-	-
Proizvodnja_...	-	-	-

Slika 81: Utežena matrika



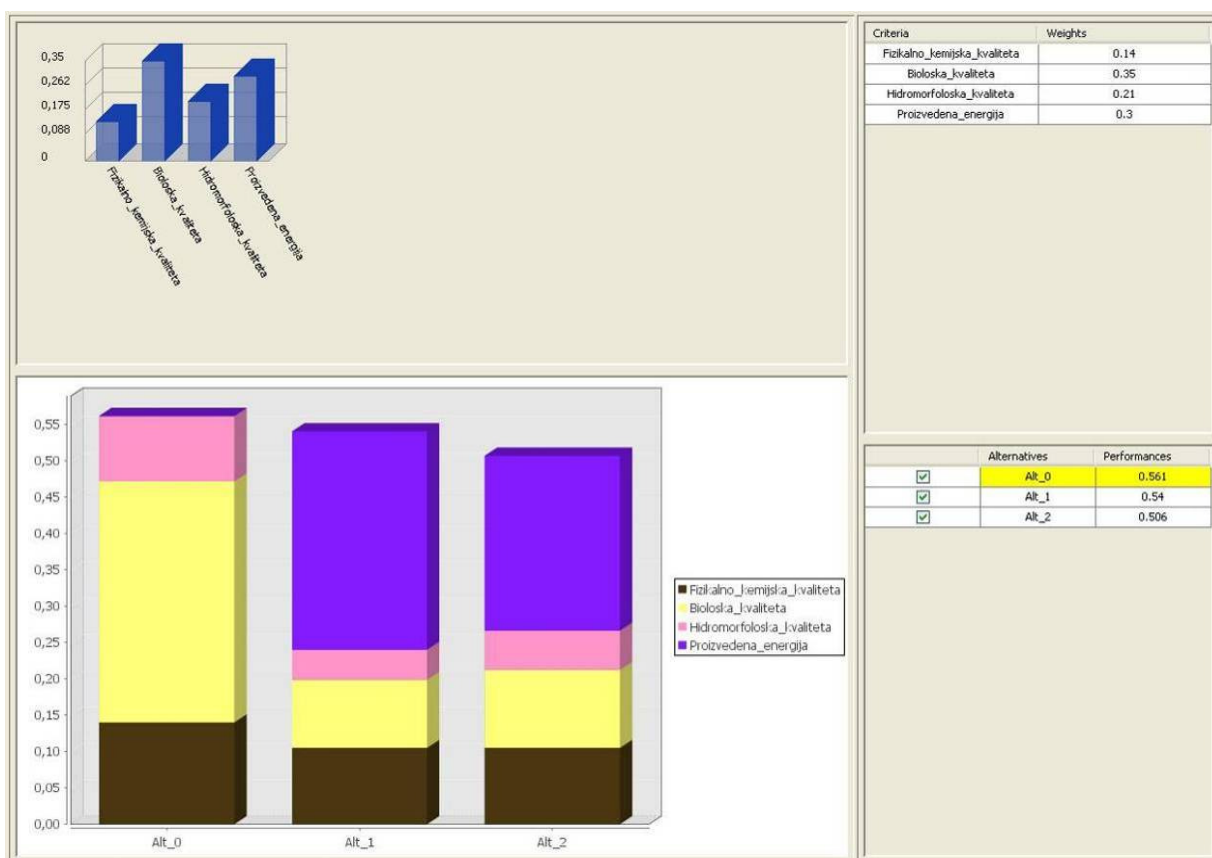
Slika 82: Občutljivostna analiza II – primerjanje različnih variant



Slika 83: Občutljivostna analiza II – primerjanje različnih variant

Zgornja stolpčna grafikona (Slika 82: Občutljivostna analiza II – primerjanje različnih variant, Slika 83: Občutljivostna analiza II – primerjanje različnih variant) prikazujeta vrednosti kriterijev za različne variante. Iz grafikonov je razvidno, da je ob danih vrednostih uteži najboljša izbira prva varianta (Alt_0).

