



Trajnostni razvoj hidrologije slovenskih gorskih rek

Drago Papler
Štefan Bojnec



Znanstvene monografije
Fakultete za management

Glavni urednik
Matjaž Novak

Uredniški odbor
Ana Arzenšek
Štefan Bojnec
Dubravka Celinšek
Armand Faganel
Viktorija Florjančič
Borut Kodrič
Suzana Laporšek
Mirko Markič
Franko Milost
Matjaž Nahtigal
Mitja Ruzzier



Trajnostni razvoj hidrologije slovenskih gorskih rek

Drago Papler
Štefan Bojnec



*Trajnostni razvoj hidrologije
slovenskih gorskih rek*
Drago Papler
Štefan Bojnec

*Recenzenta · Martin Pavlovic in Črtomir Rozman
Lektoriranje in tehnična ureditev · Davorin Dukič
Fotografija na naslovnici · Alen Ježovnik*

*Izdala in založila · Založba Univerze na Primorskem
Titov trg 4, 6000 Koper · www.hippocampus.si
Glavni urednik · Jonatan Vinkler
Vodja založbe · Alen Ježovnik
Koper, 2022*

© 2022 Drago Papler in Štefan Bojnec

<https://www.hippocampus.si/ISBN/978-961-293-199-5.pdf>
<https://www.hippocampus.si/ISBN/978-961-293-200-8/index.html>
<https://doi.org/10.26493/978-961-293-199-5>

*Izid monografije je finančno podprla Javna agencija
za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije iz sredstev
državnega proračuna iz naslova razpisa
za sofinanciranje znanstvenih monografij*



Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili
v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani

COBISS.SI-ID 145984003
ISBN 978-961-293-199-5 (pdf)
ISBN 978-961-293-200-8 (html)

Vsebina

- 9 **Slike**
- 11 **Preglednice**
- 13 **Uvod**
- 14 Vodna energija in Alpe
- 14 Raba vodne energije in vplivi na okolje
- 15 Različni tipi hidroelektrarn
- 17 Proizvodnja in trg električne energije
- 17 Zelene blagovne znamke
- 17 Zanesljivost in kakovost oskrbe z električno energijo
- 19 **Preučevanje hidroproizvodnje električne energije**
- 19 Vplivni dejavniki
- 19 Metodologija
- 20 Analiza tabelaričnih podatkov
- 25 Okoljski prihranki hidroelektrarn
- 27 **Hidroproizvodnja med naravnim, tehnološkim in poslovnim okoljem**
- 27 Velike hidroelektrarne na treh slovenskih rekah
- 27 Struktura proizvodnih virov
- 28 Metodologija in podatki
- 28 Dosedanje raziskave
- 29 Ocenjevanje z multivariatnimi statističnimi analizami
- 30 Producerska funkcija
- 31 Prihodkovna funkcija
- 31 Podatki in omejitve
- 31 Opisne statistike

- 31 Izbrane hidroelektrarne na Dravi, Savi in Soči
- 35 Proizvodnja električne energije
- 38 Sezonskost proizvodnje hidroelektrarn
- 39 Povezanost dejavnikov tehnološkega razvoja in človeških virov
- 41 Empirični rezultati regresijske analize
- 41 Rezultati proizvodne funkcije instalirane moči in dotokov vode
- 43 HE Solkan
- 44 Rezultati proizvodne funkcije instalirane moči na zaposlenega
- 45 Ključni parametri

- 47 **Obratovanje in vzdrževanje hidroelektrarne**
- 47 Izkoriščanje energetskega potenciala na vodotokih
- 48 Vzdrževanje hidroelektrarne
- 50 Analiza proizvodnje električne energije
- 52 Obratovalna pripravljenost

- 55 **Analiza učinkov prenove akumulacijske hidroelektrarne**
- 55 Vodni energetski potencial gorskega vodotoka
- 56 Predvideni učinki investicije
- 56 Vršna energija
- 57 Obratovanje proizvodnje
- 57 Naložba v prenovo akumulacijske hidroelektrarne
- 57 Financiranje naložbe
- 58 Ekonomski kazalniki naložbe
- 63 Analiza proizvodnih učinkov
- 66 Zmanjševanje obremenjenosti okolja in varnost obratovanja

- 67 **Monitoring, diagnostika in analitika v funkciji obratovanja in vzdrževanja hidroelektrarne**
- 68 Upravljanje z energijo
- 68 Metoda dela
- 69 Ciljno spremljanje proizvodnje električne energije
- 69 Ciljno spremljanje proizvodnje električne energije
- 69 Kvantitativne statistične metode
- 70 Proizvodnja električne energije
- 70 Instalirana moč
- 72 Struktura proizvodnih virov
- 74 Obratovalne ure
- 77 Korelacijska analiza
- 77 Regresijska analiza
- 78 Izboljšanje procesov

- 79 **Model večkriterijske analize DEXi za vzdrževanje malih hidroelektrarn**
- 80 Uvod
- 80 Odločitveni problem

81	Identifikacija problema
81	Identifikacija alternativ
82	Metode dela
82	Vhodni podatki
82	Struktura modela
83	Vrednotenje, analiza in izbira alternativ
83	Izhodiščno vrednotenje z metodo Kepner-Tregoe
84	Analiza tveganja »kaj če«
84	Večkriterijska analiza s programskim sistemom DEXi
85	Struktura modela
86	Merske lestvice in zaloge vrednosti parametrov
86	Funkcije koristnosti
87	Rezultati
87	Metoda Kepner-Tregoe
87	Analiza »kaj če« pri metodi Kepner-Tregoe
87	Rezultati z uporabo programa DEXi
94	Analiza občutljivosti razvitega modela »kaj če« pri uporabi orodja DEXi
95	Razprava
95	Ugotovitve predhodnih analiz
95	Ugotovitve analize DEXi
96	Simulacijski model
97	Okoljska varnost in osveščanje
98	Uvod
98	Politika razvoja obnovljivih virov energije
100	Cilji raziskave in razvoj hipotez
101	Metodologija in podatki
101	Metodologija
102	Podatki o anketirancih
103	Opisna statistika
106	Regresijska analiza
106	Testiranje podhipoteze H _{1.1}
107	Testiranje podhipoteze H _{1.2}
107	Testiranje podhipoteze H _{1.3}
108	Testiranje podhipoteze H _{1.4}
110	Opisna statistika
112	Faktorska analiza
115	Trajnostni razvoj kot razmerje med proizvodnjo električne energije, zagotavljanjem dohodka in ohranitvijo okolja
119	Sklep
121	Povzetek
125	Summary

129 Literatura

139 Recenziji

Slike

- 22 Slika 1: Povprečna mesečna proizvodnja električne energije po petletnih obdobjih (MWh)
- 24 Slika 2: Korelacija med proizvodnjo električne energije in pretokom vode, HE Savica (MWh)
- 25 Slika 3: Proizvodnja električne energije v HE Savica (MWh) s prikazom prihrankov premoga (t) in emisij CO₂ (kt).
- 33 Slika 4: Proizvodnja električne energije HE Moste v obdobju 1952–2017
- 35 Slika 5: Povprečna mesečna proizvodnja električne energije po petletnih obdobjih (MWh)
- 36 Slika 6: Povprečna mesečna proizvodnja električne energije HE Moste v obdobju 2001–2017 (MWh)
- 37 Slika 7: Proizvodnja električne energije HE Dobljar 1 v obdobju 2011–2017 (MWh)
- 37 Slika 8: Proizvodnja električne energije HE Solkan v obdobju 2001–2017 (MWh)
- 38 Slika 9: Povprečna mesečna proizvodnja električne energije v HE Fala, HE Dobljar 1 in HE Solkan (MWh)
- 39 Slika 10: Delež povprečne mesečne proizvodnje električne energije v HE Fala, HE Dobljar 1 in HE Solkan (MWh)
- 40 Slika 11: Instalirana moč agregatov in število zaposlenih v HE Moste v obdobju 1945–2017 (MWh)
- 40 Slika 12: Instalirana moč agregatov na zaposlenega v HE Moste v obdobju 1945–2017
- 41 Slika 13: Proizvedena električne energije na zaposlenega v HE Moste v obdobju 1945–2017
- 49 Slika 14: Delež ur vzdrževanja HE glede na povprečje
- 51 Slika 15: Indeks s stalno osnovo primerjave plana proizvodnje za HE Zvirče (It = 100) z letoma 2010 2014 (izvedba investicije junij, julij) (MWh)
- 52 Slika 16: Indeks s stalno osnovo primerjave plana proizvodnje za HE Zvirče (It = 100) z ekstremnima letoma 2011 (min – slaba hidrologija) in letom 2013 (maks. – dobra hidrologija)

- 52 Slika 17: Primerjava plana in dejanske proizvodnje električne energije HE Zvirče v letu 2014 (MWh)
- 59 Slika 18: Skupni denarni tok in likvidnost projekta HE Lomščica
- 60 Slika 19: Realni denarni tok in doba vračanja investicije HE Lomščica
- 64 Slika 20: Proizvodnja električne energije HE Lomščica v obdobju 1993–2014
- 64 Slika 21: Delež HE Lomščica v skupni proizvodnji hidroelektrarn in vseh proizvodnih virov podjetja Gorenjske elektrarne (GE) (%)
- 65 Slika 22: Mesečna proizvodnja električne energije HE Lomščica od rekonstrukcije zajetja leta 2007 do konca leta 2014 (MWh)
- 65 Slika 23: Delež mesečne proizvodnje HE Lomščica od rekonstrukcije zajetja leta 2007 do konca leta 2014 (%)
- 70 Slika 24: SCADA Gorenjskih elektrarn, ciljne vrednosti HE, 22. 9. 2017
- 71 Slika 25: Histogram HE Lomščica v času poplav oktober 2018
- 72 Slika 26: Sezonskost proizvodnje glede na vrsto elektrarn za posamezni mesec leta 3 (2017)
- 73 Slika 27: Sezonskost proizvodnje glede na vrsto elektrarn za posamezni mesec leta 4 (2018)
- 75 Slika 28: Obratovalne ure HE po porečjih v obdobju 2014–2018
- 76 Slika 29: Analiza obratovalnih dogodkov HE Lomščica v letu 2018 (%)
- 77 Slika 30: Analiza obratovalnih dogodkov HE Lomščica v obdobju 2015–2018 (%)
- 86 Slika 31: Zaloge vrednosti po kriterijih
- 87 Slika 32: Odločitvena pravila za poddrevo učinkovitost
- 88 Slika 33: Tehnični, ekonomski in okoljski učinki za štiri variante
- 89 Slika 34: Končna ocena učinkov hidroelektrarn
- 89 Slika 35: Tehnični vidik
- 90 Slika 36: Naravni dejavniki
- 90 Slika 37: Ekonomski vidik
- 91 Slika 38: Razvojni kazalci
- 91 Slika 39: Obratovalni stroški
- 92 Slika 40: Stroški dela
- 92 Slika 41: Stroški dela in obratovalni stroški za HE
- 93 Slika 42: Potek revizije hidroelektrarne
- 94 Slika 43: Stroški dela in razvojni kazalci za HE
- 95 Slika 44: Razvojni kazalci in ekonomika za HE
- 109 Slika 45: Model ekološke varnosti pri izgradnji hidroelektrarne

Preglednice

- 21 Preglednica 1: Odločitveno drevo ID₃ s klasifikacijskimi pravili na študiji primera Gorenjskih elektram
- 23 Preglednica 2: Producerska funkcija s pretokom vode, padavinami in z inštalirano močjo HE Savica, 1993–2006
- 24 Preglednica 3: Producerska funkcija s pretokom vode, padavinami in temperaturo HE Savica, 1993–2006
- 35 Preglednica 4: Statistična analiza letne proizvodnje električne energije HE Fala, HE Moste, HE Dobljar in HE Solkan
- 42 Preglednica 5: Producerska funkcija proizvodnje HE Moste
- 43 Preglednica 6: Producerska funkcija proizvodnje HE Fala
- 43 Preglednica 7: Producerska funkcija proizvodnje HE Dobljar I
- 44 Preglednica 8: Producerska funkcija proizvodnje HE Solkan
- 45 Preglednica 9: Producerska funkcija proizvodnje HE Moste na zaposlenega
- 47 Preglednica 10: Delež proizvodnje električne energije iz proizvodnih virov podjetja Gorenjske elektrarne
- 51 Preglednica 11: Delež mesečne proizvodnje v posameznem letu obratovanja HE Zvirče
- 58 Preglednica 12: Struktura stroškov prenove zajetja akumulacijske HE Lomščica
- 61 Preglednica 13: Ekonomski kazalci prenove HE Lomščica
- 61 Preglednica 14: Popravljeni ekonomski kazalci učinkov z upoštevanjem dejanske proizvodnje do leta 2014
- 74 Preglednica 15: Obratovalne ure HE po porečjih v obdobju petih zaporednih let (2014–2018)
- 75 Preglednica 16: Analiza obratovalnih dogodkov HE Lomščica v obdobju štirih zaporednih let v urah (2015–2018)
- 76 Preglednica 17: Analiza obratovalnih dogodkov HE Lomščica v obdobju štirih zaporednih let (2015–2018) (v %)

- 78** Preglednica 18: Regresijska analiza hidroelektrarn v porečju Tržiške Bistrice
- 103** Preglednica 19: Strukture anketirancev po spolu, starosti in izobrazbi
- 104** Preglednica 20: Aritmetična sredina spremenljivk o hidroelektrarnah
- 106** Preglednica 21: Regresijska analiza gradnje hidroelektrarn v prostoru
- 107** Preglednica 22: Regresijska analiza zagotavljanja monitoringa ekoloških meritev
- 108** Preglednica 23: Regresijska analiza poznavanja in ozaveščanja
- 109** Preglednica 24: Regresijska analiza ekoloških zahtev projekta
- 110** Preglednica 25: Pearsonov korelacijski koeficient med spremenljivkama
- 114** Preglednica 26: Metoda največjega verjetja z rotacijsko metodo Varimax s Kaiserjevo normalizacijo – pravokotna rotacija

Uvod

V Sloveniji je kar 97 % vodnih virov pitne vode povezanih s podzemno vodo, le 3 % pa s površinsko. Kaj nam to pravzaprav pove o ogroženosti virov pitne vode, ko ugotavljamo, da so trije od 21 podzemnih vodnih virov v slabem stanju? Imamo nekaj visoko ogroženih površinskih voda, ki se stekajo v podzemne vode. Pomembna obremenitev zaradi onesnaževanja vode je namreč prisotna kar na 135 od skupno 155 površinskih vodnih teles, kar za dolgoročno ohranjanje virov pitne vode lahko pomeni, da v prihodnosti ne bomo mogli zagotoviti, da bi za oskrbo s pitno vodo uporabljali iste vodne vire, kot jih uporabljamo danes.

Človek je s svojo dejavnostjo, z rabo naravnih virov in vse več odpadki v zadnjih 100 letih močno vplival na naravo ter okolje. Izgradnja hidroelektrarn, ki iz energije vode proizvajajo električno energijo, je poseg v okolje, ki zahteva ureditev infrastrukture in uvedbo omilitvenih ukrepov ter drugih ureditev za varstvo narave pri izgradnji hidroenergetskih proizvodnih objektov.

Voda je danes najpomembnejši strateški izziv za človekov razvoj in za ohranitev našega planeta ter v tem smislu tudi umeščena v prihodnji razvoj družbe, celostno upravljanje voda pa je postavljeno pred nove izzive na vseh ravneh integracije in upravljanja voda.

Hydroenergija je najpomembnejši obnovljivi vir energije, med katere spadajo še sončna energija, energija vetra, bioenergija (lesna biomasa, bioplin, deponijski plin), geotermalna energija, plimovanje in oceanska termika.

Energijo vode človek izkorišča že tisočletja – najprej v mlinih, nato pa še na žagah na vodni pogon. Osnovna zamisel je vodi odvzeti energijo, ki

jo ima zaradi svojega padca, in jo pretvoriti v mehansko, to pa v električno. Objekte, v katerih se potencialna energija vode pretvarja v električno, imenujemo hidroelektrarne. Hidroelektrarne izkoriščajo kroženje vode v naravi.

Hidroelektrarne ne kvarijo zraka in vode, kar je za ohranitev naravnega okolja zelo pomembno. Kot vse druge oblike energije ima tudi ta prednosti in slabosti. Vodna energija zmanjšuje emisije plinov, ki povzročajo toplo gredo, za 10 %. Omogoča tudi učinkovitejše namakanje, preprečuje poplave itd.

Hidroelektrarne vplivajo na rastlinski in živalski svet v bližnji okolici. Izgubijo se obdelovalna tla, zniža se vsebnost kisika v vodi itd. Izkoristek hidroelektrarn je od 85 do 95%.

Glede na padec vode poznamo več vrst hidroelektrarn: nizkotlačne (padec pod 25 m), srednjetačne (padec od 25 do 200 m) in visokotlačne (padec nad 200 m).

Glede na način izkoriščanja vode so pretočne hidroelektrarne tiste, pri katerih voda skozi turbino teče brez zadrževanja, presežek vode pa neizkoriščen odteka prek jezua. Delujejo kot stalne elektrarne; akumulacijske elektrarne so tiste, pri katerih se del vode akumulira. Izkoriščamo jih v času povečanega povpraševanja, ko se povpraševanje zmanjša, pa vodo shranjujemo.

Vodna energija in Alpe

Vodna energija sodi k obnovljivim virom energije. Njena raba ne povzroča emisij in nima škodljivih vplivov na podnebje. Poleg tega je tovrstna proizvodnja velikih količin energije stroškovno sorazmerno ugodna. Več hočejo tisti, ki so okoljsko osveščeni, kajti posledica rabe vodne energije so velike hidrološke spremembe in grobi posegi v sisteme površinskih vodotokov. Priče smo lahko nepovratnemu uničenju celotnih naravnih ekosistemov in prav v Alpah je gradnja hidroelektrarn uničila že marsikatero naravno ter sonaravno krajino.

V Alpah energijo proizvajajo večinoma iz vodne energije. Količina padavin je na tem območju velika, saj se padavinske vode kopičijo v ledenikih. Tudi značilnosti zemeljskega površja Alp nudijo ugodne pogoje za rabo vodne energije. Alpe so evropski zbiralnik energije in vode.

Raba vodne energije in vplivi na okolje

Količina vode kot primarnega energetskega vira niha glede na različna letna obdobja, odvisna je od vremena in jo zaradi tega lahko predvidimo le v

omejenem obsegu. Poleg tega povpraševanje in maksimalna proizvodnja časovno ne sovpadata. Proizvodnja pretočnih elektrarn je tako največja poleti, torej v času, ko je povpraševanje po električni energiji najmanjše.

Zaradi izkoriščanja vodne energije je človek pogostokrat skoraj popolnoma izsušil potoke in reke, ker je vodo preusmeril na vodne turbine. Posledica tega sta nižanje gladine vode ter izguba življenjskih prostorov in drstišč v vodotokih. Prav tako se izgublja pestrost vegetacije, ki je značilna za obvodne loke. Na odsekih vodotokov, po katerih odteka preostala ali odvečna voda, se spreminja tudi odtočni režim, ki postane odvisen samo še od proizvodnje električne energije in ne več od naravnih pojavov, kot so npr. taljenje snega, padavine ali suša.

Hydroenergetski objekti ovirajo tudi migriranje rib – posledica tega je izolacija ribje populacije. Ribe na svojih selitvenih poteh zaidejo v rešetke in turbine ter se poškodujejo. Prav tako prihaja do sprememb in motenega poteka rečne dinamike ter s tem transportne sposobnosti prodnega nanosa. Količine materiala, ki ga prenaša voda, se kopičijo, v zajezenih tokovih se pogosto nalaga mulj, to pa uničuje življenjske prostore drugih živih bitij. Pri gnitju mulja v vodi nastajata metan in ogljikov dioksid. Obratovanje hidroenergetskih naprav povzroča tudi nihanja globine vode, pretoka in temperature.

Zaradi zajezitve in kanaliziranja je reka ločena od svojih prvotnih stranskih vodotokov in poplavnih površin. Nekatere vrste rib izgubljajo svoj življenjski prostor, uničuje se tesno prepreden sistem vodnih tokov (Haubner 2002).