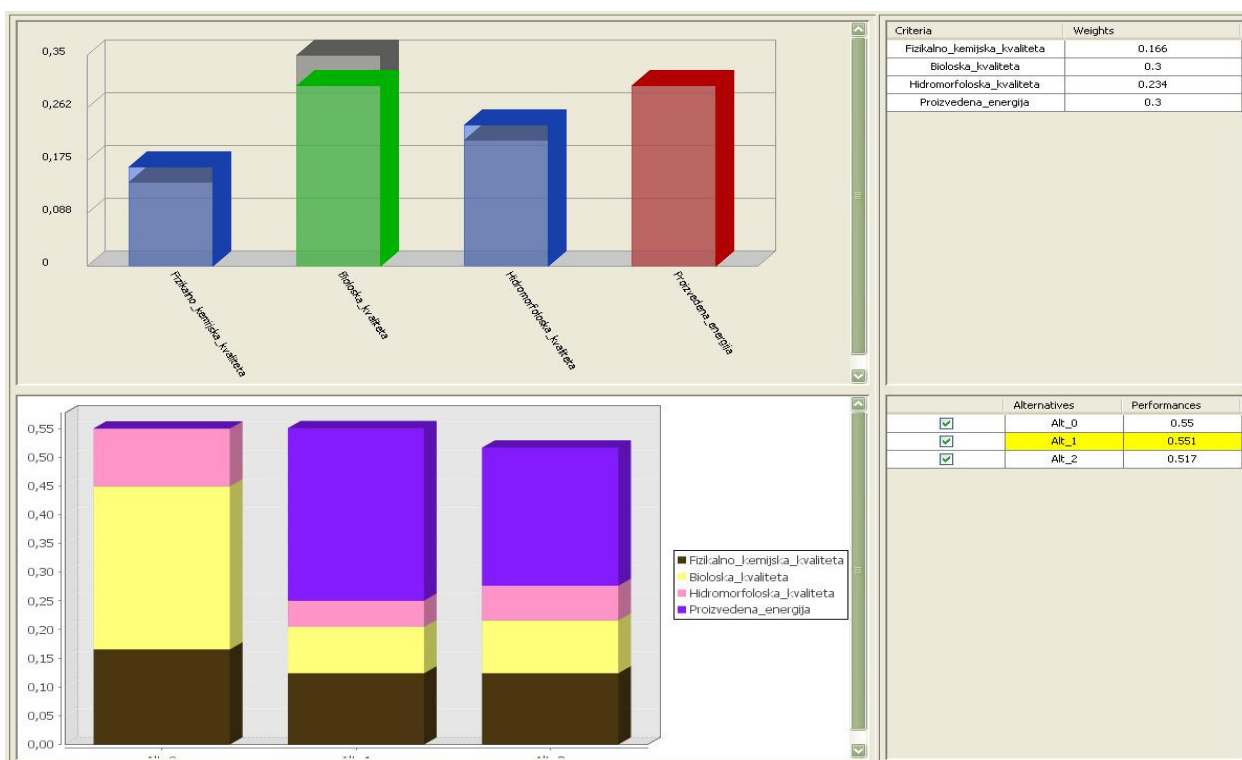
Z zmanjšanjem pomembnosti okoljskih kriterijev za 3 % se vrstni red variant spremeni. Optimalna rešitev v primeru zmanjšanja pomembnosti okoljskih kriterijev za 3 % je varianta Alt_1, ki predstavlja nameravan poseg v prostor, z gradnjo mHE Kokra.



Slika 84: Občutljivostna analiza II – primerjanje različnih variant

Stolpčna grafikona (Slika 84: Občutljivostna analiza II – primerjanje različnih variant, Slika 85: Občutljivostna analiza II – primerjanje različnih variant) prikazujeta vrednosti statusnih indikatorjev (fizikalno-kemijska kvaliteta, biološka kvaliteta, hidromorfološka kvaliteta, proizvedena energija) za različne variante. Iz grafikonov je razvidno, da je ob danih vrednostih uteži najboljša izbira prva varianta (Alt_0).

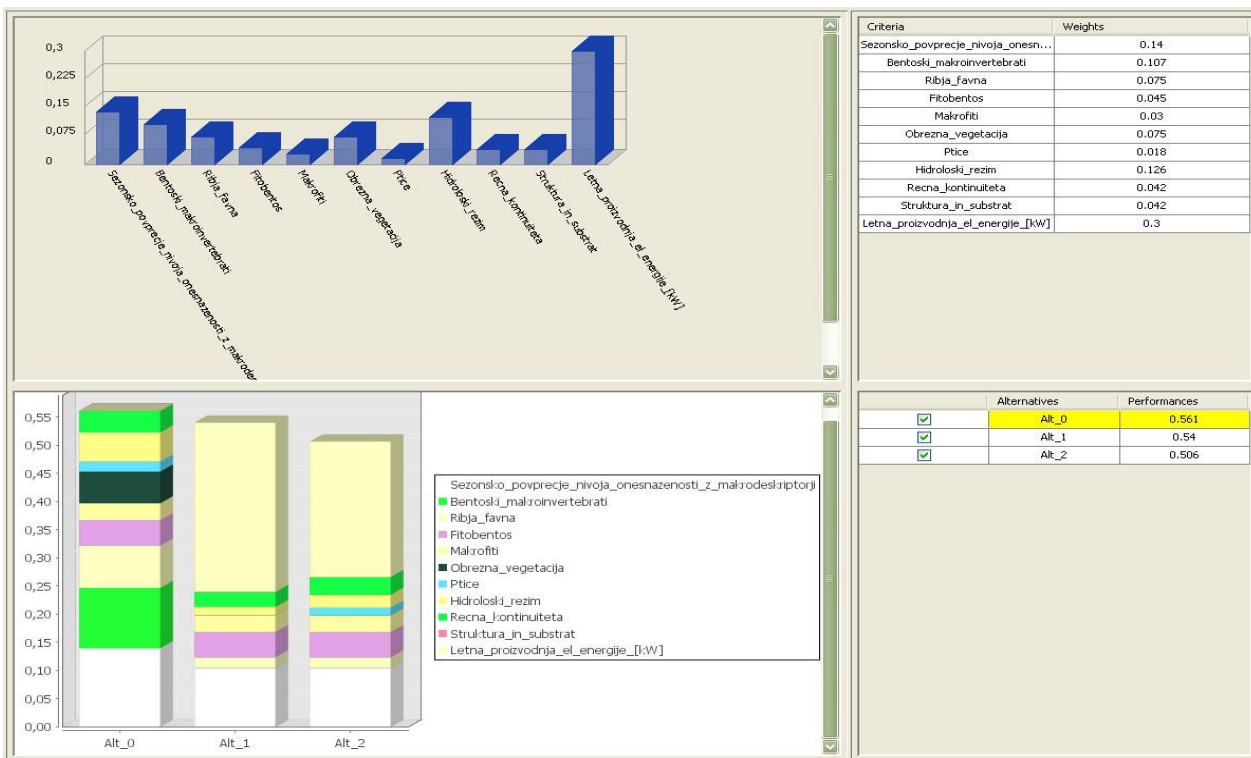
Z zmanjšanjem pomembnosti okoljskih kriterijev za 3 %, na račun povečanja pomembnosti proizvodnje električne energije, se vrstni red variant spremeni. Optimalna rešitev v primeru zmanjšanja pomembnosti okoljskih kriterijev za 3 % je varianta Alt_1, ki predstavlja nameravan poseg v prostor, z gradnjo mHE Kokra.



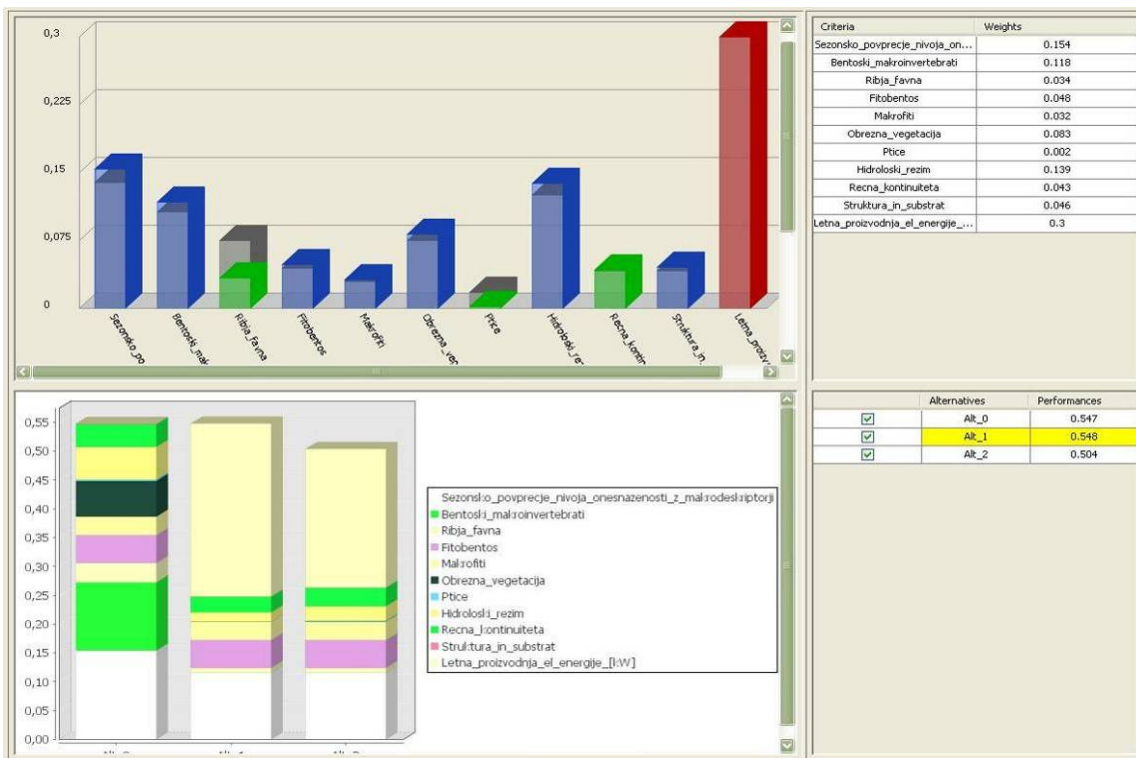
Slika 85: Občutljivostna analiza II – primerjanje različnih variant