Različni tipi hidroelektrarn

Hidroelektrarne pretočnega tipa, pri katerih turbine poganjajo tekoče vode, obratujejo stalno in pokrivajo osnovne potrebe po električni energiji. Količina proizvedene električne energije v hidroelektrarnah je odvisna od vodostaja reke, ki je spomladi in poleti večji kot v zimskem času. Podobno kot akumulacijske tudi pretočne elektrarne negativno vplivajo na naravne selitvene poti ribje populacije in drugih živali, ki živijo v vodnih biotopih. T. i. ribje lestve lahko sicer povečajo prehodnost jezovnih pregrad, vendar pa to za določene vrste rib ne pride v poštev. Ribe lahko zaidejo v turbine, ki jih poškodujejo in zmečkajo. Prehodnost odseka odvečne oz. preostale vode je odvisna od minimalne količine (dotacijske) vode, ki jo določa zakon. Na posameznih delih daljših zajezenih odsekov vodovoda pa so temperature tudi višje, večja pa je tudi sedimentacija trdnih snovi.

Za povečanje proizvodnje električne energije se povečuje višina padca vode, pogostokrat poglobljajo dno vodotokov pod pregradnim jezom. Zaradi močno zmanjšanega padca rečnega dna se znatno spremenijo tudi odtočne lastnosti vodotoka. Zajezitev vodotokov vpliva na nastajanje oz. preprečevanje visokih voda, zaradi česar se usedline odlagajo na dno vodotokov. Vsebnost kisika v vodi je vedno manjša. Drobnejše usedline se kopičijo v votlih delih peščenega sloja, kjer se v ekološko neokrnjenih rekah razvijajo zgodnje oblike številnih vodnih živali, npr. jajčeca in zalega številnih ribjih vrst ali pa jajčeca in ličinke insektov. Biotska raznolikost je veliko manjša tudi zaradi izginjanja organizmov, ki so značilni za tekoče vode, npr. ličinke enodnevnih, vrbnic in mladoletnic, kakor tudi reofilnih biocenoz oz. tistih ribjih vrst, ki so se prilagodile hitrotekoči vodi.

16

Akumulacijske elektrarne za pogon vodnih turbin izkoriščajo energijo vode, ki se zbira v zajezitvenem jezeru, zato sta potrebna velik padec vode in visok tlak. Akumulacijske elektrarne so namenjene pokrivanju porabe vršne energije v opoldanskem času in pozimi – obratovati lahko začnejo že v nekaj minutah. Akumulacije so lahko dnevne, tedenske in letne. Zaradi takega načina obratovanja je v vodotokih v zimskem času nenadoma več vode, kot je to običajno spomladi in poleti, čez dan pa gladina (spodnja in zgornja raven vode) močno niha. Vsemu temu bi morali biti kos organizmi, ki živijo v vodi; posledici tega sta lahko zmanjšanje populacije ter spreminjanje števila posameznih rastlinskih in živalskih vrst. Zaradi nihanja vodne gladine (med nizko in visoko vodo) v zbiralnih jezerih obrežna vegetacija nima več osnovnih pogojev za življenje. Preobrazba tekočih voda v mirujoča akumulacijska jezera negativno vpliva na selitve ribje populacije in drugih vodnih organizmov. Ovire pri tem so dolinske pregrade pa tudi odseki odvečne vode med zajetjem vode in iztoki, ki vodo odvedejo nazaj v strugo reke. Prehodnost je tudi tukaj odvisna od količine dotacijske vode.

Nezadostne količine odvečne vode vplivajo na težave pri ribji populaciji, kot so npr. drstišča, in izgubo teh biotopov. Življenjski cikel ribje populacije je prekinjen, celotni odseki ne nudijo več osnovnih pogojev za naselitev vrst. To pa negativno vpliva tudi na loke in obmejna področja med vodnim ter kopnim svetom, ki so redno poplavljeni. Vrste, ki naseljujejo te predele in so odvisne od tamkajšnjih sezonsko pogojenih odtočnih značilnosti, izginjajo iz prizadetih odsekov vodotokov. Zaradi močno zmanjšane dinamike na območju jezusa se v vedno večjih količinah kopičijo drobni delci. Spiranje zbiralnega prostora zaradi odstranitve nakopičenih drobnih delcev v zbiralnem bazenu prinaša s seboj negativne vplive

na okolje: močno kalnost vode in odlaganje peska nizvodno v rečnih tokovih (Haubner 2002).

Proizvodnja in trg električne energije

Zaradi liberalizacije trga z električno energijo in preko tržnih struktur narašča konkurenca tudi na področju proizvodnje električne energije. Posledice so različne oblike, ki so zaradi privlačne zunanje podobe zelo učinkovite in prilagojene določenim ciljnim skupinam. Največkrat ponudba podjetij za oskrbo z električno energijo predstavlja nekakšno »mešanico«, ki jo sestavlja tudi zelena elektrika iz obnovljivih virov energije. Predpostavljamo, da je proizvedena električna energija iz vodne elektrarne »čista zelena energija«.

Zelene blagovne znamke

Odjemalci lahko izbirajo med različnimi ponudniki, a tudi med različnimi proizvodi z vidika proizvodnih virov. Certificiranje »zelenih energij« in ekološkega označevanja zelene elektrike mora zagotavljati verodostojnost tehnologije in izdelka ter s tem osvojiti in obdržati zaupanje potrošnikov. Potrebni sta preglednost trga in možnost primerjave med različnimi ponudbami, v katerih so v deležih ali v celoti zastopani produkti različnih hidroenergetskih objektov ter omogočena poštena konkurenca. Potrošnikom se vse te informacije s pomočjo postopka certificiranja posredujejo preprosto, jasno in pregledno.

Trg z električno energijo je postal živahen, z njim pa tudi zahteve z ekonomskega in ekološkega vidika, ki jih morajo izpolnjevati proizvajalci in njihovi proizvodi. Proizvodnja električne energije, tudi tiste iz obnovljivih virov energije, je izraz nekega kompromisa. Okolja ne obremenjujejo samo hidroenergetski objekti, katerih izgradnja posega v ekosisteme, temveč tudi termoelektrarne, jedrske elektrarne in sončne elektrarne, ko električno energijo zbirajo v velikih zbiralnikih, ki povzročajo velike težave pri odstranjevanju odpadnih snovi po zaključku proizvodnje.

Za najbolj ekološko električno energijo še vedno velja hidroenergija, ki še ni dovolj izkoriščena; kompromis pri rabi vodne energije istočasno pomeni tudi varovanje vode.

Zanesljivost in kakovost oskrbe z električno energijo

Ob ekološkem zavedanju je treba ponujati rešitve in doseči kompromise za zagotovitev zanesljive ter kakovostne električne energije. Pomembno je zagotoviti stabilnost oskrbe z električno energijo v vseh letnih

časih, ko se spreminja in zaradi naravnih zakonitosti sezonskosti ter podnebnih dejavnikov niha proizvodnja iz obnovljivih virov energije. Značilnosti alpskih rek v Sloveniji je večja hidrologija v spomladanskem in jesenskem obdobju, sončno obsevanje je največje poleti. Razpoložljivi obnovljivi viri energije v Sloveniji pa električno energijo najmanj proizvajajo pozimi, ko je njena poraba največja. V ogrevalni sezoni se poraba še bolj povečuje zaradi spodbujevalne politike vgradnje toplotnih črpalk. Pri zagotavljanju stabilne oskrbe z električno energijo v zimskem obdobju ima na področju obnovljivih virov biomasa še večjo priložnost z vidika obnovljivih virov energije.

Preučevanje hidroproizvodnje električne energije

Vplivni dejavniki

Na področju hidroproizvodnje električne energije smo vplivne dejavnike ugotovili z analizo tabelarnih podatkov in s pomočjo orodja Weka v. 3.4.10 (Witten in Eibe 2005), ki je namenjeno potrebam analize obdelave tabelarnih podatkov.

Cilj analize je bil izdelati model za napovedovanje obsega letne proizvodnje električne energije iz malih in srednjih hidroelektrarn na podlagi dolgoročnega opazovanja meteoroloških, tehnoloških, proizvodnih ter organizacijskih podatkov. V analizo smo vključili 17 opisnih značilnih elementov: sezono (višja sezona: januar, februar, december; srednja sezona: marec, april, oktober, november; nižja sezona: maj, junij, julij, avgust, september), elektrarno, porečje, lastnika, energijo, število generatorjev, tip generatorja, moč generatorja, avtomatiziranost elektrarne, rekonstrukcijo, starost, segment – velikost proizvodnje, poslovno pomembnost, padavine, temperaturo, hidrologijo glede na srednji pretok in letni obseg proizvodnje.

Uporabili smo podatke družbe Gorenjske elektrarne o 15 hidroelektrarnah, ki ključno vplivajo na količinski obseg proizvodnje in poslovanje družbe, ter povprečne mesečne podatke Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) Ministrstva za okolje in prostor iz njenih opazovalnih postaj o pretoku voda, padavinah in temperaturah (Agencija Republike Slovenije za okolje 2022).

Metodologija

Metodologijo smo zastavili v smislu zajema celote vseh procesov odkrivanja znanja iz podatkov. Postopke smo razdelili v tri osnovne sklope: zbi-

ranje in priprava podatkov, uporaba algoritmov za analizo podatkov ter iskanje vzorcev, interpretacija pravil in rešitev.

Uporabili smo naslednje metode: naivni Bayesov klasifikator in metode gradnje odločitvenih dreves J48 in ID₃. Pridobljene podatke smo ustrezno pripravili v obliko, primerno za programsko obdelavo za analizo tabelarnih podatkov z metodami strojnega učenja odločitvenih dreves (Lavrač 2007).

Za ugotavljanje povezav med obsegom proizvodnje električne energije, naravnimi in tehnološkimi dejavniki so nas zanimala odločitvena drevesa ter klasifikacijska pravila. Slednja uporabimo za reševanje z ustrezno vizualno predstavo. Kakovost dobljenih modelov smo preverjali s prečnim preverjanjem.

Analiza tabelarnih podatkov

S programom Weka smo zgradili štiri klasifikacije primerov: naivni Bayesov klasifikator, porezano in neporezano odločitveno drevo J48 ter odločitveno drevo ID₃.

Rezultati testiranja z naivnim Bayesovim klasifikatorjem kažejo, da smo z njim dosegli 82,8-odstotno klasifikacijsko točnost. V primerjavi z drugimi klasifikatorji ima ta posebnost, da vanj ne moremo pogledati (črna škatla), zato je manj primeren za razlago povezav med dejavniki. Weka nam po konceptu računanja informativnih atributov prikaže, kako so dejavniki rangirani v odločitvenem drevesu. Za to smo uporabili metodo za gradnjo odločitvenega drevesa J48, ki smo ga razvili natančno. Rezultati neporezanega odločitvenega drevesa J48 kažejo, da je to najboljši model, s katerim smo dosegli 83,8-odstotno klasifikacijsko točnost.

V drugem primeru smo odločitveno drevo porezali in predstavili le ključne razrede. Dobljene rezultate smo primerjali s prejšnjimi. Klasifikacijska točnost je 74,5 odstotka. Odločitveno drevo ID₃ ima klasifikacijsko točnost 79,9 odstotka.

Iz porezanega odločitvenega drevesa J48 razberemo, da je segmentacija proizvodnje najinformativnejši atribut, saj najbolj ločuje primere. Z metodo ID₃ smo izpisali klasifikacijska pravila, s katerimi interpretiramo podatke in lastnosti po dejavnikih, ki vplivajo na obseg proizvodnje v elektrarnah.

Razvili smo model elektrarne, ki smo ga zasnovali in zgradili z Weko na osnovi učne množice in uporabili za testiranje. Program Weka na podlagi tabelarnih podatkov zgradi modele, ki omogočajo napovedovanje in klasificiranje novih primerov. Z mesečnimi podatki elektrarn smo izdelali model za napovedovanje obsega letne proizvodnje električne ener-

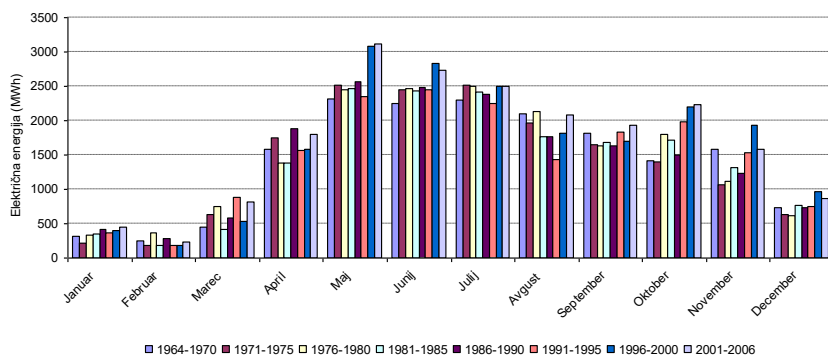
gije z upoštevanjem 17 vrst dejavnikov. Ugotovili smo, da je ključni dejavnik segment proizvodnje, ki se kaže v velikosti proizvodnega vira: mikro, majhna, srednja, večja, nad 1 MW velika elektrarna.

Preglednica 1: Odločitveno drevo ID₃ s klasifikacijskimi pravili na študiji primera Gorenjskih elektrarn

<p>Elektrarna = HE_Cerk-lje: mala Elektrarna = HE_KranjskaGora Hidrologija = < 10: mala Hidrologija = 10–20: srednja Hidrologija = 20–30: 0 Hidrologija = > 30: 0 Hidrologija = NE: 0 Elektrarna = HE_Rudno Hidrologija = < 10: mala Hidrologija = 10–20: srednja Hidrologija = 20–30: 0 Hidrologija = > 30: 0 Hidrologija = NE: 0 Elektrarna = HE_Pristava Hidrologija = < 10: 0 Hidrologija = 10–20 Sezona = VS: srednja Sezona = SS Padavine = < 100: srednja Padavine = 100–200: srednja Padavine = > 200: 0 Padavine = 31–60 mm padavin: 0 Sezona = NS: srednja Hidrologija = 20–30: velika Hidrologija = > 30: 0 Hidrologija = NE: 0 Elektrarna = HE_Kokra Hidrologija = < 10: mala Hidrologija = 10–20 Padavine = < 100 Sezona = VS: srednja Sezona = SS: srednja Sezona = NS: srednja Padavine = 100–200: srednja Padavine = > 200: srednja Padavine = 31–60 mm padavin: 0 Hidrologija = 20–30: 0 Hidrologija = > 30: 0 Hidrologija = NE: 0</p>	<p>Elektrarna = HE_Šk. Loka Hidrologija = < 10: srednja Hidrologija = 10–20 Padavine = < 100: srednja Padavine = 100–200 Sezona = VS: 0 Sezona = SS: srednja Sezona = NS: srednja Padavine = > 200: 0 Padavine = 31–60 mm padavin: 0 Hidrologija = 20–30: velika Hidrologija = > 30: velika Hidrologija = NE: 0 Elektrarna = HE_Sava Hidrologija = < 10: 0 Hidrologija = 10–20: velika Hidrologija = 20–30: odlična Hidrologija = > 30: odlična Hidrologija = NE: 0 Elektrarna = HE_Savica Hidrologija = < 10: 0 Hidrologija = 10–20: srednja Hidrologija = 20–30: velika Hidrologija = > 30: odlična Hidrologija = NE: 0 Elektrarna = HE_Soteska Hidrologija = < 10 Sezona = VS: mala Sezona = SS: velika Sezona = NS: velika Hidrologija = 10–20 Padavine = < 100: srednja Padavine = 100–200: velika Padavine = > 200: srednja Padavine = 31–60 mm padavin: 0 Hidrologija = 20–30 Padavine = < 100: odlična Padavine = 100–200: velika Padavine = > 200: velika Padavine = 31–60 mm padavin: 0</p>	<p> Hidrologija = > 30: 0 Hidrologija = NE: 0 Elektrarna = HE_Davča Padavine = < 100 Sezona = VS: mala Sezona = SS: srednja Sezona = NS: mala Padavine = 100–200: srednja Padavine = > 200: srednja Padavine = 31–60 mm padavin: 0 Elektrarna = HE_Jelendol: mala Elektrarna = HE_Sorica: mala Elektrarna = HE_Mojstrana Padavine = < 100 Sezona = VS: srednja Sezona = SS: srednja Sezona = NS: velika Padavine = 100–200: velika Padavine = > 200: velika Padavine = 31–60 mm padavin: 0 Elektrarna = HE_Lomščica Padavine = < 100: srednja Padavine = 100–200 Sezona = VS: velika Sezona = SS: velika Sezona = NS: velika Padavine = > 200: velika Padavine = 31–60 mm padavin: srednja Elektrarna = SE_Radovljica: mala Elektrarna = SE_Labore: mala Elektrarna = SE_FERI: mala Opomba: z oznako »o« v kategoriji ni bilo uvrščenih mesečnih podatkov</p>
--	--	--

Klasifikacijska pravila nam kažejo tipične in povezane dejavnike pri proizvodnji malih ter srednje velikih hidroelektrarn. Kot dejavniki se izkažejo hidrologija – pretoki voda, padavine in sezona. Rezultati kažejo na močne dejavnike, ki so uporabni za oceno zanesljivosti modela značilnih dejavnikov za štiri skupine hidroelektrarn, in sicer: (1) hidrologija za srednje hidroelektrarne, (2) hidrologija – sezona – padavine za hidroelektrarne v porečjih Tržiške Bistrice, Kokre, Save Bohinjke in Sore, (3) padavine – sezona za gorske hidroelektrarne in (4) segment (velikost) proizvodnje za male hidroelektrarne.

Za hidroelektrarno Savica je značilna sezonskost proizvodnje. Hidrologija je v zimskih mesecih najnižja in se povečuje spomladi s taljenjem snega v sredogorju. Največjo proizvodnjo doseže v maju in juniju. Proizvodnja je tudi preko poletnih mesecev zanesljiva in se nekoliko dvigne z jesenskim deževjem (slika 1).



Slika 1: Povprečna mesečna proizvodnja električne energije po petletnih obdobjih (MWh)

Vir: lastni izračuni.

Z raziskavo in analizo tabelaričnih podatkov smo prišli do zaključka, da v nadaljevanju izvirne vrednosti atributov (proizvodnja elektrarn (MWh), hidrologija s srednjimi pretoki voda Q_{sr} (m^3/s), padavine (mm) in temperature zraka ($^{\circ}C$)) uporabimo za ugotavljanje korelacij med dejavniki. Podatki so bili analizirani z metodo multivariatne statistične regresijske analize. Za obdelavo je bil uporabljen računalniški programski paket SPSS (Norušis 2002).

Namen regresijske analize je oceniti parameter predvidene matematične specifikacije, ki pojasnjuje odnos med odvisno spremenljivko in vsemi v model vključenimi pojasnjevalnimi spremenljivkami. V analizi je uporabljena splošna potenčna Cobb-Douglasova specifikacija produkcijske funkcije.

Preučevanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov energije smo ugotavljali s pomočjo tehničnih in naravnih dejavnikov.

Ocenjena produkcijska funkcija (preglednica 2) kaže, da povečanje inštalirane moči generatorjev na zaposlenega za en odstotek ob enakih ostalih dejavnikih povečuje proizvodnjo električne energije na zaposlenega za 1,286 %.

Povečanje srednjega pretoka vode za en odstotek ob enakih ostalih dejavnikih povečuje proizvodnjo električne energije na zaposlenega za 0,245 %. Hkratno odstotno povečanje inštalirane moči generatorjev na zaposlenega in srednji pretok vode pogojujeta 1,588-odstotno povečanje proizvodnje na zaposlenega.

Neznačilen je dejavnik višine padavin, ki ob povečanju za en odstotek ob ostalih nespremenjenih dejavnikih povečuje proizvodnjo na zaposlenega za 0,081 %.

Preglednica 2: Produkcijska funkcija s pretokom vode, padavinami in z inštalirano močjo HE Savica, 1993–2006

	Konstan.	Pretok Q _{Sr} (m ³ /s)	Padav. (mm)	Moč Pi (kW)	AdjR ₂	F
	ln(Const.)	ln_Q _{Sr}	ln_mm	ln_Pi_Lge		
1	Proizvod. Q/zaposl.	5,477 (2,646)	0,245 (2,436)	1,286 (3,579)	0,736	10,779
2	Proizvod. Q/zaposl.	4,461 (1,919)	0,186 (1,574)	0,081 (0,977)	0,734	7,439

ln – naravni logaritem, v oklepaju je t-statistika, F – vrednost F-statistike, AdjR₂ – (popravljeni) multipli determinacijski koeficient, ki pomeni % pojasnjene variance.