Na naslednji strani (Slika 86: Občutljivostna analiza II – primerjanje različnih variant, Slika 87: Občutljivostna analiza II – primerjanje različnih variant) so prikazane vrednosti indikatorjev za različne variante. Iz Slike 67 je razvidno, da je ob danih vrednostih uteži za posamezne kriterije optimalna rešitev prva varianta, Alt_0. S spreminjanjem pomembnosti indikatorjev smo analizirali vpliv indikatorjev na vrstni red variant ter določili pomembnost variant, tako da smo, kot zmagovalno varianto, dobili varianto Alt_1, ki predstavlja nameravan poseg v prostor, gradnjo mHE Kokra.

Za spremembo vrstnega reda variant moramo zmagovalno varianto Alt_0, z vrednostjo 0,561, spremeniti za najmanj 2,5 %. To storimo na način, da vrednost indikatorja ptice zmanjšamo na minimum, prav tako zmanjšamo vrednost indikatorja ribja favna. Zmanjšanje vrednosti teh dveh indikatorjev je utemeljeno, saj na območju predvidene mHE Kokra ni življenjsko ogroženih od vodotoka esencialno odvisnih vrst ptic, obenem pa bi s predvidenim posegom v prostor, izboljšali življenje ribjih populacij v vodotoku, saj bi uredili ribjo stezo, katere obstoječi jez Virnik nima.



Slika 86: Občutljivostna analiza II – primerjanje različnih variant



Slika 87: Občutljivostna analiza II – primerjanje različnih variant

Optimalna rešitev, določena s programom SESAMO, je varianta Alt_0, ki predstavlja obstoječe stanje brez predvidenega posega v prostor. Subjektivno določenim vrednostim uteži določenih indikatorjev, smo ob nespremenjenih vzročnih faktorjih in povezavah utemeljeno spremenili relativno pomembnost ter tako spremenili vrstni red variant. Ob dejstvih, da bi odzemno mesto mHE Kokra uredili z rekonstrukcijo jezua Virnik, ki nima objektov za zagotavljanje migracije ribjih populacij ter, da na območju mHE Kokra ni od vodotoka esencialno odvisnih ptičjih vrst, smo zmanjšali pomembnost teh dveh indikatorjev. Za tako stanje relativne pomembnosti indikatorjev je optimalna rešitev, določena s programom SESAMO, varianta Alt_1, ki predstavlja nameravan poseg v prostor. Z večkriterijsko analizo za mHE Kokra je dokazano, da je proizvodnja električne energije v mHE Kokra okoljsko sprejemljiv poseg v prostor.

5 ZAKLJUČEK

Prve civilizacije na zemlji so se naselile ob rekah. Skozi stoletja so na različne načine izkoriščale vodno energijo ter si na ta način lajšale vsakdanja opravila. Človeštvo se je danes razvilo do te mere, da si ne znamo predstavljati življenja brez električne energije. Skoraj vsako najmanjše opravilo si olajšamo z aparati, ki za pogon potrebujejo električno energijo. Raba električne energije se povečuje, zato je nujno iskati nove vire električne energije, ki bi zadovoljevali potrebe po njej. Direktiva 2009/28/ES določa, da mora vsaka država članica sprejeti nacionalni akcijski načrt za obnovljive vire energije, v katerem določi cilje držav članic za deleže obnovljivih virov energije v rabi energije. Izrabo vodotokov kot pomembnega vira obnovljive energije pogojuje Vodna direktiva 2000/60/ES, ki zahteva ohranjanje dobrega ekološkega stanja vodotokov. Strategija, ki bi zadostila tako Direktivi 2009/28/ES kot 2000/60/ES, predstavlja velik izziv. Postavitev malih hidroelektrarn kot objektov za izrabo vodne energije vodotokov iz finančnega vidika ni vedno smiselna, zato je potrebno najprej poiskati rečne odseke z zadostnim energetskega potencialom.

Rečni odsek z zadostnim energetskega potencialom bi lahko izkoristili z izgradnjo mHE Kokra. Orodje za odločanje o optimalnem posegu v prostor in s tem ohranjanje ekološkega stanja vodotoka predstavlja večkriterijska analiza za mHE Kokra. S pomočjo slednje bi poiskali rešitev, ki bi nudila optimalno zasnovo nameravanega posega v prostor in obenem zadostila zahtevam direktiv. MHE Kokra predstavlja poseg v prostor, zato mora biti umeščena v prostorskem aktu Občine Preddvor. Za mHE Kokra prostorski akt še ni sprejet, zato bi ga bilo treba za pridobitev koncesije za izkoriščanje vodotoka spremeniti. Za podporo določanju prostorsko ureditvenih pogojev in izdelavo podrobnega načrta upravljanja Kokre, v katerem bi bila zajeta mnenja in soglasja soglasodajalcev, sem izdelal večkriterijsko analizo za idejno zasnovo za mHE Kokra.

Pred izdelavo večkriterijske analize za mHE Kokra je bilo potrebno določiti še njeno idejno zasnovo. MHE Kokra bo za proizvodnjo električne energije izkoriščala potencialno energijo vodotoka Kokra. Narejena je bila analiza hidrološkega stanja in določena vrednost povprečnega letnega pretoka v sušnem letu, od katerega je odvisna vrednost instaliranega pretoka. Ocenjen energetskega potencial vodotoka znaša 3,08 MW, predvidena letna proizvodnja

električne energije pa 14.023 MWh. Za doseg predvidene letne količine proizvedene električne energije mora biti mHE tehnološko dobro zasnovana, tudi z ozirom na povzročanje minimalnih vplivov na okolje. MHE Kokra bo sestavljalo več objektov.

Vodo iz vodotoka bi odvzemali na zajetju, kjer bodo urejeni jez, odzemno mesto, usedalnik ter objekt za migracijo rib. Za ureditev teh objektov bo rekonstruiran obstoječ jez Virnik. Iz odzemnega mesta bi vodo preko tlačnega cevovoda dovajali v strojnico, kjer bosta postavljena turbina in generator ter ostala elektro oprema. Glede na energetski potencial rečnega odseka je bila izbrana Francisova turbina. Za optimalno delovanje male hidroelektrarne bo iztok iz turbine potopljen. Ker bo hitrost vode na iztočnem delu glede na hitrost vode v strugi večja, bo urejen iztočni del za umiritev vode in njen neškodljiv izpust nazaj v vodotok. S programom Smart Mini-Idro je bila izdelana analiza investicije, ki se ob predvideni proizvodnji električne energije v mHE Kokra povrne v 7,5 letih.

Večkriterijska analiza za mHE Kokra je bila uporabljena za oceno različnih variant nameravanega posega v prostor ter njihovo medsebojno primerjavo. Opravljena je bila s programskim orodjem Sesamo. Glavna kriterija za izdelavo analize sta okoljski cilji in proizvodnja električne energije. Indikatorjem, ki pripadajo določenim kriterijem, so bili določeni vzročni faktorji in vzročne povezave ter uteži. Večkriterijska analiza za mHE Kokra je bila izvedena za dva načina. Pri prvem načinu je bila določena relativna pomembnost za okoljske kriterije 0,7 in za proizvodnjo električne energije 0,3, pri drugem načinu pa 0,6 in 0,4. Skupna vrednost kriterijev predstavlja celoto in znaša 1. Večkriterijska analiza za mHE Kokra za prvi način prikaže nameravan poseg v prostor kot sprejemljiv. V drugem načinu se nameravan poseg v prostor prikaže kot nespremenljiv, zato sta bila spremenjena indikatorja ptice in ribja favna. Indikatorjema je bila pomembnost spremenjena utemeljeno. Indikator ribja favna bi po realizaciji predvidenega posega v prostor še pridobil na vrednosti, saj bi bil na odzemnem mestu urejen objekt za migracijo ribjih populacij, katere trenutni jez Virnik ne omogoča. Po spremembi relativne pomembnosti je bila kot zmagovalna varianta prikazana varianta s predvidenim posegom v prostor.