Vir: lastni izračuni.

Legenda:

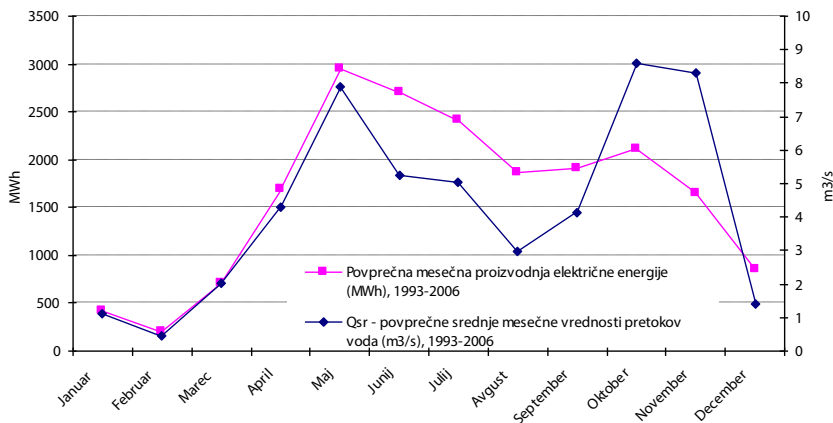
Proizvod. Q/zaposl. mesečna proizvodnja električne energije HE Savica na zaposlenega (MWh/zaposl.)

Q_{Sr} – mesečni srednji pretok Q_{Sr} na vodotoku Savica, postaja ARSO Ukanč (m³/s)

mm – letna višina padavin, postaja ARSO Stara Fužina do leta 2002, Srednja vas v Bohinju v letih 2002–2006 (mm)

Pi_Lge – inštalirana moč generatorjev na zaposlenega (kW/zaposl.)

Produkcijsko funkcijo smo izračunali tudi z naravnimi dejavniki, kjer so pojasnjevalne spremenljivke pretok vode (m³/s), padavine (mm) in temperatura (°C).



2.4

Slika 2: Korelacija med proizvodnjo električne energije in pretokom vode, HE Savica (MWh)

Vir: lastni izračuni.

Preglednica 3: Produksijska funkcija s pretokom vode, padavinami in temperaturo HE Savica, 1993–2006

	Konstan.	Pretok Q_{sr}	Temperat.	Padavine	AdjR ²	F
	ln(Const.)	ln_Qsr	ln_st_C	ln_mm		
1 Proizvod.	5,743		0,362	0,183	0,229	21,531
Q	(14,735)		(5,037)	(2,314)		
2 Proizvod.	6,554	0,642			0,415	67,640
Q	(54,572)	(8,224)				

ln – naravni logaritem, v oklepaju je t-statistika, F – vrednost F-statistike, AdjR² – popravljeni multipli determinacijski koeficient, ki pomeni % pojasnjene variance.

Vir: lastni izračuni.

Legenda:

Proizvod. Q – mesečna proizvodnja električne energije HE Savica (MWh)

Q_{sr} – mesečni srednji pretok Q_{sr} na vodotoku Savica, postaja ARSO Ukanc (m³/s)

temp_stC – povprečna mesečna temperatura, postaja ARSO Stara Fužina do leta 2002, Srednja vas v Bohinju v letih 2002–2006 (°C)

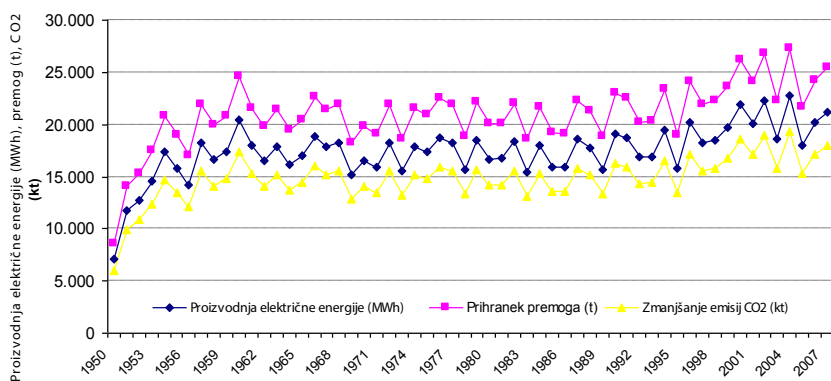
mm_padavine – mesečna višina padavin, postaja ARSO Stara Fužina do leta 2002, Srednja vas v Bohinju v letih 2002–2006 (mm)

Ocenjena produkcijska funkcija (preglednica 3) kaže, da povečanje srednjega pretoka vode za 1 % povečuje proizvodnjo električne energije za 0,642 %. Povečanje padavin za 1 % povečuje proizvodnjo električne energije za 0,526 %. Hkratno odstotno povečanje višine padavin in temperature pogojuje 0,545-odstotno povečanje proizvodnje. Ob višji temperaturi več padavin izhlapi in se izgubi na površju zemlje. Korelacijo med proizvodnjo električne energije in pretokom vode prikazuje slika 2.

Z analizo smo ugotovili močno povezanost med inštalirano močjo generatorjev na zaposlenega in srednjim pretokom vode. Med naravnimi dejavniki so korelacije med hidrologijo s srednjimi pretoki voda in padavinami, temperaturami zraka ter tudi debelino snežne odeje.

Okoljski prihranki hidroelektrarn

S statističnimi podatki smo ugotavljali prihranke fosilnih goriv in emisij toplogrednih plinov pri proizvodnji električne energije iz malih ter srednjih hidroelektrarn. Ocenili smo možnosti za doseganje cilja 20-odstotnega deleža obnovljivih virov energije do leta 2020 z izrabo naravnih danosti in ob okoljevarstvenih pogojih za učinkovit trajnostni razvoj. Hidroelektrarna Savica s povprečno letno proizvodnjo daje 20 milijonov kWh, letni prihranek je 24.000 ton premoga (po metodologiji 1,2 kg premoga/kWh) in 17.000 kiloton emisij CO₂ (po metodologiji 0,85 kg CO₂/kWh) (slika 3).



Slika 3: Proizvodnja električne energije v HE Savica (MWh) s prikazom prihrankov premoga (t) in emisij CO₂ (kt).

Vir: lastni izračuni.

Hidroprodukcija med naravnim, tehnološkim in poslovnim okoljem

Velike hidroelektrarne na treh slovenskih rekah

Produkcija električne energije v hidroelektrarnah je odvisna od hidrologije, ki se spreminja v posameznih opazovanih časovnih obdobjih (Schaffli idr. 2019). Na primerih izbranih hidroelektrarn na treh slovenskih rekah – Dravi, Savi in Soči – smo z opisno statistiko analizirali proizvodnjo električne energije med posameznimi leti z izločitvijo ekstremnih odstopanj in ugotavljali značilno sezonskost med letom.

Z metodami multivariatne statistične analize smo na podlagi dejanskih podatkov analizirali naravne in tehnične dejavnike proizvodnje električne energije. S korelacijsko analizo smo ugotavljali povezanost proizvodnje električne energije s pretokom vode. Z regresijsko analizo proizvodnje električne energije smo ocenili produkcijsko funkcijo glede na pretok vode, padavine in instalirano moč generatorjev. V nekaterih primerih smo pojasnili pomemben vpliv tehnološkega razvoja in človeškega kapitala z upoštevanjem instalirane moči modernizirane hidroelektrarne na zaposlenega. Na izbranem primeru, ki posplošuje učinke hidroprodukcije električne energije v velikih hidroelektrarnah, smo s prihodkovno funkcijo ob tehnoloških in naravnih dejavnikih ocenili pomemben vpliv prodajne cene.

Struktura proizvodnih virov

Obnovljivi viri energije (OVE) imajo v celoviti evropski energetske politiki pomembno mesto pri doseganju vseh treh glavnih postavljenih ciljev, tj. izboljšati varnost pri oskrbi z energijo, zmanjševati izpuste toplogrednih plinov in spodbujati konkurenčnost. 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 (2009) je za vsako državo na podlagi njenih potencialov in zmogljivosti opredelila pravno zavezujoči cilj. Slovenija je bila v letu 2016 z 21,3-odstotnim deležem OVE za 3,7 odstotne točke pod ciljnim deležem OVE za leto 2020, ki znaša 25 % (Papler 2018). V strukturi proizvodnih virov električne energije predstavljajo hidroelektrarne z 19 velikimi hidroelektrarnami nazivne moči nad 10 MW tretjinski delež, termoelektrarne tretjinski delež in jedrska elektrarna tretjinski delež (Papler 2017a).

Vodna energija je ekološko čist obnovljivi vir energije, kjer se potencialna moč vode pretvarja v mehansko moč in naprej v električno energijo. Okolje onesnažuje minimalno, pozitivni učinki se kažejo v visokem deležu domače tehnologije in posledično delovnih mest, zanesljivosti delovanja, dolgi življenjski dobi in nizkih stroških obratovanja ter vzdrževanja. V primerjavi z ostalimi energetske viri so hidroelektrarne (HE) učinkovite in okolju prijazne. Delež proizvedene električne energije v hidroelektrarnah in v elektrarnah na druge obnovljive vire se letno spreminja glede na hidrološke ter druge razmere ter tudi glede na obseg vlaganj v izgradnjo proizvodnih enot za izrabo obnovljivih virov (Papler 2017b).

Proizvodnja električne energije v HE je v precejšnji meri odvisna od vremenskih pogojev, kar kažejo primeri iz različnih držav (Vicuna idr. 2008; van Vliet idr. 2016; Caceres idr. 2021). Na omenjeno proizvodnjo odločno vplivata količina padavin in njihova časovna razporeditev. Količina padavin lahko zaniha tudi za več kot +/- 25 % glede na dolgoletno povprečje. Pri prodaji proizvedene električne energije smo izpostavljeni nihanjem tržne cene električne energije. Ta močno korelira z gospodarskimi gibanji, nanjo vplivajo sprememba smernic politike proizvodnje električne energije in cene na evropski borzi z električno energijo EEX (European Energy Exchange) ter madžarski borzi HUPX (Ažman 2014). Izkoriščanje vodnega potenciala za proizvodnjo električne energije na Slovenskem ima stoletno tradicijo. Prvi veliki hidroelektrarni sta bili HE Završnica (1914) na vodotoku Završnica in HE Fala (1918) na reki Dravi. Na reki Soči je bila prva zgrajena HE Doblar (1939), na Savi pa HE Moste (1952).

Električna energija pod blagovno znamko Modra energija izpolnjuje mednarodni ekološki standard s certifikatom RECS, ki dokazuje, da je proizvedena obnovljiva hidroenergija slovenskih rek. Od HSE, d. o. o., jo kupujejo slovenska distribucijska podjetja (Papler in Bojnec 2012).

Metodologija in podatki

Dosedanje raziskave

Preučevali smo značilno sezonskost proizvodnje na primerih malih in srednje velikih hidroelektrarn. Hidrologija je v zimskih mesecih najniž-

ja in se povečuje spomladi s taljenjem snega v sredogorju ter največjo proizvodnjo doseže v maju in juniju. Proizvodnja je tudi preko poletnih mesecev zanesljiva in se nekoliko dvigne z jesenskim deževjem (Bojnec in Papler 2008; Bojnec in Papler 2012). Preučevanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov smo ugotavljali s pomočjo tehničnih in naravnih dejavnikov (Papler in Bojnec 2010). Regresijska analiza je potrdila, da je letna proizvodnja v zelenih hidroelektrarnah (v *MW*-ih) s strani gorenjskih proizvajalcev električne energije pomembno povezana z vgrajeno močjo generatorjev (*kW*) v teh gorenjskih elektrarnah pa tudi s količinami padavin (*mm*), povprečno močjo vodotoka v različnih delih reke Save (*m³/s*), kjer se nahajajo hidroelektrarne, in s tem povezanimi temperaturami zraka. Izračunane regresije so ocenjene v naravnih logaritmih. Parametri ocenjenih regresijskih koeficientov so istočasno koeficienti elastičnosti, ki obvladujejo relativni odziv proizvodnje električne energije na spremembe v vsaki od pojasnjevalnih spremenljivk (Papler in Bojnec 2010). Z uporabo multivariatnih statističnih metod so bile opravljene raziskave na področju proizvodnje in distribucije električne energije (Papler in Bojnec 2006; Papler 2009a; 2009b; 2015).

Ocenjevanje z multivariatnimi statističnimi analizami

Za obdelavo pridobljenih podatkov o proizvodnji električne energije v velikih hidroelektrarnah smo uporabili kvantitativne raziskovalne metode, za obdelavo z multivariatnih statističnih analiz (Easterby-Smith, Thorpe in Lowe 2005) pa statistični računalniški paket SPSS (Kachigan 1991, Norušis 2002).

Opisne statistike so uporabljene za prikaz aritmetičnih sredin spremenljivk (povprečje).

Za dokazovanje postavljenih domnev je bil uporabljen statistični test za določitev odvisnosti oz. neodvisnosti določenih spremenljivk, kadar želimo ugotoviti, ali ugotovljene frekvence statistično značilno odstopajo od pričakovanih kritičnih vrednosti. Vse vrednosti P-testa, ki so manjše od 0,05, pomenijo statistično značilno verjetnost razlik na določenem dejavniku. Kot metodo ocenjevanja produkcijske in prihodkovne funkcije smo uporabili regresijsko analizo ter ocenili parametre predpostavljene matematične specifikacije funkcije, ki pojasnjuje odnos med odvisno spremenljivko in vsemi v model vključenimi pojasnjevalnimi spremenljivkami.

V analizi je uporabljena splošna Cobb-Douglasova specifikacija splošne funkcije:

$$y = \beta_0 \cdot x_1^{\beta_1} \cdot x_2^{\beta_2} \cdot x_3^{\beta_3} + u_t \quad (1)$$

kjer je: y – odvisna spremenljivka,

β_0 – konstanten člen,

x_1 – pojasnjevalna spremenljivka 1,

β_1 – koeficient elastičnosti pojasnjevalne spremenljivke 1,

x_2 – pojasnjevalna spremenljivka 2,

β_2 – koeficient elastičnosti pojasnjevalne spremenljivke 2,

x_3 – pojasnjevalna spremenljivka 3,

β_3 – koeficient elastičnosti pojasnjevalne spremenljivke 3,

u_t – slučajno odstopanje.

30

Splošno potenčno funkcijo lineariziramo s preračunom podatkov z naravnimi logaritmi $\ln(x)$ vseh spremenljivk:

$$\ln(y) = \ln(\beta_0) + \beta_1 \ln(x_1) + \beta_2 \ln(x_2) + \beta_3 \ln(x_3) + u_t \quad (2)$$

Namen regresijske analize je določiti matematično specifikacijo med odvisno in eno ali več neodvisnimi spremenljivkami. Izhodišče regresijske analize je korelacijska analiza, s katero preučujemo (pojasnjujemo) stopnjo parcialne linearne povezanosti med odvisno spremenljivko in posameznimi pojasnjevalnimi spremenljivkami.

Produksijska funkcija

Na primerih izbranih hidroelektrarn na slovenskih rekah Drava, Sava in Soča smo na podlagi razpoložljivih podatkov testirali dejavnike proizvodnje električne energije. Preučevanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov energije ugotavljamo s pomočjo tehničnih in naravnih dejavnikov. Rezultat uporabe faktorjev pri proizvodnji električne energije smo opisali s produkcijsko funkcijo, kjer je odvisna spremenljivka proizvodnja električne energije v hidroelektrarni – *Proiz* (*MWh*), pojasnjevalne spremenljivke pa so instalirana moč – *Pi* (*MW*), dotok vode – *Q* (*m³/s*) ter podatki o pretoku vode Agencije Republike Slovenije za okolje Ministrstva za okolje in prostor (ARSO) na merilnih postajah (*m³/s*) in padavinah – *Padav* (*mm*). V modelu smo uporabili letne podatke proizvodnje električne energije HE in meteorološke podatke postaj ARSO. V nadaljevanju smo na primeru HE Moste v produkcijski funkciji upo-

rabili pojasnjevalno spremenljivko instalirana moč na zaposlenega – Pi/zap (MW/zap).

Prihodkovna funkcija

Dodatno možnost regresijske analize predstavlja prihodkovna funkcija, ki jo ob tehnoloških in naravnih dejavnikih lahko uporabimo, če imamo znane podatke o prodajni ceni – pc (EUR/MWh), obratovalni podpori – OP (EUR/MWh) in prihodkih – $Prih$ (EUR). Zaradi omejitev pri pridobitvi finančnih podatkov prihodkovna funkcija ni bila ocenjena.

Podatki in omejitve

Uporabljeni so bili mesečni in letni podatki Dravskih elektrarn Maribor za HE Fala v obdobju 2001–2017 (Dravske elektrarne Maribor 2018), podatki Soških elektrarn Nova Gorica za HE Doblar 1 in HE Solkan v obdobju 2005–2017 (Soške elektrarne Nova Gorica 2018), podatki Savskih elektrarn Ljubljana za HE Završnica v obdobju 1945–2005 in HE Moste v obdobju 1952–2017 (Savske elektrarne Ljubljana 2018) ter podatki ARSO (Agencija Republike Slovenije za okolje b. l.).

Omejitve so skladne z obsegom pridobljenih podatkov o proizvodnji električne energije in turbinskih pretokih vode za posamezne HE pred letom 2000 ter manjkajočimi zaposlitvenimi in finančnimi podatki.

Opisne statistike

Izbrane hidroelektrarne na Dravi, Savi in Soči

HE Fala

HE Fala je najstarejša elektrarna na slovenskem delu reke Drave. S petimi agregati je začela obratovati leta 1918. Zaradi naraščajoče porabe električne energije je bil leta 1925 dograjen šesti in leta 1932 sedmi agregat. Po zaključku gradnje elektrarn na Dravi je postala pretočna zmogljivost turbin na Fali premajhna glede na preostale elektrarne v dravski verigi, zato je nastala potreba po izenačitvi pretokov s preostalimi elektrarnami. Zaradi potreb po povečanju turbinskega pretoka je bil v HE Fala leta 1977 vgrajen še dodatni osmi agregat z vertikalno Kaplanovo turbino moči 17 MW in s prepustno letno sposobnostjo jezusa 4.800 m³/s. Vse zaporne table pretočnih polj so bile v letih 1991–1994 zamenjane z novimi. Leta 1995 je bila turbina osmega agregata zamenjana z novo, boljših tehničnih karakteristik in z večjim nazivnim pretokom.

Akumulacijsko jezero HE Fala dolžine 8,6 km sega do zgoraj ležeče HE Ožbalt. Vsebuje 4,2 milijona m³ vode, od katerih se lahko 0,9 milijona m³ izkoristi za proizvodnjo električne energije. Od temeljite prenove ob koncu 90. let 20. stoletja je nova HE Fala dimenzionirana za instaliran pretok 550 m³/s in padec 14,6 m. Vgrajene ima tri novejšje agregate, ki jih sestavljajo horizontalne dvojne Francisove turbine in na isti osi v podaljškju generatorji z močjo 58 MW z letno proizvodnjo 260 GWh (<https://www.dem.si>).

Po končani prenovi oz. dograditvi novih postrojev v HE Fala je z obratovanjem prenehalo vseh sedem starih postrojev s horizontalno dvojno Francisovo turbino in pripadajočim zračno hlajenim generatorjem v stari strojnici (Močnik 2007). V njej je od leta 1998 muzej tehniške dediščine z informativno in izobraževalno predstavitvijo delovanja elektrarne.