Pomembno funkcijo pri večkriterijski analizi za mHE imajo uteži (ang. weights), s katerimi določimo relativno medsebojno pomembnost posameznih kriterijev in indikatorjev. Vrednosti

uteži za večkriterijsko analizo mHE Kokra so bile določene subjektivno, z ozirom na vrednosti uteži v testnem primeru večkriterijske analize za reko Chalamy, ki je predmet mednarodnega projekta SHARE (Sustainable Hydropower in Alpine Rivers Ecosystems). V nadaljevanju bi bilo treba določiti metodologijo za določitev relativne pomembnosti posameznih kriterijev in indikatorjev, s čimer bi lahko posameznim kriterijem in indikatorjem določili natančne vrednosti uteži, ki bi izkazovale njihovo relativno pomembnost pri presoji določenega posega v prostor, na določenem območju. Ker je Kokra, tako kot Chalamy, alpski vodotok, predvidevamo, da so vrednosti uteži v večkriterijski analizi za mHE Kokra, določene ustrezno.

Večkriterijska analiza za mHE Kokra je pokazala, da bi bil z izbranimi vrednostmi uteži, predviden poseg v prostor, tako z vidika ohranjanja dobrega stanja vodotokov kot proizvodnje električne energije, ustrezen. Z ohranitvijo kakovostnega stanja vodotoka Kokra bi zadostili zahtevam Vodne direktive, z novimi količinami proizvedene električne energije iz obnovljivih virov energije pa Direktivi 2009/28/ES. Gradnja mHE Kokra je zato upravičena tako iz okoljskega kot z energetskega vidika. S tem je utemeljena pobuda za spremembo Občinskega prostorskega načrta in realizacijo nameravanega posega v prostor.

VIRI

Alterach, J., Paviani, M. 2009. SMART MINI-IDRO User Guide (version 01). ENEA-Ricerca sul Sistema Elettrico: 30 str.

Brambilla, C. 2010. SESAMO: a tool for MCA implementation. Graz. SHARE Sustainable Hydropower in Apline Rivers Ecosystem.

Brilly, M., Šraj, M. 2000. Osnove hidrologije. Univerzitetni učbenik. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 234 str.

ESHA. 2004. Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant. Brussels. Comission of the European Communities, Directorate General for Energy: 290 str.

Globevnik, L. 1998. Načrt urejanja povodja, vodnogospodarsko načrtovanje v okvirih približevanja Evropski skupnosti: načrt urejanja povodja Kokre: šopek kapljic za vsakogar. Ljubljana. Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za varstvi narave: 103 str.

Globevnik, L. 2006. Nacionalno poročilo o izvajanju vodne direktive v letu 2006. Ljubljana. Inštitut za vode Republike Slovenije: 47 str.

Kozelj, D. 2005. Umerjanje hidravličnega modela cevovodnega omrežja z uporabo genetskih algoritmov. Diplomaska naloga. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 95 f.

Krajčič, D., Klemenčič, T. 2008. Upravljanje območij Natura 2000. Maribor. Zbornik referatov, 19. Mišičev vodarski dan, Vodnogospodarski biro, str: 98-102

Mikoš, M. 2000. Urejanje vodotokov: skripta, verzija 01. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko: 182 str.

Mochet, A. M. 2010. A specific example off MCA application to the SHARE project: the Challamy river (Aosta Valley, Itally). Graz: 69 str.

Mrak, S. 2009. Alternativni viri požarne zaščite. Seminar naloga. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 77 str. f.

Rauch, M. 2005. Gozd in obvodna drevnina v obrežnem pasu spodnjega toka Kokre II. Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 93 str.

SHARE Sustainable Hydropower in Alpine Rivers Ecosystems. 2010. Chalamy river indicators database for MCA. Graz. ARPA Valle d'Aosta: 54 str.

Steinman, F. 1999. Hidravlika. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin: 295 str.

Šantl, S. 2010. Slovenska zakonodaja, pristojnosti in postopki na področju izrabe vodne energije – Draft verzija. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 7 str.

Šolc, L. 1981. Zgradimo majhno hidroelektrarno 1. del: Moč dajeta padec in pretok vode, 2. del: Napeljava vode. Ljubljana. Zveza organizacij za tehnično kulturo Slovenije: 61 str.