32

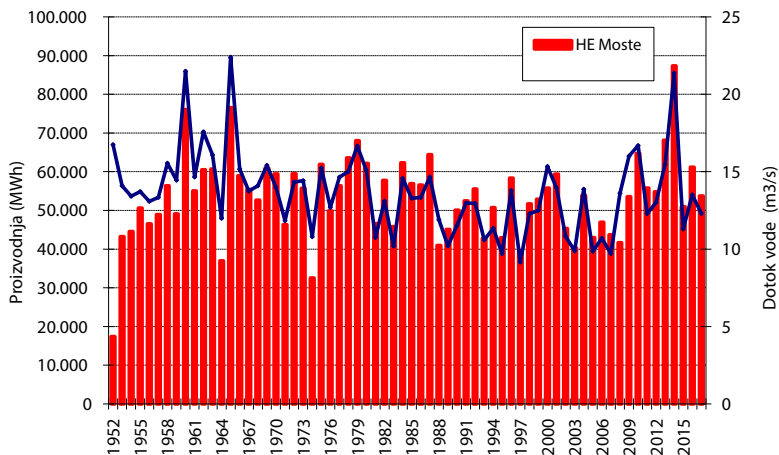
HE Moste

HE Moste obratuje, kot prva velika elektrarna na reki Savi, od leta 1952. Načrtovana je kot akumulacijska elektrarna za proizvodnjo vršne energije. Povodje Save obsega 325 km², volumen bazena je 5,46 milijonov m³ vode, razpoložljiv volumen (denivelacija) je 2,94 milijona m³. Akumulacijski bazen omogoča tedensko izravnavo pretokov. Pregrada je betonska in leži v najožjem delu savskega kanjona, v soteski Kavčke, pod Žirovnico ter je s 60 m višine tudi najvišja pregrada v Sloveniji. Je ločno oblikovana s pretokom preko krone. Na pregradi so štiri polja s prevodnostjo 570 m³/s. Od vtočnega objekta v pregradi je speljan 840 m dolg dovodni rov do strojnice, v kateri je nameščena vsa hidromehanska, strojna in elektrooprema (<https://www.sel.si>).

HE Moste sestavlja skupaj s starejšo HE Završnica (1914) na potoku Završnica enotni energetska sistem. V strojnici HE Moste so bili prvotno vgrajeni trije agregati, ki so jih sestavljale spiralne Francisove turbine s skupno požiralnostjo 28,5 m³/s in z generatorji. Sistem je bil dograjen leta 1977 z vgradnjo četrtega agregata v strojnici HE Moste s požiralnostjo 6 m³/s, ki je imel turbinsko in črpalno sposobnost. Načrtovan je bil tako, da bi omogočal prečrpavanje savske vode v višjeležeči bazen Završnica. Ker je bil turbinsko-črpalni postroj prototipne izvedbe, so do leta 1980 trajali testiranja in prilagoditev opreme. Vendar je kot črpalni stroj obratoval le do leta 1982, ker zaradi različnih tehničnih in ekoloških razlogov črpalno obratovanje ni bilo primerno (Močnik 2007).

Zaradi nezanesljive opreme testnega agregata s slabim izkoristkom so agregat 4 v letu 1999 rekonstruirali. Zamenjali so gonilnik, vodilne lopa-

te z novo hidravlično obliko, turbinski regulator ter vso pomožno tehnološko opremo. Nova je tudi vsa periferna elektrooprema. Tako so zamenjali kompletno tehnološko lastno rabo agregata, vgradili nov vzbujalni sistem s statičnim vzbujalnim sistemom z digitalno regulacijo in mikroprocesorskim krmiljenjem, vgradili novo zaščito agregata z numerično in multimikroprocesorsko strukturo ter distribuiran mikroprocesorski sistem za lokalno in daljinsko vodenje agregata iz oddaljenega centra vodenja SEL (Papler 2017c).



Slika 4: Proizvodnja električne energije HE Moste v obdobju 1952–2017

Vir: Savske elektrarne Ljubljana (2018), lastni izračuni.

HE Moste je z obnovo iz triagregatne elektrarne prešla na dvoagregatno elektrarno z namenom, da so pridobili prazno mesto za namestitev skupnih naprav ter prostor za statično ojačanje konstrukcije strojnice z železobetonom. Rekonstrukcija je potekala v letih 2008–2011. HE Moste izkorišča akumulacijski bazen Save z dvema agregatoma in s priključitvijo dovodnega cevovoda iz akumulacijskega bazena HE Završnica z enim agregatom. Celotni sistem daje v konicah proizvodnje 21 MW moči, srednja letna proizvodnja je 65 GWh električne energije. Doseženo proizvodnjo električne energije v obdobju 1952–2017 prikazuje slika 4.

Po 90 letih obratovanja je prva kranjska deželna HE Završnica septembra 2005 dobila novo vlogo kot tehniški spomenik, vključena je bila v Pot kulturne dediščine Žirovnica (Papler 2006); v letih 2014–2015 je bila s konzervatorskim načrtom urejena stalna zbirka razstavnih eksponatov po programu obeleževanja 100-letnice HE Završnica in leta 2015 izdana knjiga (Papler 2015).

HE Dobljar I

HE Dobljar I je akumulacijska-derivacijska elektrarna, ki je začela obratovati leta 1939 in je do leta 1947 proizvajala energijo za takratno italijansko energetska omrežje. Padavinsko območje obsega 1.150 km², koristna prostornina bazena je 150.000 m³, dopustno nihanje bazena je 2 m. Akumulacijo in strojnico povezuje 3.567 m dolg dovodni tunel premera 5,6 m. HE Dobljar I ima instaliran pretok 96 m³/s, povprečni letni pretok 82,3 m³/s in bruto padec pri pretoku 60 m³/s 45,4 m. V strojnici so vgrajeni tri Francisove vertikalne turbine in trije trifazni sinhronski generatorji z inštalirano močjo 30 MW. Predvidena letna proizvodnja HE Dobljar I je 150 GWh. Leta 1979, po 40 letih obratovanja, je bila iztrošena oprema zamenjana s sodobnejšo ter izvedena preureditev za popolno lokalno avtomatizacijo in daljinsko vodenje iz takratnega območnega centra vodenja. Na osnovi izsledkov o učinkovitejšem izkoriščanju razpoložljivega vodnega potenciala, ki so narekovali poenotenje instaliranega pretoka na 180 m³/s v celotni verigi hidroelektrarn na Soči, je leta 2002 nastala HE Dobljar II z inštalirano močjo 40 MW.

Po doinstalaciji HE na Soči so se pričele priprave na temeljito obnovo HE Dobljar I. Rekonstrukcija generatorja 3 je potekala od oktobra 2010 do januarja 2011, rekonstrukcija generatorja 2 od oktobra 2011 do oktobra 2012 in rekonstrukcija generatorja 1 od marca 2013 do decembra 2013 (<https://www.seng.si>).

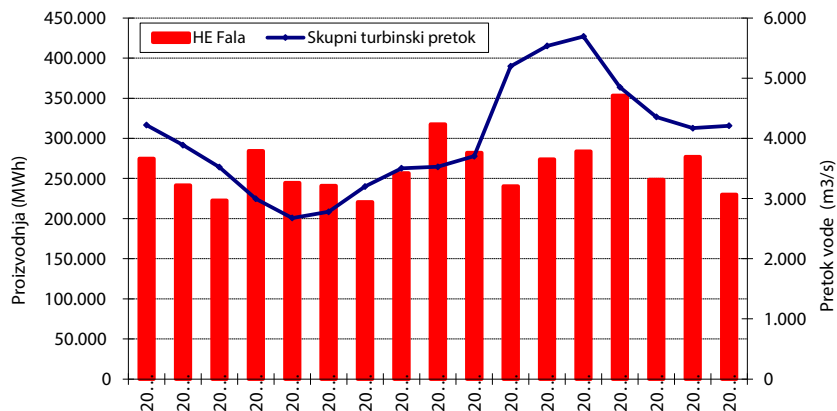
HE Solkan

Konec sedemdesetih let 20. stoletja je bila po raziskavah vseh možnih lokacij za izrabo vodne energije reke Soče in njenih pretokov sprejeta odločitev za izgradnjo HE Solkan. Osnovni projekt je predvidel vgradnjo dveh proizvodnih postrojev s pretokom po 60 m³/s, kasnejše raziskave pa so pokazale, da je treba zaradi potreb po vršni energiji HE visoko inštalirati. Zato je bil končni projekt izdelan za vgradnjo treh proizvodnih postrojev (Močnik 2007).

HE Solkan je kot tipična klasična pretočna hidroelektrarna začela obratovati leta 1984, padavinsko območje obsega 1.632 km², koristna prostornina bazena je 1.000.000 m³, dopustno nihanje bazena je 1,5 m, instaliran pretok je 180 m³/s in bruto padec 20,55 m. V strojnici so vgrajeni trije agregati (Kaplanove turbine in sinhronski generatorji) s skupno instalirano močjo 32 MW ter predvideno letno proizvodnjo 105 GWh. Elektrarna je lokalno avtomatizirana in daljinsko vodena iz centra vodenja Soških elektrarn v Novi Gorici (<https://www.seng.si>).

Proizvodnja električne energije

HE Fala je imela v obdobju 2001–2017 največjo proizvodnjo leta 2014 s 353.525 MWh električne energije in najmanjšo proizvodnjo leta 2007 s 220.606 MWh (slika 5). Povprečna proizvodnja je bila 264.344 MWh, odstopanja od povprečja so se gibala od +33,7 % do -16,5 %. HE Fala je pretočna hidroelektrarna na reki Dravi in je imela glede na instalirano moč 60 MW od 3.689 do 5.912 (povprečno 4.420 MWh/inst. MW) polnih obratovalnih ur (preglednica 1).



Slika 5: Povprečna mesečna proizvodnja električne energije po petletnih obdobjih (MWh)

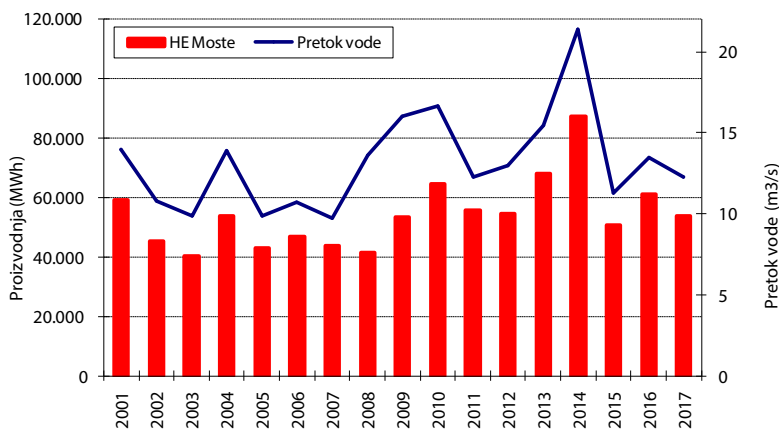
Vir: Dravske elektrarne Maribor (2018), lastni izračuni.

Preglednica 4: Statistična analiza letne proizvodnje električne energije HE Fala, HE Moste, HE Dobljar in HE Solkan

Parameter		HE Fala 2001–2017	HE Moste 2001–2017	HE Dobljar I 2005–2017	HE Solkan 2005–2017
Proizvodnja (MWh)	Maks. proizv.	353.525	100.925	139.733	213.725
	Min. proizv.	220.606	43.380	53.359	114.778
	Povprečje	264.344	60.087	91.793	153.514
+ Odstopanja od povpr. (%)		+33,7	+68,0	+52,2	+39,2
- Odstopanja od povpr. (%)		-16,5	-27,8	-41,9	-25,2
Polne obratov. ure (MWh/inst. MW)	Maks. proizv.	5.912	2.035	4.658	6.679
	Min. proizv.	3.689	1.604	1.779	3.587
	Povprečje	4.420	1.850	3.060	4.797

Vir: Dravske elektrarne Maribor (2018), Savske elektrarne Ljubljana (2018), Soške elektrarne Nova Gorica (2018), lastni izračuni.

V HE Moste je bila po letu 2000 največja proizvodnja 87.343 MWh električne energije oz. 100.925 MWh z upoštevanim agregatom 4 HE Završnica leta 2014 in najmanjša proizvodnja 40.269 MWh v HE Moste leta 2003 oz. 43.380 MWh električne energije z upoštevanim agregatom 4 HE Završnica (slika 6). V obdobju 2001–2017 je bila povprečna proizvodnja 60.087 MWh električne energije, odstopanja od povprečja so se gibala od +68,0 % do -27,8 %. HE Moste je akumulacijska hidroelektrarna na reki Savi in je imela glede na instalirano moč 23 MW (2001–2005) oz. 21 MW (od 2006 dalje) povprečno 1.850 polnih obratovalnih ur (MWh/inst. MW), odstopanja so bila od +10,0 do -13,3%.



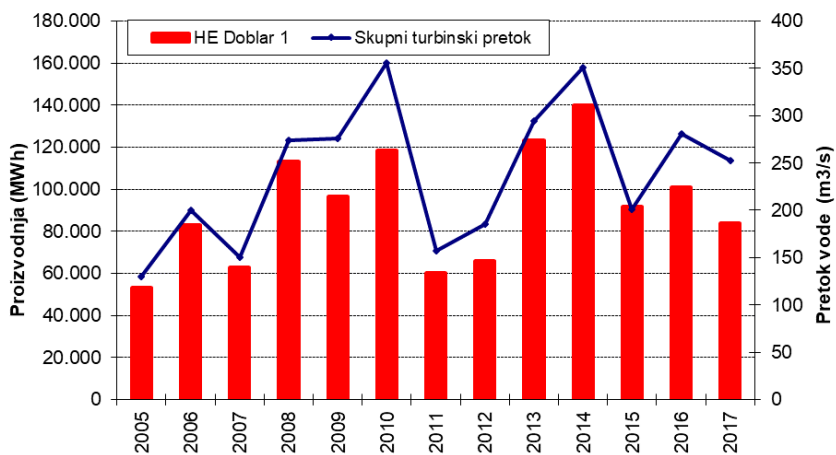
Slika 6: Povprečna mesečna proizvodnja električne energije HE Moste v obdobju 2001–2017 (MWh)

Vir: Savske elektrarne Ljubljana (2018), lastni izračuni.

HE Doblar 1 je imela v obdobju 2005–2017 največjo proizvodnjo električne energije 139.733 MWh leta 2014 in najmanjšo proizvodnjo 53.359 MWh leta 2005 (slika 7). Povprečna proizvodnja je bila 91.793 MWh, odstopanja od povprečja so se gibala od +52,2 do -41,9 %. HE Doblar je pretočna hidroelektrarna na reki Soči in je imela glede na instalirano moč 30 MW od 1.779 do 4.658 (povprečno 3.060 MWh/inst. MW) polnih obratovalnih ur.

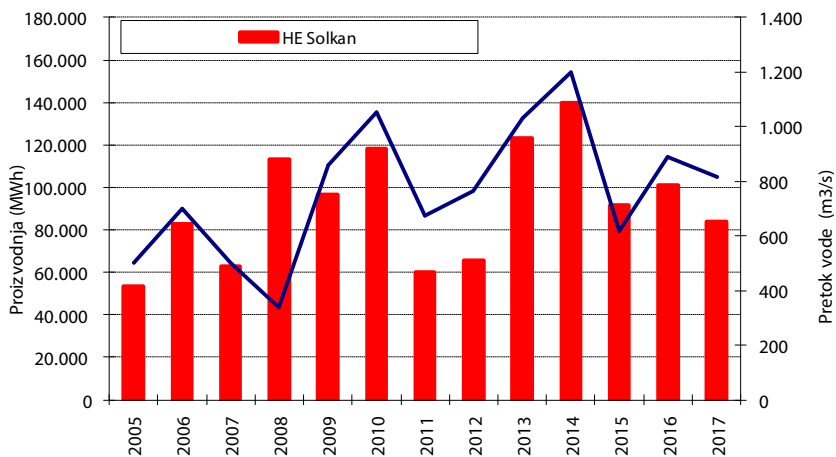
HE Solkan je imela v obdobju 2005–2017 največjo proizvodnjo električne energije 213.725 MWh leta 2014 in najmanjšo proizvodnjo 114.778 MWh leta 2005 (slika 8). Povprečna proizvodnja je bila 153.514 MWh, odstopanja od povprečja so se gibala od +39,2 do -25,29 %. HE Solkan je pretočna hidroelektrarna na reki Soči in je imela glede na instalirano

power of 32 MW from 3,587 to 5,679 (average 4,797 MWh/inst. MW) of annual operating hours.



Slika 7: Production of electricity HE Doblar 1 in the period 2011–2017 (MWh)

Vir: Soške elektrarne Nova Gorica (2018), lastni izračuni.



Slika 8: Production of electricity HE Solkan in the period 2001–2017 (MWh)

Opomba: za skupni turbinski pretok vode so ocenjeni podatki za obdobje 2005–2008.

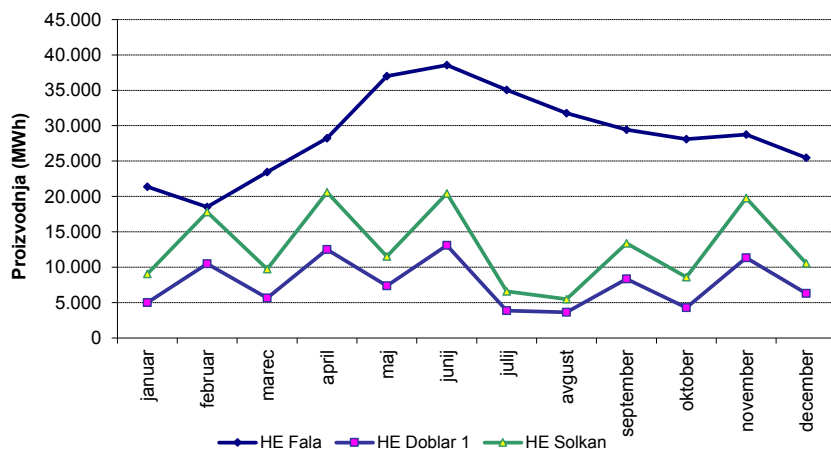
Vir: Soške elektrarne Nova Gorica (2018), lastni izračuni.

Sezonskost proizvodnje hidroelektrarn

Za proizvodnjo električne energije v hidroelektrarnah je značilna sezonskost proizvodnje med letom, nihanja pa so tudi med posameznimi leti (Ganguli, Kumar in Ganguly 2017; Gaudard, Avanzi in De Michele 2018). Hidroproizvodnja v porečju Save Dolinke na zgornjem Gorenjskem, kjer je HE Moste, je odvisna od snežnih padavin na območju Julijskih Alp in Karavank ter hidroloških razmer. Podnebne spremembe so vidne na krčenju Triglavskega ledenika. Zaradi zniževanja cen električne energije, kar vpliva na prihodke, sta potrebna optimiranje in izboljševanje ključnih parametrov delovanja (Papler 2017b).

Reka Drava z veliko pretočnostjo ima značilno sezonskost proizvodnje, ki narašča spomladi ter doseže vrhunec konec maja in junija. Ob vremenskih pogojih in padavinah s postopnim zmanjševanjem preko poletja ter jeseni zagotavlja stabilno proizvodnjo v HE Fala, razen v ekstremnih letih.

Značilnost alpske reke Soče je nihanje, ki doseže vrhunce februarja, aprila, julija in novembra, rahlo povečanje pa je tudi septembra. Izrazito sušno obdobje je julija in avgusta (slika 9). Hidropotencial reke Soče za proizvodnjo električne energije izrabljata HE Doblar 1 in HE Solkan.



Slika 9: Povprečna mesečna proizvodnja električne energije v HE Fala, HE Doblar 1 in HE Solkan (MWh)

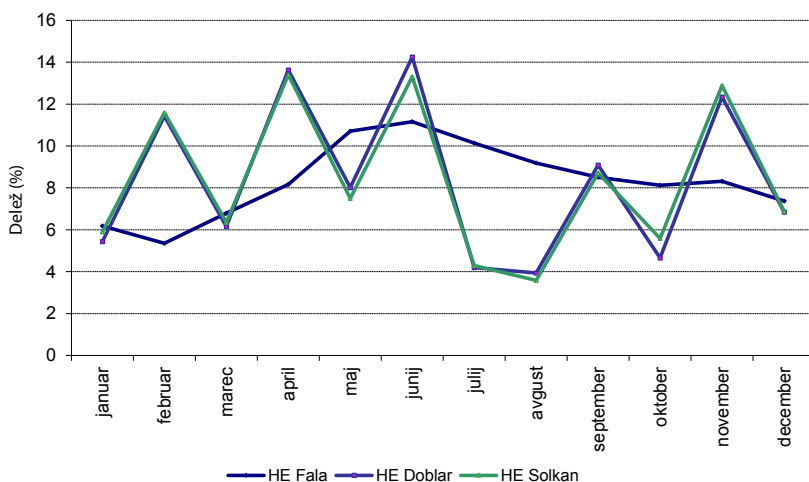
Vir: Dravske elektrarne Maribor (2018), Soške elektrarne Nova Gorica (2018), lastni izračuni.