Šolc, L. 1983. Zgradimo majhno hidroelektrarno 3. del: Turbine in pomožna oprema. Ljubljana. Zveza organizacij za tehnično kulturo Slovenije: 111 str.

Toplak, D. 2009. Investicijski program: Mala hidroelektrarna Lovrenc. Celje. Top-Fit d.o.o.: 54 str.

Urbanič, G., Toman, J. M. 2003. Varstvo celinskih voda. Ljubljana. Študentska založba: 94 str.

ZAKONI IN PRAVILNIKI

Direktiva o ohranjanju naravnih habitatov ter prosto živečih živalskih in rastlinskih vrst
92/43/EGS

Direktiva o pticah 79/409/EG

Direktiva o spodbujanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov energije na notranjem trgu z električno energijo 2001/77/ES

Vodna direktiva 2000/66/ES

Energetski zakon Ur. l. RS, št. 27-3549/2007

Zakon o graditvi objektov Ur. l. RS, št. 102-12538/2004

Zakon o ohranjanju narave Ur. l. RS, št. 41-11541/2004

Zakon o prostorskem načrtovanju Ur. l. RS št. 33-4585/2007

Zakon o varstvu okolja Ur. l. RS, št. 41-4818/2004

Zakon o vodah Ur. l. RS, št. 67-7648/2002

Uredba o habitatnih tipih Ur. l št. 112-15406/2003

Uredba o izdajanju potrdil o izvoru električne energije Ur. l. RS, št. 121-14111/2005

Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije Ur. l. RS, št. 37-5248/2009

Uredba o pogojih za pridobitev statusa kvalificiranega proizvajalca električne energije Ur. l. RS, št. 29-3118/2001

Uredba o pravilih za določitev cen in za odkup električne energije od kvalificiranih proizvajalcev električne energije Ur. l. RS, št. 37-5248/2009

Uredba o vrstah objektov glede na zahtevnost Ur. l. RS, št. 37-3789/2008

Uredba o zavarovanih prosto živečih rastlinskih vrstah UL RS št. 46- 5933/2004

Uredba o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka Ur. l. RS, št. 97-12919/2009

Uredba o začasnem načrtu upravljanja voda Ur. l. RS, št. 4/-3052009

Pravilnik o projektni dokumentaciji Ur. L. RS, št. 66-8247/2004

Pravilnik o gradbiščih Ur. L. RS, št. 55-5987/2008

Sklep o določitvi prispevka za zagotavljanje podpor proizvodnji električne energije v
soproizvodnji z visokim izkoristkom in iz obnovljivih virov Ur. L. RS, št. 8-620/2009

Začasni načrt upravljanja voda, 2010

http://www.mop.gov.si/si/delovna_podrocja/direktorat_za_okolje/sektor_za_vode/zacasni_na_crt_upravljanja_voda_opisni_in_kartografski_del/ (2.4.2010)

SPLETNI VIRI

Akcijski načrt za obnovljive vire energije za obdobje 2010-2020 (AN OVE) Slovenija

http://www.mg.gov.si/fileadmin/mg.gov.si/pageuploads/Energetika/Porocila/AN_OVE_2010-2020_final.pdf (1. 9. 2010)

Bernard Forest de Bélidor

http://en.wikipedia.org/wiki/Bernard_Forest_de_B%C3%A9lidor (26. 9. 2009)

Boero, F. 2007. Macrodescriptors: looking at simplicity to understand complexity. Lecce.
DiSTeBA, Università del Salento

<http://www.hmap-medbs-summerschool2009.org/papers/macrodescriptors.pdf> (25. 8. 2010)

Daljnovid

http://www.delo.si/assets/media/picture/20091111/sz5_daljnovodi1.jpg (13. 4. 2010)

Die Geschichte der Wasserkraft

<http://www.rs-saarburg.bildung-rp.de/MN/Wasserkraft/home.htm>, (30. 6. 2009)

ESHA: mHE na globalni ravni, (21. 6. 2010)

<http://www.esha.be/index.php?id=13>

ESHA: mHE v Evropi, (21. 6. 2010)

<http://www.esha.be/index.php?id=43>

ESHA: mHE v številkah, (21. 6. 2010)

<http://www.esha.be/index.php?id=50>

ESHA: mHE in okolje, (21. 6. 2010)

<http://www.esha.be/index.php?id=71>

Fitobentos

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Fitobentos> (30. 8. 2009)