V mesečni strukturi povprečnih podatkov obdobja 2001–2017 je HE Fala, ki izkorišča hidropotencial reke Drave, največ letne proizvodnje električne energije, 11,2 %, proizvedla junija, maja 10,7, julija 10,1 in avgu-

sta 9,2 %. Najmanjša proizvodnja je bila februarja, in sicer 5,4 %, januarja 6,2 in marca 6,8 %.

HE Dobljar 1, ki izkorišča hidropotencial reke Soče, je največ letne proizvodnje električne energije, 14,3 %, proizvedla junija, aprila 13,6, novembra 12,3 in februarja 11,4 %. Najmanjša proizvodnja je bila avgusta, in sicer 3,9 %, julija 4,2 in oktobra 4,7 %.

HE Solkan, ki izkorišča hidropotencial reke Soče, je največ letne proizvodnje električne energije, 13,4 %, proizvedla aprila, junija 13,3, novembra 12,9 in februarja 11,6 %. Najmanjša proizvodnja je bila avgusta, in sicer 3,6 %, julija 4,3 in oktobra 5,6 % (slika 10).



Slika 10: Delež povprečne mesečne proizvodnje električne energije v HE Fala, HE Dobljar 1 in HE Solkan (MWh)

Vir: Dravske elektrarne Maribor (2018), Soške elektrarne Nova Gorica (2018), lastni izračuni.

Povezanost dejavnikov tehnološkega razvoja in človeških virov

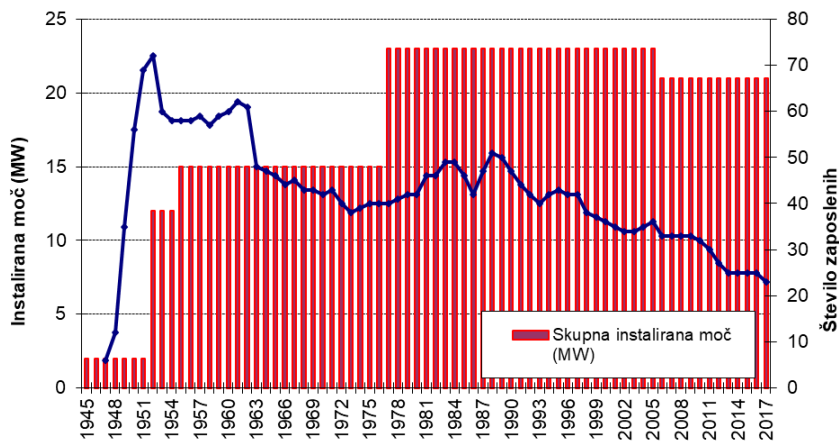
Naložbe v znanje potekajo z izobraževanjem in usposabljanjem zaposlenih na podlagi letnih razgovorov (Papler 2016).

Skoki 70-letni razvoj proizvodnih virov na lokaciji v Mostah, kjer je bila ob HE Završnica zgrajena HE Moste, smo na sliki 11 prikazali gibajući instalirane moči in števila zaposlenih.

Skupna instalirana moč agregatov se je povečevala z 2 MW (HE Završnica 1945–1950) na 12 MW z izgradnjo HE Moste (1952–1954), na 15 MW (1955–1976), na 23 MW z vgradnjo črpalnega agregata 4 (1977–2005) in na 21 MW (2006–2017).

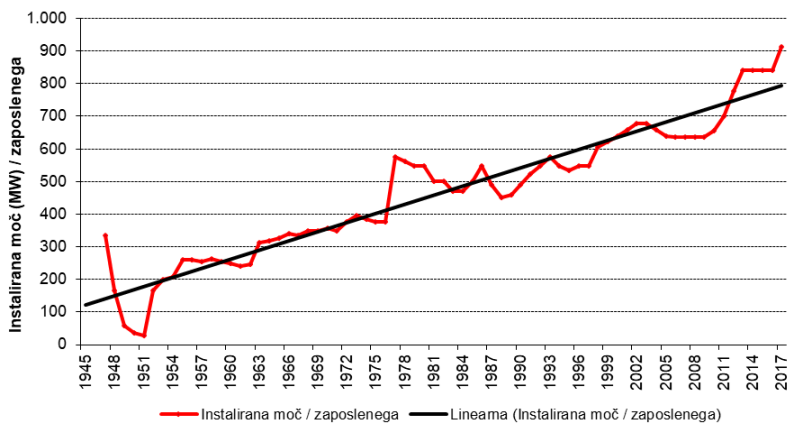
Leta 1952 je bilo zaposlenih 72 delavcev, leta 1953 60, leta 1963 48, leta 1973 38, leta 1983 49, leta 1993 40, leta 2003 34 in od leta 2013 dalje 25. S tehnološkim razvojem se je število zaposlenih zmanjšalo za dve tretjini (za 60 %).

Instalirana moč se je povečala, ob modernizaciji naprav pa se je število zaposlenih zmanjševalo. Instalirana moč agregatov se je v obdobju 1952–2017 povečala za petkrat. Leta 1952 je bila instalirana moč agregatov 166,7 kW/zaposlenega, leta 2017 pa 840 kW/zaposlenega (slika 12).



Slika 11: Instalirana moč agregatov in število zaposlenih v HE Moste v obdobju 1945–2017 (MWh)

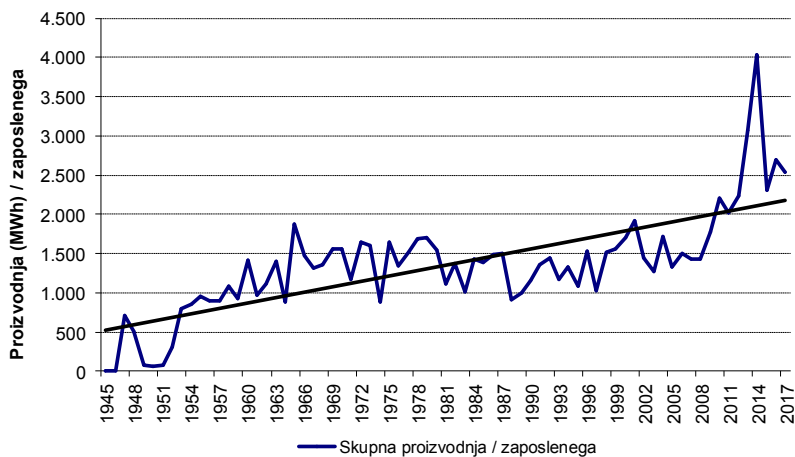
Vir: Papler (2015), lastni izračuni.



Slika 12: Instalirana moč agregatov na zaposlenega v HE Moste v obdobju 1945–2017

Vir: Papler (2015), lastni izračuni.

Povečala se je tudi proizvodnja električne energije na zaposlenega, in sicer s 310 MWh leta 1952 na 720,8 MWh leta 2012. Leti 2013 in 2014 sta bili zaradi izjemne hidrologije po proizvodnji električne energije ekstremni in je bila presežena vrednost 1.000 MWh/zaposlenega. Na sliki 13 je prikaz proizvedene električne energije na zaposlenega v obdobju 1945–2017 (MWh/zap.).



Slika 13: Proizvedena električne energije na zaposlenega v HE Moste v obdobju 1945–2017

Vir: Papler (2015), lastni izračuni.

Empirični rezultati regresijske analize

Rezultati proizvodne funkcije instalirane moči in dotokov vode

HE Moste

Ocenjena produkcijska funkcija skupne proizvodnje sistema HE Moste kaže, da povečanje instalirane moči generatorjev za en odstotek, ob enakih ostalih dejavnikih, povečuje skupno proizvodnjo električne energije za 1,19 %. Povečanje dotoka vode za en odstotek, ob enakih ostalih dejavnikih, povečuje proizvodnjo električne energije za od 1,18 do 1,12 %. Ocenjena produkcijska funkcija HE Moste kaže, da povečanje instalirane moči generatorjev HE Moste za en odstotek, ob enakih ostalih dejavnikih, povečuje skupno proizvodnjo električne energije za 0,45 %. Povečanje dotoka vode za en odstotek, ob enakih ostalih dejavnikih, povečuje proizvodnjo električne energije za od 0,68 do 0,87 % (preglednica 5).

Preglednica 5: Producerska funkcija proizvodnje HE Moste

Funkcija	Konstanta	Dotok vode Sava (m ³ /s)	Instalirana moč (kW)	AdjR ²	F
	ln (Const.)	ln (Q_Sava)	ln (Pi)		
1 In sk. proizvod. sistem Moste	4,365 (11,075)	1,181 (8,598)	1,191 (30,956)	0,933	481,678
2 In sk. proizvod. sistem Moste	7,630 (50,134)	1,123 (20,717)		0,861	429,188
3 In proizvodnja HE Moste	7,261 (14,030)	0,874 (7,195)	0,451 (4,303)	0,460	27,390
4 In proizvodnja HE Moste	9,096 (27,313)	0,678 (5,308)		0,305	28,18

* ln – naravni logaritem. V okroglem oklepaju je t-statistika.

Vir: lastni izračuni.

HE Fala

Ocenjena producerska funkcija HE Fala (za obdobje 2001–2017) kaže, da povečanje pretoka vode Drave pri HE za en odstotek, ob enakih ostalih dejavnikih, povečuje proizvodnjo električne energije HE Fala za 0,17 %. Povečanje pretoka vode Drave pri turbini A₂ za en odstotek, ob enakih ostalih dejavnikih, povečuje proizvodnjo električne energije agregata A₂ HE Fala za 0,24 %. Pretoki vode pri turbinah A₁, A₂ in A₃ niso statistično značilni. Povečanje padavin (ARSO Starše) za en odstotek, ob enakih ostalih dejavnikih, povečuje proizvodnjo električne energije HE Fala za 0,63 % (preglednica 6).

HE Doblar

Ocenjena producerska funkcija HE Doblar 1 (za obdobje 2005–2017) kaže, da povečanje povprečnega pretoka vode Soče pri HE za en odstotek, ob enakih ostalih dejavnikih, povečuje proizvodnjo električne energije HE Doblar 1 za 0,84 %. Povečanje povprečnega turbinskega pretoka vode za en odstotek, ob enakih ostalih dejavnikih, povečuje proizvodnjo električne energije agregata A₂ HE Doblar 1 za 1,95 %. Povečanje padavin (ARSO Bilje) za en odstotek, ob enakih ostalih dejavnikih, povečuje proizvodnjo električne energije HE Doblar 1 za 0,93 % (preglednica 7).

Preglednica 6: Producerska funkcija proizvodnje HE Fala

Funkcija	Konstanta	Pretok vode (m ³ /s)	Padavine (mm)	AdjR ²	F
	ln (Const.)	ln (Q _{Fala})	ln (Padav)		
1 ln proizvodnja HE (2001–17)	17,973 (15,910)	0,171 (1,250)		0,034	1,564
2 ln proizvodnja A ₂ (2001–17)	16,360 (11,717)	0,235 (1,391)		0,055	1,934
3 ln proizvodnja HE (2001–17)	15,091 (12,461)		0,626 (3,546)	0,420	12,574

* ln – naravni logaritem. V okroglem oklepaju je t-statistika.

Vir: Dravske elektrarne Maribor (2018), lastni izračuni.

43

Preglednica 7: Producerska funkcija proizvodnje HE Dobljar 1

Funkcija	Konstanta	Pov. pretok vode (m ³ /s)	Padavine (mm)	AdjR ²	F
	ln (Const.)	ln (Q _{Dobljar})	ln (Padav)		
1 ln proizvodnja HE (2005–17)	15,790 (38,114)	0,840 (6,286)		0,811	39,509
2 ln proizvodnja A ₂ (2005–17)	11,170 (4,305)	1,951 (2,312)		0,326	5,344
3 ln proizvodnja HE (2005–17)	11,592 (7,012)		0,929 (4,111)	0,639	16,898

* ln – naravni logaritem. V okroglem oklepaju je t-statistika.

Vir: Soške elektrarne Nova Gorica (2018), lastni izračuni.

HE Solkan

Ocenjena producerska funkcija HE Solkan (za obdobje 2005–2017) kaže, da povečanje povprečnega pretoka vode Soče pri HE za en odstotek, ob enakih ostalih dejavnikih, povečuje proizvodnjo električne energije HE Solkan za 1,03 %. Povečanje povprečnega turbinskega pretoka vode za en odstotek, ob enakih ostalih dejavnikih, povečuje proizvodnjo električne energije agregata A₁ HE Solkan za 0,80 %, agregata A₂ HE Solkan za 0,83 % in agregata A₃ HE Solkan za 0,63 %. Povečanje padavin (ARSO Bilje) za en odstotek, ob enakih ostalih dejavnikih, povečuje proizvodnjo električne energije HE Solkan za od 0,85 do 0,93 % (preglednica 8).

Preglednica 8: Producerska funkcija proizvodnje HE Solkan

Funkcija	Konstanta	Pov. pretok vode (m ³ /s)	Padavine (mm)	AdjR ²	F
	ln (Const.)	ln (Q _{Solkan})	ln (Padav)		
1 ln proizvodnja HE (2005–17)	13,974 (11,128)	1,033 (3,515)		0,558	12,356
2 ln proizvodnja A1 (2005–17)	14,356 (19,873)	0,797 (4,714)		0,702	22,217
3 ln proizvodnja A2 (2005–17)	14,230 (23,795)	0,833 (5,949)		0,793	35,396
4 ln proizvodnja A3 (2005–17)	15,156 (18,110)	0,628 (3,205)		0,507	10,271
5 ln proizvodnja HE (2005–17)	12,192 (7,863)		0,845 (3,938)	0,547	15,511
6 ln proizvodnja HE (2008–17)	11,592 (7,012)		0,929 (4,111)	0,639	16,898

* ln – naravni logaritem. V okroglem oklepaju je t-statistika.

Vir: Soske elektrarne Nova Gorica (2018), lastni izračuni.

Rezultati proizvodne funkcije instalirane moči na zaposlenega

Ocenjena producerska funkcija za skupno proizvodnjo kaže, da povečanje instalirane moči generatorjev na zaposlenega za en odstotek, ob enakih ostalih dejavnikih, povečuje skupno proizvodnjo električne energije na zaposlenega za od 0,98 do 1,10 %. Povečanje dotoka vode za en odstotek, ob enakih ostalih dejavnikih, povečuje proizvodnjo električne energije na zaposlenega za 1,09 %. Ocenjena producerska funkcija za proizvodnjo HE Moste kaže, da povečanje instalirane moči generatorjev na zaposlenega v HE Moste za en odstotek, ob enakih ostalih dejavnikih, povečuje skupno proizvodnjo električne energije na zaposlenega za od 0,65 do 0,79 %. Povečanje dotoka vode za en odstotek, ob enakih ostalih dejavnikih, povečuje proizvodnjo električne energije na zaposlenega za 0,99 % (preglednica 9).

Preglednica 9: Producerska funkcija proizvodnje HE Moste na zaposlenega

	Konstanta	Dotok vode Sava (m ³ /s)	Instalirana moč/zap. (kW/zap)	AdjR ²	F
	ln (Const.)	ln (Q_Sava)	ln (Pi/zap.)		
1 ln proizvodn- ja sistema HE/ zap.	-2,349 (-4,404)	1,093 (7578)	1,097 (24,124)	0,896	291,144
2 ln proizvodn- ja sistema HE/ zap.	1,193 (3,406)		0,981 (16,821)	0,808	282,954
3 ln proizvod- nja HE Mo- ste/zap.	-0,304 (-0,516)	0,991 (7563)	0,793 (12,322)	0,730	84,785
4 ln proizvod- nja HE Mo- ste/zap.	3,122 (5,981)		0,653 (7,648)	0,481	58,491

* ln – naravni logaritem. V okroglem oklepaju je t-statistika.

Vir: lastni izračuni.

Ključni parametri

Proizvodnja električne energije je povezana tudi z vprašanjem vpliva na okolje. Stremimo k čim boljši izrabi naravnih danosti in seveda čim manjši obremenitvi okolja. Prispevek hidroelektrarn na slovenskih rekah in vodotokih k okolju je merljiv in za zgled prispevka k boju proti podnebnim spremembam. Takšen prispevek bo treba negovati in razvijati naprej, zlasti zato, da bo država čim prej spoznala pomen te energije in dala več spodbud ter povzročala manj zapletov pri pridobivanju soglasij za tovrstne projekte. Hidroelektrarne ne onesnažujejo okolja, objekti imajo dolgo življenjsko dobo in nizke obratovalne stroške. Hidroenergija je v primerjavi z drugimi viri električne energije, tu mislimo na fosilna goriva in uranovo rudo, razmeroma poceni in čist energetski vir. Pri delovanju hidroelektrarn ni odpadkov in emisij ogljikovega dioksida ali drugih onesnaževalcev ozračja.

Poslovno okolje, v katerem poslujejo hidroenergetske proizvodne družbe, je postalo zelo dinamično. V zadnjem obdobju se je situacija močno zaostila tudi na področju poslovanja, ki je povezano s proizvodnjo električne energije. Cene električne energije so se v omenjenem obdobju znižale za več kot 30 %. Podjetja se odzivajo in izboljšujejo vse ključne parametre poslovanja. Proizvodni objekti hidroelektrarn so prenovljeni, avtomatizirani in ustrezno vzdrževani. Vršna energija v akumulacijskih

hidroelektrarnah je priložnost za doseganje višjih cen ob vključevanju v sistemske storitve ali storitve prilagajanja električne energije.

V oskrbi z električno energijo ima pomemben delež hidroprodukcija, na katero imajo vpliv tehnološki, naravni in finančni dejavniki.

Obratovanje in vzdrževanje hidroelektrarne

Izkoriščanje energetskega potenciala na vodotokih

Podjetje Gorenjske elektrarne, d. o. o., je bilo ustanovljeno na podlagi Uredbe o pogojih za pridobitev statusa kvalificiranega proizvajalca električne energije. Ustanovitelj in edini družbenik je Elektro Gorenjska, d. d. Gorenjske elektrarne, d. o. o., so začele poslovati leta 2002, do tedaj pa se je dejavnost proizvodnje električne energije v hidroelektrarnah opravljala v poslovni enoti za proizvodnjo električne energije družbe Elektro Gorenjska.

Preglednica 10: Delež proizvodnje električne energije iz proizvodnih virov podjetja Gorenjske elektrarne

Porečje	Delež (%)
Sava Bohinjka	50,46
Sava	16,31
Sava Dolinka	7,24
Tržiška Bistrica	10,36
Sora	5,50
Kokra	5,17
Sončne elektrarne	4,36
Soproizvodnja	0,60
Skupaj	100,00

Vir: lastni izračuni.

Proizvodni objekti Gorenjskih elektrarn so bili grajeni od leta 1898 do leta 2002, kasneje pa so se izvajale tudi rekonstrukcije njihovih posameznih delov. Da še danes obratujejo v dobri kondiciji, je zasluga predvsem dobrega sodelovanja med obratovanjem in vzdrževanjem, kvalitetnega izvajanja vzdrževalnih del med obratovanjem ter pri rednih letnih pregledih in popravilih. Leta 2008 je bila posodobljena akumulacijska HE Lomšlica (Papler in Basej 2011).

Gorenjske elektrarne so imele skupno za 14,832 MW instalirane moči proizvodnih virov (leta 2013 14,607 MW), od tega instalirano moč 10,970 MW v hidroelektrarnah (73,96-odstotni delež), instalirano moč 3,272 MW v sončnih elektrarnah (22,06-odstotni delež) in instalirano moč 0,590 MW v lastnem deležu kogeneracij (3,98-odstotno).

48

Skupna proizvodnja ekološko čiste električne energije je proizvedena v 15 hidroelektrarnah podjetja Gorenjske elektrarne; daje okoljske prihranke, in sicer je bilo po metodologiji Centra za energetska učinkovitost Inštituta Jožef Stefan pri izračunu CO_2 (0,5 kg CO_2 /kWh) ugotovljeno zmanjšanje za 33.337,075 ton emisij CO_2 .

Vzdrževanje hidroelektrarne

Hidroelektrarna Zvirče je pretočno derivacijskega tipa in izkorišča vodni potencial vodotoka Tržiška Bistrica. Zgrajena je bila leta 2002 ter opremljena tako, da v normalnih razmerah obratuje avtomatsko brez posadke, paralelno z 20 kV-električnim omrežjem. V strojnico elektrarne sta vgrajena dva agregata nazivne moči 185 kW. Povprečna letna proizvodnja hidroelektrarne je 1.300 MWh. Proizvodnja je glede na povprečje nihala od -13 % v sušnem letu do +40 % v mokrem letu. Odstopanja so rezultat hidrologije vodotoka in vlaganj v vzdrževanje ter posodobitev hidromehanske opreme in upravljalnega sistema.

Opremljena je tako, da v normalnih razmerah obratuje avtomatsko brez posadke. Celoten sklop hidroelektrarne sestoji iz jezua, vtočnega objekta, betonskega cevovoda, razbremenilnika, jeklenega cevovoda ter strojnice z iztokom.

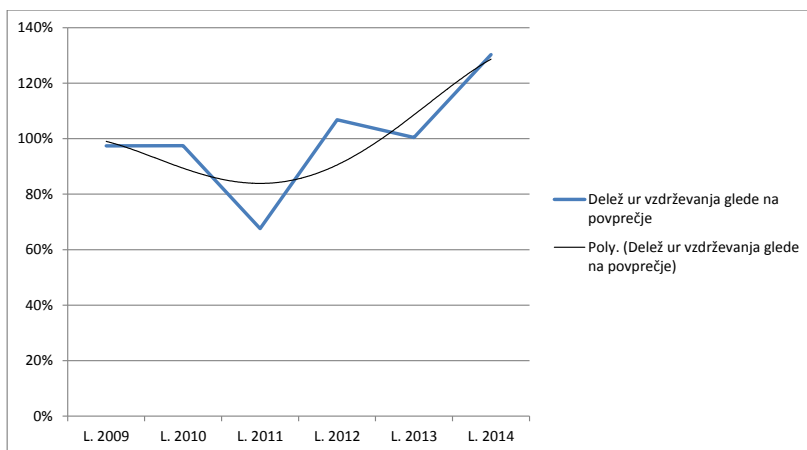
Vzdrževanje zagotavlja in bistveno prispeva k ohranjanju zanesljivosti opreme in naprav v hidroelektrarni. Kvalitete lastnosti opreme in naprav (zanesljivost, izkoriščenost, starost ...) ter njihova vrednost se s časom uporabe slabšajo. Poslabšanje prvotne kvalitete lastnosti opreme in naprav je posledica delovanja sledečih vzrokov: obrabe, staranja, okvar, poškodb, lomov. Z rednim vzdrževanjem je treba zato podaljšati sposobnost normalnega obratovanja naprave in uporabnost opreme. Doba fizične uporabnosti opreme in naprav je odvisna od tehničnih karakteristik

(konstrukcijska zasnova, kvaliteta sestavnih delov ...), načina uporabe, vzdrževanja (Basej in Papler 2013).

Po letnem programu dela so bila opravljena načrtovana vzdrževalna dela strojev in naprav v vseh hidroelektrarnah. Namen načrtovanega preventivnega vzdrževanja je zmanjšanje verjetnosti pojava odpovedi sestavnega dela naprave ali sistema, kar dosežemo z ustreznimi posegi, ki jih izvajamo po vnaprej opredeljenih merilih. Preventivno vzdrževanje je obsegalo pregledovanje stanja elektroenergetskih naprav, revizijo strojev in naprav v hidroelektrarnah ter izvajanje kontrolnih meritev, funkcionalnih preizkusov delovanja naprav in preizkusov delovanja zaščitnih naprav v elektrarnah.

Vzdrževanje HE Zvirče je zaradi iztrošenosti in dimenzioniranja posameznih delov opreme z nižjim varnostnim faktorjem zahtevalo vedno večje število ur vzdrževanja, tako načrtovanega kot nenačrtovanega. Zaradi težav z obratovanjem čistilnega stroja in ročnimi pogoni hidromehanske opreme je bila nujna investicija v omenjeno opremo. Na sliki 14 je prikazano gibanje deleža števil ur vzdrževanja glede na povprečje.

49



Slika 14: Delež ur vzdrževanja HE glede na povprečje

Vir: lastni izračuni.

Verižni čistilni stroj za čiščenje finih rešetk na zajetju HE Zvirče je vgradil prvotni lastnik elektrarne v letih 2000 in 2001. Naprava sama je že od vsega začetka šibko dimenzionirana, poleg tega je zaradi dolgotrnega obratovanja prišlo do močne obrabe posameznih vitalnih delov, tako da čistilni stroj ne omogoča več zadovoljivega čiščenja finih rešetk pred vtokom v cevovod proti turbini, še posebej ob nekoliko povišanem vodostaju.

Zadovoljivo delovanje čistilnega stroja je bilo mogoče doseči samo z vgradnjo nove, močnejše, preizkušene naprave domače konstrukcije, izdelave in vgradnje. Konstrukcija čistilnega stroja ima dva para verižnih koles z dvema zajemalcema. Poganja jo gonilo slovenskega proizvajalca. Zaradi nevarnosti poplave ob visokih vodah sta glavna gonilna gred in motorno gonilo montirana 0,5 m više kot pri obstoječem stroju.

Analiza proizvodnje električne energije

V obdobju 2009–2014 so bila značilna nihanja v proizvodnji električne energije HE Zvirče, ki so odraz hidrologije Tržiške Bistrice, ki je po vodnatosti stabilna reka. Planirana povprečna letna proizvodnja je 2019,501 MWh električne energije.

50

Letni plan proizvodnje je odstopal od -7,8 % leta 2011 do +49,0 % leta 2013.

Značilnost reke Tržiške Bistrice je stalna voda, kar omogoča stalno izrabo vodnega potenciala za proizvodnjo električne energije. Glede na dolgoletno povprečje proizvodnje je postavljen plan proizvodnje. Enakomerna vodnatost vpliva na stabilno proizvodnjo, ki ima mesečno porazdelitev od 6,1 (oktober) do 11,1 % (maj).

Mesečna proizvodnja električne energije je največja v maju (11,1 %), sledijo april (9,6 %), marec (9,5 %), junij (9,2 %), december (9,0 %), julij (8,07 %), november (8,0 %), januar (8,0 %), avgust (7,0 %), februar (6,4 %) in oktober (6,1 %).

Glede na podnebne vplive pa prihaja do razlik med hidrološko sušnimi (leto 2011, leto 2012) in bolj mokrimi leti (leto 2013, leto 2014) (Papler 2015).

V obdobju 2010–2014 se je mesečna proizvodnja gibala v maju od 10,9 (leto 2012) do 13,2 % (leto 2013), v aprilu od 9,6 (leto 2010) do 12,3 % (leto 2013), v marcu od 6,4 (leto 2012) do 11,2 % (leto 2012), v juniju od 8,6 (leto 2010) do 11,4 % (leto 2012), v decembru od 6,9 (leto 2013) do 14,4 % (leto 2012), v juliju od 6,2 (leto 2010) do 9,2 % (leto 2012), v novembru od 5,5 (leto 2012) do 8,0 % (leto 2011), v januarju od 7,2 (leto 2012) do 15,3 % (leto 2011), v avgustu od 5,0 (leto 2013) do 9,2 % (leto 2012), v februarju od 5,2 (leto 2012) do 9,7 % (leto 2011) in v oktobru od 7,0 (leto 2014) do 9,2 % (leto 2011) (preglednica 11).

Izvezta so mesečna obdobja, kjer so se na HE Zvirče opravljala večja vzdrževalna in investicijska dela (april–junij 2011, junij 2014). Ne upoštevamo tudi leta 2009, ko je bil februarja izveden nakup HE Zvirče (prej HE Markelj).

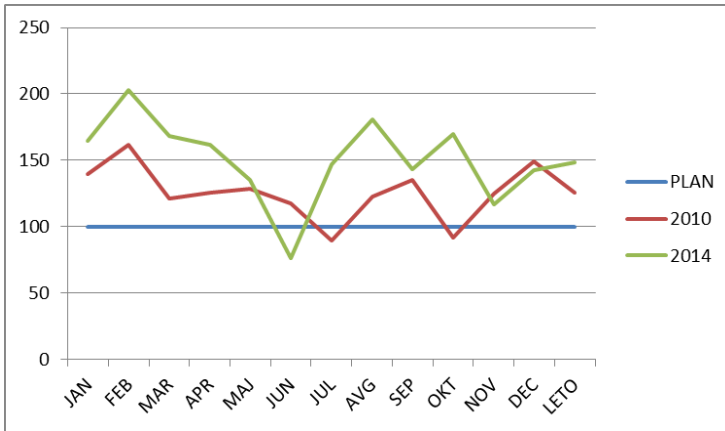
Preglednica 11: Delež mesečne proizvodnje v posameznem letu obratovanja HE Zvirče

Leto	JAN.	FEB	MAR.	APR.	MAJ	JUN.	JUL.	AVG.	SEP.	OKT.	NOV.	DEC.	Skupaj
2009	0,0	1,4	10,7	14,7	13,8	9,7	11,3	8,2	8,1	4,3	9,7	8,2	100,0
2010	8,9	8,2	9,2	9,6	11,4	8,6	6,2	7,4	7,5	4,5	8,0	10,7	100,0
2011	15,3	9,7	10,9	2,6	7,1	6,3	7,8	8,6	6,8	9,2	8,0	7,8	100,0
2012	7,2	5,2	6,4	10,1	10,9	11,4	9,2	7,6	4,6	7,7	5,5	14,4	100,0
2013	8,2	6,9	11,2	12,3	13,2	9,1	6,7	5,0	6,4	7,6	6,4	6,9	100,0
2014	8,9	8,7	10,8	10,4	10,2	4,7	8,6	9,2	6,7	7,0	6,3	8,6	100,0

Vir: lastni izračuni.

Na sliki 15 so prikazana gibanja proizvodnje glede na plan in dejansko proizvodnjo leta 2014 in primerjavo z referenčnim letom 2010.

51

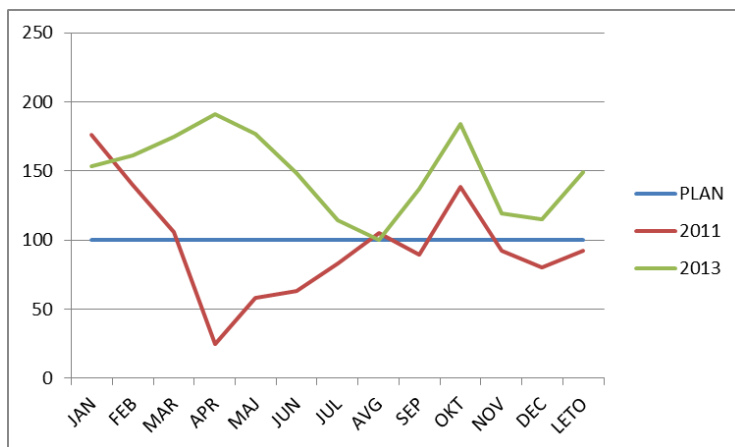


Slika 15: Indeks s stalno osnovo primerjave plana proizvodnje za HE Zvirče ($I_t = 100$) z letoma 2010 in 2014 (izvedba investicije junij, julij) (MWh)

Vir: lastni izračuni.

Na sliki 16 so prikazana gibanja proizvodnje glede na plan proizvodnje leta 2014 in primerjavo z ekstremnima proizvodnima letoma 2011 (sušno leto) in 2013 (mokro leto).

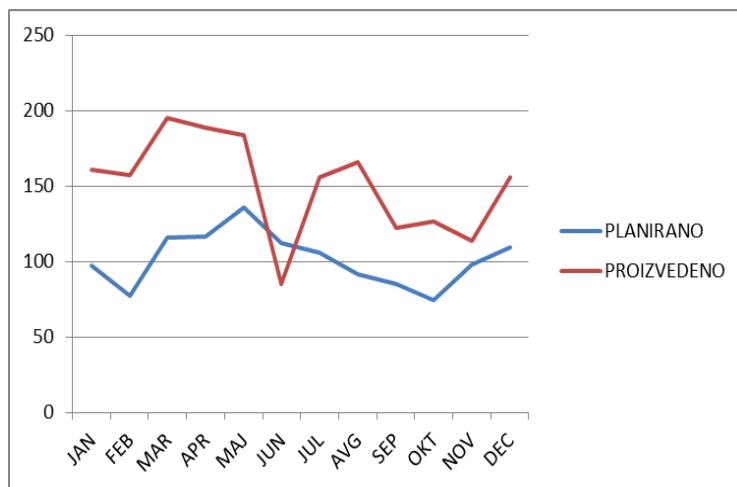
Na sliki 17 so prikazana gibanja proizvodnje glede na plan proizvodnje in dejansko proizvodnjo leta 2014, ko je bila izvedena investicija v avtomatizacijo jezua in obnovo hidromehanske opreme v mesecih junij in julij. Zato je bila takrat proizvodnja električne energije v HE Zvirče, kljub izredno vodnatemu letu, skoraj enaka letu 2013.



52

Slika 16: Indeks s stalno osnovo primerjave plana proizvodnje za HE Zvirče ($I_t = 100$) z ekstremnima letoma 2011 (min – slaba hidrologija) in 2013 (maks. – dobra hidrologija)

Vir: lastni izračuni.



Slika 17: Primerjava plana in dejanske proizvodnje električne energije HE Zvirče v letu 2014 (MWh)

Vir: lastni izračuni.

Obratovalna pripravljenost

Hidroelektrarna Zvirče glede na proizvodnjo predstavlja šesti največji proizvodnji objekt v upravljanju Gorenjskih elektrarn. S tega vidika je pomembna tudi obratovalna pripravljenost vseh delov hidroelektrarne, kar dosežemo samo s primernim vzdrževalnim ciklom. Kljub rednemu vzdrževanju pa je zaradi slabšega dimenzioniranja prišlo do okvar predvsem hidromehanske opreme.

Pri tem je treba poudariti potrebnost investicij pri obratovanju hidroelektrarne. Z naložbo se je izboljšala tudi stopnja varnosti obratovanja elektrarne, kar je tudi dejavnik upravičljivosti naložbe, čeprav ga ni mogoče ekonomsko ovrednotiti.

V primeru preslabega investiranja je za redno obratovanje potrebna večja prisotnost obratovalnega kot vzdrževalnega osebja. Vse to je končno povezano s stroški objekta, ki nam na koncu lahko zelo poslabšajo finančni rezultat.

Analiza učinkov prenove akumulacijske hidroelektrarne

V letih 2007–2008 je bila rekonstruirana akumulacijska Hidroelektrarna Lomščica (1991) moči 2 MW z novim bočnim zajetjem s povečanim peskolovom, ki je nadomestil neustrezno »tirolsko« zajetje. Med večjimi vzdrževalnimi deli je bila opravljena sanacija akumulacijskega bazena z volumnom 66.000 m³ (Bojnec in Papler 2007).

Načrtovani učinki so predvidevali 3-odstotno povečanje letne proizvodnje električne energije, zmanjšanje stroškov za odstranjevanje naplavin in manjše stroške rednega dela. Ugotavljali smo učinke v šestletnem obratovanju 2009–2014 z vidika izboljšanja izkoristkov proizvodnje električne energije in povečanih prihodkov zaradi doseženih višjih cen električne energije za obratovanje v dopoldanskem dnevnem diagramu, ko je večja potreba po vršni energiji.

Izvedli smo kontrolo doseženih ekonomskih kazalnikov v primerjavi z načrtovanimi ob odločitvi za naložbo in ocenili tveganja. Nadalje smo z vidika koristnosti še ovrednotili ekološke koristi in izvedlie ekonomsko analizo stroškov ter koristi.

Vodni energetski potencial gorskega vodotoka

Proizvodna enota HE Lomščica se nahaja nad vasjo Lom pri Tržiču, kjer izrablja vodni energetski potencial potoka Lomščica s srednjim pretokom $Q_i = 1,04 \text{ m}^3/\text{s}$. Srednjetlačna pretočno akumulacijska hidroelektrarna je bila zgrajena leta 1991 in je edina akumulacijska hidroelektrarna podjetja Gorenjske elektrarne, d. o. o. (Papler 2007a).

Derivacijska elektrarna izrablja del vodnega potenciala vodotoka Lomščica. Zaradi težav z vzdrževanjem vtočnih rešetk in vnašanja prevelikih količin peščenih frakcij v akumulacijski bazen sta bili v letih 2007–2008 izvedena ukinitve talnega zajetja (tirolskega zajetja) ter izgradnja novega bočnega zajetja s talnim prodnim izpustom. Istočasno se je bistveno povečal tudi peskolov.

Bočno zajetje je zgrajeno na levem bregu potoka Lomščica. Vgrajena je bila sledeča hidromehanska oprema: izpustna jeklena tablasta zapornica na jezu, grobe rešetke bočnega zajetja, vtočna kotalna jeklena tablasta zapornica v peskolov, fine rešetke s čistilnim strojem in izpustna jeklena tablasta zapornica iz peskolova. Za dvig in spust zapornic je vgrajena skupna oljetlačna naprava (HPA), ki preko hidravličnih valjev omogoča krmiljenje zapornic (Papler in Basej 2011).

56

Projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja rekonstrukcije zajetja hidroelektrarne Lomščica je izdelal IKB, d. o. o., leta 2006. Marca 2007 so bila urejena lastniška razmerja in na podlagi projekta pridobljeno gradbeno dovoljenje Upravne enote Tržič. Gradbena dela so se pričela septembra 2007. Najprej sta bila delno porušena obstoječi talni prag in obstoječi peskolov, ki je bil poddimenzioniran in ni omogočal usedanja zadostnih količin vnešenega peščenega materiala. Groba gradbena dela so bila zaključena do konca decembra 2007, vodotok je bil skozi nov betonski objekt preusmerjen januarja 2008, sledila je montaža strojne in elektroopreme. Tehnični pregled novega gradbenega objekta in vgrajene elektrostrojne opreme z izvršilno dokumentacijo s strani nadzornih, izvedenskih, inšpekcijskih ter upravnih pooblaščenec je bil opravljen 15. decembra 2008, uporabno dovoljenje pa je Upravna enota Tržič izdala januarja 2009.

Akumulacijski bazen prostornine 62.300 m³ se pri srednjem pretoku potoka Lomščica ($Q_{sr} = 1,04 \text{ m}^3/\text{s}$) polni približno 16 ur, prazni pa se približno osem ur pri inštaliranem pretoku HE (ki je $Q_i = 2 \text{ m}^3/\text{s}$), brez upoštevanja dotoka. Gladina vode v akumulacijskem bazenu se v času praznjenja zniža za 13 metrov. Tik za izstopom iz bazena se nahaja vodostan, kjer so varnostne lopute tlačnega cevovoda.

Predvideni učinki investicije

Vršna energija

Hidroelektrarna Lomščica je akumulacijska HE z dnevna akumulacijo in služi za pokrivanje dopoldanske konice. HE začne obratovati med 7. in 8. uro zjutraj in obratuje šest do sedem ur. V tem času proizvede prib-

ližno 13 MWh električne energije in tako prispeva približno 1,72 % električne energije za pokrivanje jutranje konice na preskrbovalnem območju Elektra Gorenjska. Urna proizvodnja zaradi nižanja gladine v akumulacijskem bazenu nekoliko pada. Čas do dneva ponovnega zagona je odvisen od vremenskih razmer, to je količine padavin. Če so vremenske razmere ugodne, HE obratuje vsak dan, v nasprotnem primeru pa do dneva ponovnega zagona mine dan ali dva brez obratovanja (Papler 2007b).

S srednjo letno proizvodnjo $Q_{365} = 3.483$ MWh električne energije predstavlja približno 6,8 % proizvodnje vseh proizvodnih enot Gorenjskih elektrarn.

Obratovanje proizvodnje

Planirana srednja letna proizvodnja električne energije hidroelektrarne Lomščica je bila 2,98 milijona kWh. Na dejansko doseženo proizvodnjo električne energije vpliva hidrologija.

Najslabši doseženi letni proizvodnji HE Lomščica sta bili leta 2003 1.943.394 kWh, tj. 34,8 % pod planom, in leta 1993 2.297.161 kWh, tj. 22,9 % pod planom letne proizvodnje. Najboljši doseženi letni proizvodnji sta bili leta 2004 3.715.006 kWh, ko je bil plan presežen za 24,7 %, in leta 1996 3.575.068 kWh, ko je bil letni plan presežen za 20 %.