Generator 1

<http://visual.merriam-webster.com/images/energy/hydroelectricity/generator-unit/generator-unit.jpg> (13. 4. 2010)

Generator 2

http://www2.arnes.si/~kkovac6/MATERIALI/ro.zrsss.si/_puncer/elektrika/slike/generator.gif
(13. 4. 2010)

Geschichte der Wasserkraft:

http://pluslucis.univie.ac.at/FBA/FBA00/wallner/p06_9.htm, (30. 6. 2009)

Greenpeace,

http://www.mg.gov.si/fileadmin/mg.gov.si/pageuploads/Energetika/Zelena_knjiga_NEP_2009/ZK_Greenpeace_Umanotera.pdf (21.3. 2010)

Hydro electric power

http://sun.menloschool.org/~dspence/arda/chem_project/web_kornberg/hydro1.htm
(2.4.2010)

Hydroelectricity:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Hydroelectricity> (5.4.2010)

Hydrologic cycle

http://en.wikivisual.com/images/9/94/Water_cycle.png (2. 4. 2010)

How hydroplant work:

<http://unilinet.unila.ac.id/~plgsekip/bit/How%20Hydropower%20Plants%20Work.doc>

(5. 4. 2010)

How Hydropower Plants Work

<http://science.howstuffworks.com/hydropower-plant1.htm>; (26. 9. 2009)

Letni energetski pregled za leto 2007:

http://www.mg.gov.si/fileadmin/mg.gov.si/pageuploads/Energetika/Porocila/LEP_2007.pdf

(2.4.2010)

Makrofiti

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Makrofiti> (30. 8. 2009)

Natura 2000:

<http://www.natura2000.gov.si/> (19. 3. 2010)

SENG: male HE

http://www.seng.si/galerija/male_he/2008100808493829/ (2. 4. 2010)

SSKJ

<http://bos.zrc-sazu.si/sskj.html> (2. 8. 2010)

Predlog direktive o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0019:FIN:SL:PDF>

(19. 3. 2010)

Poročilo Republike Slovenije Evropski Komisiji o implementaciji Direktive 2001/77/ES

Evropskega parlamenta in Sveta o spodbujanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov energije. Ljubljana, 2006, Ministrstvo za gospodarstvo, Direktorat za energijo,

http://www.mg.gov.si/fileadmin/mg.gov.si/pageuploads/Energetika/OVE_-porocilo_RS.pdf,

(2. 4. 2010)

Program upravljanja območij Natura 2000:

http://www.natura2000.gov.si/uploads/tx_library/OP_Natura_2000-SLO.pdf (19.3.2010)

Prostorski informacijski sistem: Občina Preddvor

<http://www.geoprostor.net/piso/ewmap.asp?obcina=PREDDVOR> (13. 4. 2010)

Transformator

<http://www.hasenergo.cz/english/images/transformator.jpg> (13. 4. 2010)

Steinman, F., Banovec, P. 2008. Hidrotehnika Vodne zgradbe I. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin: 147 str.

http://www.fgg.uni-lj.si/KMTe/documents/academic/skripta/Hidrotehnika_sept.2008.pdf
(2. 9. 2010)

The CH₂OICE project, 10.8.2009

http://www.esha.be/uploads/media/CH2OICE_Newsletter1_01.pdf,

Turbine

http://www1.eere.energy.gov/windandhydro/hydro_turbine_types.html (26. 9. 2009)

<http://www.dem.si/slo/elektrarneinproizvodnja/kakonastaneelektricnaenergija> (26. 9. 2009)

Umanotera

http://www.umanotera.org/upload/files/3. Trajnostna_energetika.pdf, (25. 3. 2010)

Vrste hidroelektrarn

<http://www.dem.si/slo/elektrarneinproizvodnja/kakonastaneelektricnaenergija> (30. 6. 2009)

Watermill

<http://en.wikipedia.org/wiki/Watermill> (26. 9. 2009)

Zveza društev mHE Slovenije

<http://www.zdmhe.si/si/za-graditelje/index.html> (6. 1. 2009)

OSTALI VIRI

Mammoliti, A. M. 2010. The MCA applied he to the SHARE project. Graz. SHARE Sustainable Hydropower in Apline Rivers Ecosystem.

Maran, S. 2010. Methodological description of the clasic MCA application. Graz. SHARE Sustainable Hydropower in Apline Rivers Ecosystem.

Mrak, S. 2009, 2010. Lastne fotografije