HE Lomščica je hudourniškega značaja in ima z vidika sezonskosti največjo proizvodnjo v jesenskih mesecih, kar je posledica deževja, ter v spomladanskih mesecih, ko se tali sneg v gorah.

Prihaja pa do ekstremno nizkih in visokih hidroloških razmer, ki vplivajo na odstopanje od proizvodnje električne energije. Pri izbranem letu 1993 je bila marca dosežena proizvodnja 39 %, junija 34,7, julija 25,9 in avgusta 37,5 %. Leta 2003 je bila aprila dosežena proizvodnja 49,9 %, junija 39,1, julija 36,3, avgusta 34,4 in septembra 38,8 %. Pri izbranem letu 1996 je bila julija proizvodnja presežena za 60,2 %, avgusta za 92,6, oktobra za 48,2. V rekordnem letu 2004 je bila maja proizvodnja presežena za 75,8 %, junija za 64,2 in julija za 56,2 %.

Naložba v prenovo akumulacijske hidroelektrarne

Financiranje naložbe

Vrednost naložbe je bila 996.485 EUR, od tega je šlo 767.463 EUR oz. 77 % za rekonstrukcijo zajetja in 229.022 EUR oz. 23 % za sanacijo akumulacijskega bazena.

Pri rekonstrukciji zajetja je šlo 72 % v gradbeni objekt novega jez za vtočnim delom, 20,7 % v hidromehansko opremo (zapornice 7,8 %, čistilni stroj 9,9 %, hidravlični pogon zapornic 3,0 %) in 7,3 % v elektroopremo upravljalnega sistema zajetja z optično povezavo jez – akumulacija – strojnica (preglednica 12). Investicijo so v celoti financirali z lastniškim kapitalom.

Preglednica 12: Struktura stroškov prenove zajetja akumulacijske HE Lomščica

		Gradbeni del	69,9	Jez z vtočnim delom	69,9
Gradbeni objekt	72,0	Nadstrešek nad HPA in čistilnim strojem	2,1	Brunarica HPA	0,6
				Nadstrešek nad čist. strojem	1,5
Hidromehanska oprema	20,7			Čistilna zapornica na jez	4,1
		Zapornice	7,8	Vstopna zapornica	1,9
				Izpustna zapornica – temeljni izpust	0,7
				Vstopna zapornica v cevovod	1,1
		Čistilni stroj	9,9	Čistilni stroj	9,9
		HPA	3,0	Hidravlični agregat s povezavami	3,0
Elektrooprema	7,3	Upravljalni sistem zajetja	6,1	Upravljalni sistem zajetja	6,1
		Optična povezava jez – akumulacija – strojnica	1,2	Optična povezava jez – akumulacija – strojnica	1,2
Skupaj	100,0		100,0		100,0

Vir: lastni izračuni.

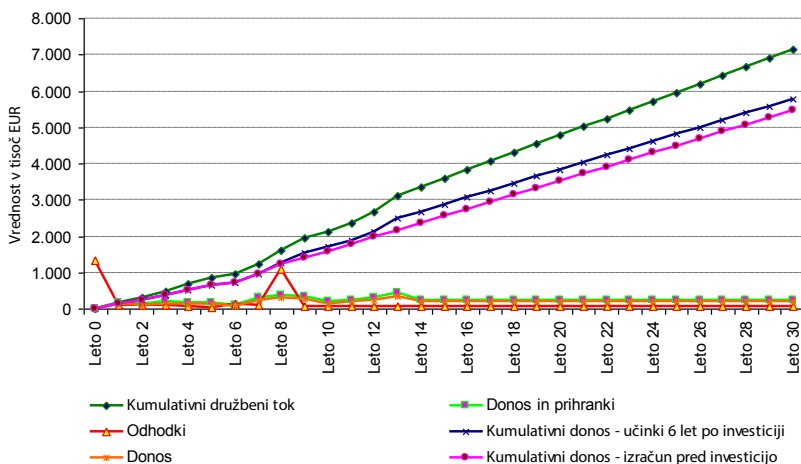
Ekonomski kazalniki naložbe

Naložba v prenovu zajetja je bila izvedena osmo leto po ustanovitvi podjetja. V izračunu smo upoštevali vrednosti osnovnih sredstev hidroelektrarne in izračunali letne amortizacijske vrednosti po posameznih skupinah osnovnih sredstev, ki imajo različne amortizacijske stopnje. Hidroproizvodni objekt je z doaktiviranjem vrednosti naložbenega projekta povečal vrednosti osnovnih sredstev in letni odpis amortizacije. Njegova prednost je v zmogljivejši, obratovno posodobljeni in kakovostni napravi. V izračunih se je upoštevala 30-letna doba časovne dinamike, kot je tudi čas trajanja pridobljene koncesije za izrabo hidroenergetskega potenciala potoka Lomščica. Za obdobje od prvega do osmega leta so bili uporabljeni dejanski podatki, za obdobje po izgradnji in kolovdaciji novih osnovnih sredstev pa nove izračunane vrednosti, ki smo jih definirali z amortizacijskim načrtom za gradbeni del elektrarne (jez, akumu-

lacijski bazen), hidromehansko in elektroopremo. Stroški vzdrževanja so ocenjeni na podlagi realnih podatkov predhodnih let. Z investicijo v rekonstrukcijo vtočnega objekta HE Lomščica se vnaprej zmanjšujejo stroški čiščenja akumulacije.

Rekonstrukcija vtočnega objekta HE Lomščica povečuje letni prihodek od prodaje električne energije. Pri izračunu dodatnega prihodka je bilo ob izvedbi investicije upoštevano 3-odstotno povečanje proizvodnje, prodajna cena električne energije pa je planirana v skladu s sprejeto novo metodologijo in z Uredbo o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije (2009). Namreč, z novo metodologijo določanja referenčnih stroškov električne energije, proizvedene iz obnovljivih virov, ki jo je Vlada Republike Slovenije sprejela 18. maja 2009, so bile zagotovljene odkupne cene za električno energijo do 31. 12. 2011 za obstoječe objekte. Za nove objekte se je čas podaljšal z 10 na 15 let od izgradnje. Od leta 2012 so bile prognozirane tržne cene za odkup električne energije (Papler in Basej 2011).

Skupni denarni tok projekta (slika 18) zajema vse donose in odhodke, tudi lastna in tuja sredstva, v življenjski dobi projekta. Vsota donosov in odhodkov mora biti vedno pozitivna oz. v času gradnje enaka nič, kar zagotavlja likvidnost projekta. Prikazani so izračunan kumulativni skupni donos po investiciji, učinki šest let po investiciji ter družbeni denarni tok.

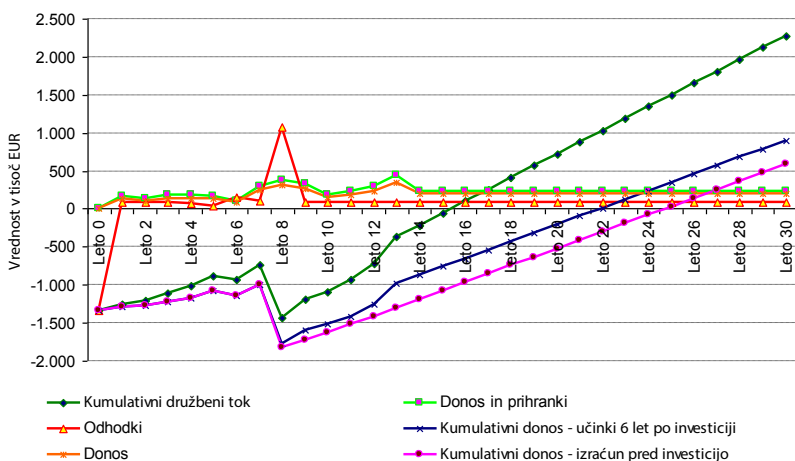


Slika 18: Skupni denarni tok in likvidnost projekta HE Lomščica

Vir: lastni izračuni.

Realni denarni tok projekta pomeni vse donose in odhodke s stališča investitorja v življenjski dobi projekta. Za naš primer je na sliki 19, ki pri-

kazuje realni denarni tok in dobo vračanja naložb, prikazan kumulativni skupni donos, ki je v izračunu z dejanskimi vrednostmi ob zaključku investicije predvidel točko preloma in prehod iz negativne v pozitivno vrednost v 24. letu obratovanja hidroelektrarne. Izračuni učinkov šest let po investiciji kažejo enostavno dobo vračanja naložbe v 21. letu obratovanja hidroelektrarne. Z upoštevanjem družbenega denarnega toka pa je enostavna doba vračanja naložbe v 15. letu obratovanja hidroelektrarne.



Slika 19: Realni denarni tok in doba vračanja investicije HE Lomščica

Vir: lastni izračuni.

Na osnovi dejanskih investicijskih vlaganj, ocenjenih dodatnih prihodkov in dodatnih stroškov v času od 9. do 30. leta življenjske dobe proizvodnega objekta smo izračunali kazalce ekonomske upravičenosti investicije.

Izračuni ekonomskih kazalcev in analize občutljivosti kažejo, da je bila investicija v rekonstrukcijo HE Lomščica ekonomsko upravičena, tudi ob predpostavki spremembe vrednosti naložbe ali letnih stroškov vzdrževanja za $\pm 10\%$. Projekt je občutljiv na količino proizvodnje električne energije in ceno. V primeru, da se spremeni količina proizvodnje električne energije ali cena električne energije za $\pm 10\%$ ob minimalnih investicijskih vlaganjih, pa je projekt na meji ekonomske upravičenosti.

Enostavna doba vračanja nam pove pričakovano število let, potrebnih za povrnitev začetnega investicijskega izdatka, ali z drugimi besedami, kako hitro bodo neto denarni tokovi, ki bodo posledica investicije, povrnili začetni vložek. Dobro vračanja investicije ugotovimo tako, da seštevamo neto denarne tokove po posameznih letih tako dolgo, dokler nji-

hova kumulativa ni enaka investicijskemu izdatku. Izračun ne upošteva vrednosti denarja v času, saj bodočih denarnih prilivov ne diskontiramo na začetno obdobje, ampak upošteva zgolj nominalno vrednost, neodvisno od obdobja.

Preglednica 13: Ekonomski kazalci prenove HE Lomščica

	0 %	10-odstotno povečanje	10-odstotno zmanjšanje
NALOŽBA (EUR)	996.485	1.0961.134	896.837
Neto sedanja vrednost – NSD (EUR)	144.998	152.9756	136.753
Interna stopnja donosnosti – ISD	5,18 %	5,22 %	5,14 %
Indeks donosnosti	1,11	1,11	1,10
Kazalnik gospodarnosti ali ekonomičnosti – E	1,120	1,097	1,143
Kazalnik donosnosti naložb – D (%)	25,1	20,1	30,7
Kazalnik donosnosti odhodkov – Do (%)	12,0	9,7	14,3
STROŠKI (EUR)	2.548.503	2.803.354	2.293.653
Neto sedanja vrednost – NSD (EUR)		31.623	258.373
Interna stopnja donosnosti – ISD		4,55 %	5,79 %
Indeks donosnosti		1,02	1,19
Kazalnik gospodarnosti ali ekonomičnosti – E		1,064	1,182
Kazalnik donosnosti naložb – D (%)		14,1	36,0
Kazalnik donosnosti odhodkov – Do (%)		6,4	18,2
PROIZVODNJA (kWh) – sprem. količine ali	87.385.176	96.123.694	78.646.658
PRIHODKI (EUR) – sprem. cene		6.008.852	4.916.333
Neto sedanja vrednost – NSD (EUR)		376.397	- 86.401
Interna stopnja donosnosti – ISD		6,39 %	3,87 %
Indeks donosnosti		1,28	0,94
Kazalnik gospodarnosti ali ekonomičnosti – E		1,232	1,008
Kazalnik donosnosti naložb – D (%)		48,5	16,0
Kazalnik donosnosti odhodkov – Do (%)		23,2	8,0

* pri diskontni stopnji 4,375 %.

Vir: lastni izračuni.

Enostavna doba vračanja nam pove pričakovano število let, potrebnih za povrnitev začetnega investicijskega izdatka, ali z drugimi besedami, kako hitro bodo neto denarni tokovi, ki bodo posledica investicije, povrnili začetni vložek. Doba vračanja investicije ugotovimo tako, da seštevamo neto denarne tokove po posameznih letih tako dolgo, dokler njihova kumulativa ni enaka investicijskemu izdatku. Izračun ne upošteva

vrednosti denarja v času, saj bodočih denarnih prilivov ne diskontiramo na začetno obdobje, ampak upošteva zgolj nominalno vrednost, neodvisno od obdobja.

Po tej metodi izračunamo odplačilno dobo, tj. čas, v katerem se naložbe povrnejo, na naslednji način:

$$EVS = t = \frac{N}{d} = \frac{N}{Sd - S_0} \quad (1)$$

kjer je: $EVS(t)$ – odplačilna doba v letih,
 N – naložba (vložena sredstva),
 d – povprečni letni donos (letna vrednost dobička od naložb).

62

Diskontirana doba vračanja sredstev (DVS) je podobna metodi dobe vračanja vloženih sredstev. Razlika je v tem, da se denarni tok diskontira s stroški kapitala, uporabljenega na projektu. Enačba za izračun je enaka kot pri navadni dobi vračanja investicije, le da uporabimo diskontirane neto denarne tokove. Slednje diskontiramo tako, da vsakega delimo z $(1+r)^t$, kjer r predstavlja diskontno obrestno mero, t pa leto, v katerem se pojavi neto denarni tok.

$$DVS = \frac{N}{NSD} = \frac{N}{Sd - S_0} \quad (2)$$

kjer je: DVS – diskontirana odplačilna doba v letih,
 N – naložba (vložena sredstva),
 NSD – diskontirani neto skupni letni donos (letna vrednost dobička od naložb).

Diskontirana doba vračanja sredstev nam pokaže leto preloma po pokritju zahtevane stopnje donosnosti kapitala in dolgov. Ta metoda pove, koliko časa bodo sredstva vezana v projektu. Velikokrat se uporablja kot indikator stopnje tveganja projekta.

Neto sedanja vrednost (NSV) je razlika med sedanjo vrednostjo prilivov in sedanjo vrednostjo odlivov ter prikazuje absoluten donos investicije; upošteva vse denarne tokove investicije, vrednost denarja v času in strošek kapitala, ki je enak donosnosti pri netveganih finančnih naložbah (pozitivna neto sedanja vrednost tako pomeni, da je donosnost obravnavane investicije večja od donosnosti netvegane finančne naložbe, npr. naložbe v državne obveznice).

Preglednica 14: Popravljeni ekonomski kazalci učinkov z upoštevanjem dejanske proizvodnje do leta 2014

	Upoštevani 6-letni učinki po izgradnji investicije (2009–2014)	Ekonomska analiza stroškov in koristi družbe- ne koristnosti
Neto sedanja vrednost – NSD (EUR)	221.273	874.139
Interna stopnja donosnosti – ISD	5,62 %	8,84 %
Indeks donosnosti	1,17	1,66
Kazalnik gospodarnosti ali ekonomičnosti – E	1,185	1,467
Kazalnik donosnosti naložb – D (%)	38,7	97,7
Kazalnik donosnosti odhodkov – Do (%)	18,5	41,7

* pri diskontni stopnji 4,375 %.

Vir: lastni izračuni.

Neto sedanja vrednost investicije je bila izračunana na 144.998 EUR (preglednica 13), z upoštevanjem šestletnih učinkov po izgradnji investicije pa je izračunana vrednost NSV 221.272 EUR (preglednica 14).

Neto sedanja vrednost je bila izračunana ob upoštevanju 4,375-odstotne diskontne stopnje. To stopnjo smo opredelili kot minimalno zahtevano stopnjo donosa oz. stopnjo donosa za povsem netvegano investicijo.

Interna stopnja donosa (ISD) predstavlja dejansko donosnost investicije v obravnavanem obdobju; podatek je treba primerjati z referenčno stopnjo donosnosti (npr. donosnost državnih vrednostnih papirjev, obrestna mera za depozit v banki ...) (Papler 2005). Interna stopnja donosa je večja za 0,44 odstotne točke in znaša 5,62 % (izračun za leto 2011 – 5,18 %). Z upoštevanjem koristnosti okoljskih prihrankov in zmanjšanja emisij CO₂ z ekonomsko analizo stroškov in koristi se ISD poveča na 8,84 % (preglednica 14).

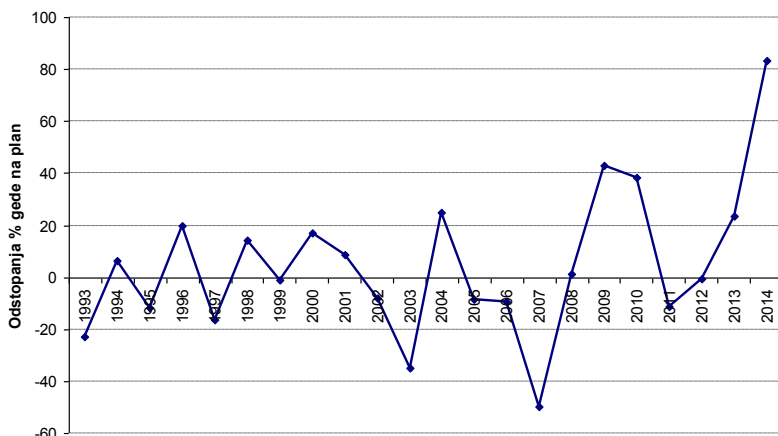
Kazalnik gospodarnosti ali ekonomičnosti (E) je 1,12 (izračun po zaključeni investiciji) oz. 1,17 (izračun z upoštevanimi učinki po izgradnji investicije), *kazalnik donosnosti naložb ali rentabilnost naložb (D)* je 25,1 % (izračun po zaključeni investiciji) oz. 38,7 % (izračun z upoštevanimi učinki po izgradnji investicije), *kazalnik donosnosti odhodkov ali rentabilnost vlaganj (Do)* pa 12,0 % (izračun po zaključeni investiciji) oz. 18,5 % (izračun z upoštevanimi učinki po izgradnji investicije).

Analiza proizvodnih učinkov

V obdobju 1993–2014 so značilna nihanja v proizvodnji glede na naravno hidrologijo. Najslabša proizvodnja je bila glede na povprečno letno proizvodnjo električne energije leta 2003, ko je znašala -34,8 %, najboljša pa leta 2004, ko je znašala +24,7 %.

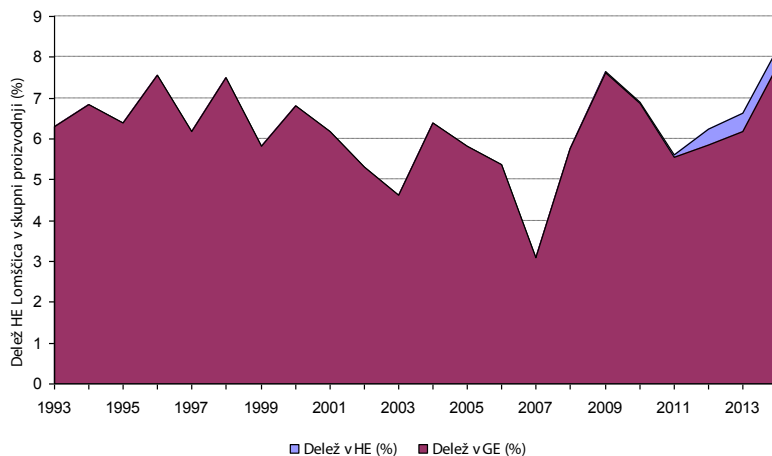
HE Lomščica je leta 2008 proizvedla 3.016.970 kWh električne energije, kar je bilo 1,2 % nad planirano proizvodnjo 2.980.280 kWh.

V hidrološko ugodnem letu 2009 je bil letni načrt dosežen v osmih mesecih. Proizvodnja HE Lomščica leta 2009 je bila 4.264.380 kWh oz. v primerjavi s planom leta 2008 za 43,1 % več. Leta 2010 je bil letni načrt presežen za 38,3 %, prav tako je bil v hidrološko ugodnem letu 2013 plan presežen za 23,7 in v rekordnem letu 2014 za 83,1 %. Za 11,5 % manjša glede na plan je bila proizvodnja električne energije v sušnem letu 2011 (slika 20).



Slika 20: Proizvodnja električne energije HE Lomščica v obdobju 1993–2014

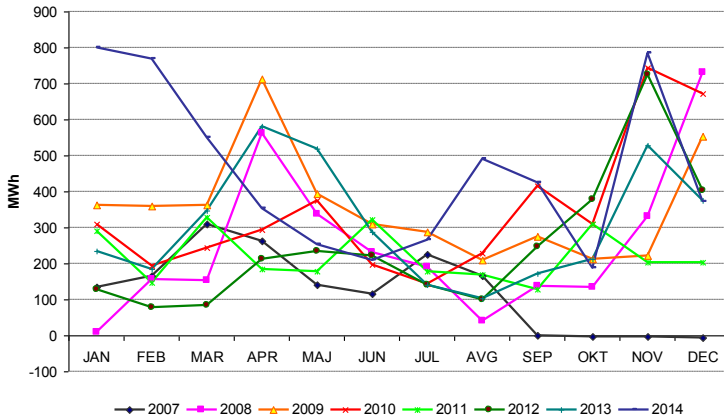
Vir: lastni izračuni.



Slika 21: Delež HE Lomščica v skupni proizvodnji hidroelektrarn in vseh proizvodnih virov podjetja Gorenjske elektrarne (GE) (%)

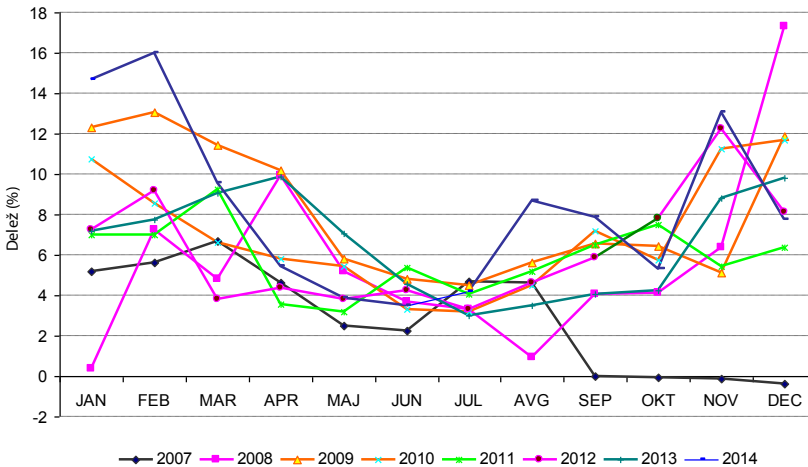
Vir: lastni izračuni.

HE Lomščica je po velikosti četrta hidroelektrarna v podjetju Gorenjske elektrarne. Po investiciji med hidroelektrarnami dosega od 5,60- (leta 2011) do 8,19-odstotni delež (leta 2014) v skupni proizvodnji (slika 21). Sliki 22 in 23 prikazujeta sezonskost proizvodnje električne energije HE Lomščica.



Slika 22: Mesečna proizvodnja električne energije HE Lomščica od rekonstrukcije zajetja leta 2007 do konca leta 2014 (MWh)

Vir: lastni izračuni.



Slika 23: Delež mesečne proizvodnje HE Lomščica od rekonstrukcije zajetja leta 2007 do konca leta 2014 (%)

Vir: lastni izračuni.

Zmanjševanje obremenjenosti okolja in varnost obratovanja

Treba je poudariti potrebnost naložbe zaradi problemov pri obratovanju hidroelektrarne zaradi naplavin. V šestletnem obratovanju prenovljene HE Lomščica se je pokazalo, da bočno zajetje omogoča obratovanje proizvodnega objekta ob visokih vodah, kar je bilo dobro izrabljeno ob izredno ugodnih vodnatih letih 2009, 2010, 2013 in 2014.

Z zmanjšano količino odloženega materiala v akumulaciji, ki ga je treba odstranjevati, se zmanjšuje obremenjenost okolja. Pri posluževanju elektrarne sta izboljšani varnost pri delu za zaposlene ter stopnja varnosti obratovanja elektrarne, kar je tudi dejavnik upravičljivosti investicije, čeprav ga ni mogoče ekonomsko ovrednotiti.

Rekonstrukcija zajetja HE Lomščica je vplivala na povečanje letne proizvodnje električne energije nad predvidevanji. Ker je hidroproizvodnja zelen, okolju prijazen obnovljiv vir energije, pomeni tudi okoljske prihranke z zmanjšanjem emisij CO₂, kar se v družbenem kontekstu odraža v ekonomiji varstva okolja in družbeni odgovornosti do okolja.

Z raziskavo smo opozorili na nujnost preverjanja izračunanih ekonomskih kazalnikov (Papler 2008a). Pri načrtovanju investicije z razpoložljivimi podatki in s predpostavkami ter z analizo občutljivosti namreč ocenimo ekonomsko upravičljivost investicije, kar je osnova za odločitev realizacije investicije (Papler 2008b). Po izvedeni izgradnji investicije in kolavdaciji osnovnih sredstev izračune kontroliramo. Z upoštevanjem doseženih dejanskih učinkov proizvodnje izračunamo ekonomske kazalnike z dejanskimi vrednostmi in ugotovimo pravilnost kazalnikov ter eventualna odstopanja v obeh smereh v okviru obvladovanja tveganj projektov. Izkušnje so koristne za oblikovanje natančnejših modelov izračunov novih projektov.

Monitoring, diagnostika in analitika v funkciji obratovanja in vzdrževanja hidroelektrarne

Obravnavana so bila področja pri obratovanju in vzdrževanju hidroelektrarne z vidika monitoringa, diagnostike ter vzdrževanja. Plan proizvodnje električne energije v hidroelektrarnah temelji na dolgoletnih povprečnih proizvedene električne energije, kjer se izvzamejo ekstremna odstopanja minimalne in maksimalne proizvodnje. Zaradi vpliva podnebnih sprememb prihaja do pogostejših sušnih obdobj, ko prihaja do nedoseganja proizvodnih ciljev. Tveganja v procesih proizvodnje električne energije pa so ob vremenskih dejavnikih, ki vplivajo na pretok vode, odvisna tudi od tehničnih dejavnikov posodobitev in izkoristkov rotirajočih strojev ter njihovega zanesljivega obratovanja. Računalniški sistem SCADA omogoča vodenje in monitoring delovanja hidroelektrarn, pomembna možnost pa sta diagnostika in analitika v funkciji vzdrževanja ter neobratovanja hidroelektrarn. Na podlagi podatkov daljših časovnih vrst smo analizirali vzroke za neobratovanje hidroelektrarn, ki jih povzročajo okvare, vzdrževalna dela ali odklop od distribucijske mreže. Rezultati so izhodišče za oblikovanje specifičnih kazalnikov kakovosti v procesih obratovanja in vzdrževanja hidroelektrarn.

Da bo možno natančneje spremljati izkoriščenost vodnega vira glede na dejanske razmere v realnem času, je cilj izdelati plan proizvodnje električne energije v hidroelektrarnah, ki upošteva regresijsko analizo proizvodnje funkcije električne energije glede na pretok vode. Z zbiranjem podatkov o dodatnih vplivnih dejavnikih je cilj nadgradnja testiranja proizvodne funkcije v hidroelektrarnah, ob pridobitvi prodajnih cen pa zasnova prihodkovne funkcije hidroelektrarn. Model omogoča primerja-

vo hidroelektrarn, ki se razlikujejo glede na specifične pogoje in naravne danosti vodotokov.

Upravljanje z energijo

Standard za upravljanje z energijo ISO 50001 se ne ukvarja s tehnološkimi rešitvami, ampak postavlja podlago za dobro organizacijo na področju upravljanja z energijo. Zahteve standarda so zelo podobne zahtevam drugih standardov na področju vodenja. Vendar je pri standardu ISO 50001 izrazit poudarek na upravljanju z energijo, zato je primeren za tiste organizacije, pri delovanju katerih je področje energetike strateškega pomena. Standard za sisteme upravljanja z energijo se lahko uporablja neodvisno ali v integraciji z ostalimi sistemi vodenja (Papler 2016). Zahteve SIST EN ISO 50001 za nas pomenijo načrtno delo pri upravljanju z lastnimi proizvodnimi objekti, ki temelji na načrtnem spremljanju proizvodnje preko računalniškega sistema vodenja SCADA v realnem času, analiziranja odstopanj in izvajanja ukrepov za stalne izboljšave.

SCADA preko komunikacijskih protokolov prejema podatke o stanju signalizacij, alarmov in meritev po objektih ter jih ustrezno obravnava v smislu prikazovanja, razvrščanja in arhiviranja v kronološke liste dogodkov, sezname alarmov ter arhivov meritev. To je informacijski tok podatkov. Omogočen je tudi ukazni tok podatkov v obratno smer, ko na objekt pošiljamo komande ter nastavitvene komande, kar imenujemo daljinsko vodenje malih hidroelektrarn (Čadež 2013).

SCADA prikazuje histogram (historični diagram) arhiviranih meritev. Možno je poljubno izbirati prikazane meritve in časovni obseg prikaza. Prikazuje seznam dogodkov z nastavljenimi nekaterimi filtri. Vidni so časi prihodov in odhodov osebja na objekte, vklopi ter izklopi generatorskih stikal in sistemski signali pristopov do sistema SCADA ter izpadov komunikacij (Čadež 2013).

Proizvodnja električne energije v hidroelektrarnah je v precejšnji meri odvisna od vremenskih pogojev. Na omenjeno proizvodnjo odločno vpliva količina padavin (Papler 2018), ki lahko povzročijo tveganja z nastankom okvar in posledično izpada proizvodnje električne energije.

Metoda dela

V računalniškem sistemu SCADA se vsi dogodki in meritve shranjujejo. S tem pridobimo bazo podatkov za izvajanje raznih analiz, ki so podlaga za izboljšanje proizvodnega procesa. Izvedli smo analizo neobratova-

nja proizvodnih objektov za hidroelektrarno Lomščica v porečju Tržiške Bistrice.

Ciljno spremljanje proizvodnje električne energije

V računalniškem sistemu SCADA se vsi dogodki in meritve shranjujejo. S tem pridobimo bazo podatkov za izvajanje raznih analiz, ki so podlaga za izboljšanje proizvodnega procesa. Izvedli smo analizo neobratovanja proizvodnih objektov v porečju Tržiške Bistrice za hidroelektrarno Lomščica.

Ciljno spremljanje proizvodnje električne energije

Aplikacija GEKenergija je energetske nadzorni informacijski sistem za obvladovanje porabe oz. proizvodnje energije. Primer uporabe v praksi izhaja iz nastavitve ciljne premice proizvodnje oz. porabe energije in regresijske premice proizvodnje oz. porabe energije za izbrano obdobje spremljanja (Novak 2015; 2016). Osnovna spremenljivka pri proizvodnji je pretok vode, odvisna spremenljivka pa proizvodnja električne energije. Osnovna spremenljivka je zunanja spremenljivka, ki je pri porabi temperatura, odvisna spremenljivka pa ogrevanje stavbe. Podatke, ki nam jih zagotavlja sistem GEKenergija, uporabimo za statistično obdelavo.

Kvantitativne statistične metode

Za obdelavo pridobljenih podatkov o proizvodnji električne energije v hidroelektrarnah smo uporabili kvantitativne raziskovalne metode, za obdelavo z multivariatnimi statističnimi analizami (Norušis 2002) pa statistični računalniški paket SPSS (Kachigan 1991).

Na primerih izbranih hidroelektrarn na Tržiški Bistrici smo na podlagi razpoložljivih podatkov testirali naravne dejavnike proizvodnje električne energije. Rezultat uporabe faktorjev pri proizvodnji električne energije smo opisali s produkcijsko funkcijo, kjer je odvisna spremenljivka proizvodnja električne energije v hidroelektrarni – *Proiz* (*MWh*), pojasnjevalna spremenljivka pa je pretok vode na merilni postaji (m^3/s) po podatkih Agencije Republike Slovenije za okolje (Papler 2018).

Proizvodnja električne energije

Instalirana moč

V družbi Gorenjske elektrarne imajo male in srednje velike hidroelektrarne skupno 10,970 od 14,832 MW skupne instalirane moči. V letu 2018 je instalirana moč proizvodnih virov ostala na enaki ravni kot v letih 2017 in 2016.

V letu 2018 so proizvodni objekti proizvedli in oddali v omrežje ter v interno omrežje 53.890 MWh električne energije. Plan proizvodnje je bil realiziran 96,31-odstotno. Povečuje se delež prodaje (2,37 %) v interno omrežje odjemalcev s priklopom elektrarn po shemi PX3, vsa ostala električna energija pa je bila prodana trgovcem.

70

EXIT		Delovna moč	Jalova moč	Odpriost T.		Nivo
GE SKUPAJ		13132.1 kW				
AL	HE SAVICA	2108.6 kW 2164.3 kW	5.6 kVar 0.9 kVar	98.0 98.7	98.4 % 98.9 %	1.50 m
	HE SOTESKA1	233.0 kW		V1/3: V2/3:	90.6 % 90.5 %	Kanal: 8.29 m
	HE SOTESKA2	1114.0 kW	0.0 kVar	Vod: Gen:	101.2 % 92.7 %	Jez: 8.42 m Iztek: 2.57 m
	HE KR. GORA	0.0 kW 114.0 kW	-0.0 kVar 30.8 kVar	Vod:	139.9 % 99.8 %	1.00 m
	HE MOJS TRANA	255.0 kW 264.0 kW	33.5 kVar 39.7 kVar	Vod:	99.8 % 99.8 %	0.83 m
	HE LOMŠČICA	1903 kW	242 kVar	Vod:	81.0 %	Jez: 2.04 m Bazen: 12.26 m
	HE ZVIRČE	176.2 kW 175.5 kW	-96.4 kVar	Gen:	85.8 %	1.09 m
	HE KOKRA	237.5 kW	0.8 kVar	Vod:	99.8 %	Nivo: 1.08 m Pretok: 6.0 m ³ /s
	HE STANDARD					
	HE CERKLJE	44.9 kW	-44.3 kVar	Vod:	34.4 %	Jez: 23.8 cm
HE ZANJIVEC	36.1 kW	-19.8 kVar				
AL	HE SAVA	408 kW 725 kW 298 kW 263 kW	50 kVar 150 kVar -267 kVar 52 kVar	Vod:	100.8 % 99.4 %	Jez: 28.6 cm Kanal: 7.9 cm Iztek: 0.93 m Padeč: 6.09 m
	HE DAVČA	113.0 kW 134.1 kW	0.3 kVar 2.4 kVar		98.9 % 98.8 %	0.79 m
	HE SORIČA	123.3 kW	24.8 kVar	Ig1: Ig2:	99.0 % 100.9 %	56.57 m
	HE RUDNO	21.9 kW 120.6 kW				57.81 m
	HE ŠK. LOKA	169.0 kW 105.0 kW	19.5 kVar -99.8 kVar	Vod: Vod:	96.5 % 95.3 %	1.06 m
	SE SKUPAJ	1902 kW				

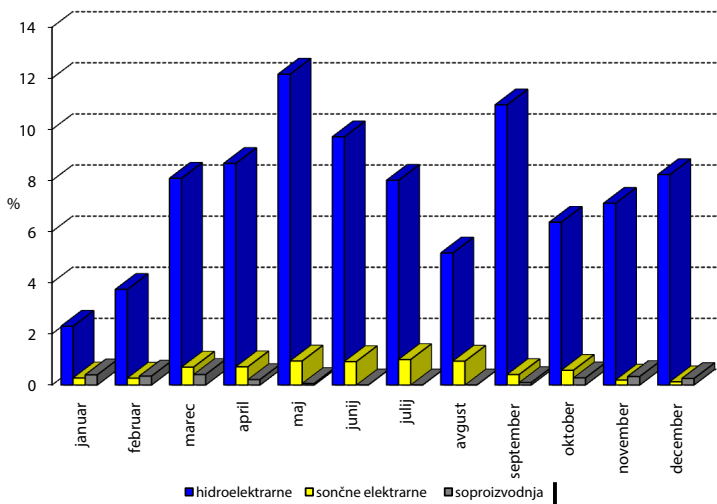
Slika 24: SCADA Gorenjskih elektrarn, ciljne vrednosti HE, 22. 9. 2017

Vir: Papler (2019).

Struktura proizvodnih virov

Leto 1

V skupni strukturi proizvodnje so hidroelektrarne proizvedle 90,55-odstotni delež električne energije, sončne elektrarne 7,06- in kogeneracije 2,39-odstotnega.



Slika 26: Sezonskost proizvodnje glede na vrsto elektrarn za posamezni mesec leta 3 (2017)

Vir: lastni izračuni.

Štiri srednje hidroelektrarne, ki sodijo v velikostni razred od 1 do 10 MW moči, so proizvedle 70,94 % vse električne energije, največ HE Savica (37,04 %), sledile pa so HE Sava (19,45 %), HE Soteska (8,90 %) in HE Lomščica (5,54 %). Med malimi hidroelektrarnami moči do 1 MW ima najpomembnejši delež HE Mojstrana (6,43 %), od 1,5 do 3-odstotni delež imajo HE Zvirče (2,73), HE Škofja Loka (2,45), HE Kokra (2,00) in HE Standard (1,34). Nižje deleže v celotni proizvodnji imajo HE Davča (1,40 %) in HE Kranjska Gora (1,13 %), HE Rudno (0,71), HE Sorica (0,56), HE Suhelj (0,003) in HE Cerklje (0,28). Od hidroelektrarn v upravljanju dosega HE Zanjivec 0,56-odstotni delež.

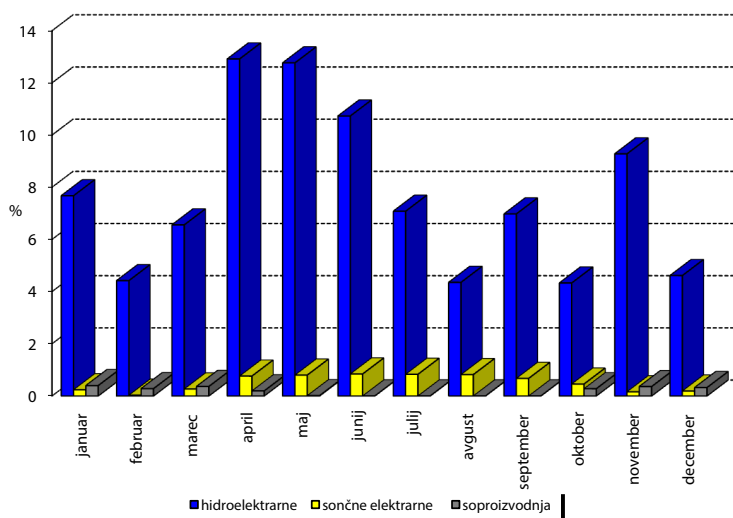
V mesečni strukturi proizvodnih virov so hidroelektrarne septembra proizvedle 95,59 %, decembra 95,57, novembra 93,10, maja 92,40 in junija 91,37 % mesečne proizvodnje podjetja. V letu 2017 ni bilo snežnih padavin, kar je imelo za posledico slabšo hidrologijo, zato hidroelektrarne niso dosegle planirane proizvodnje.

V mesečni strukturi proizvodnih virov so sončne elektrarne avgusta proizvedle 15,27 %, julija 11,07 % in zaradi suhe zime januarja 9,30 % mesečne proizvodnje podjetja. Sončno obsevanje v letu 2017 je bilo idealno, sončne elektrarne so plan presegle za 12,53 %.

Proizvodnja električne energije iz kogeneracijskih enot je potekala v času ogrevalne sezone, največji delež, 13,84 % v skupni mesečni proizvodnji, je bil dosežen marca, sledijo januar (13,34), februar (11,68) in november (11,18 %).

Leto 2

V skupni strukturi proizvodnje so hidroelektrarne proizvedle 91,72-odstotni delež električne energije, sončne elektrarne 6,07- in kogeneracije 2,21-odstotnega.



Slika 27: Sezonskost proizvodnje glede na vrsto elektrarn za posamezni mesec leta 4 (2018)

Vir: lastni izračuni.

Štiri srednje hidroelektrarne, ki sodijo v velikostni razred od 1 do 10 MW moči, so proizvedle 71,30 % vse električne energije, največ HE Savica (36,21 %), sledile pa so HE Sava (20,03), HE Soteska (9,44) in HE Lomščica (5,62). Med malimi hidroelektrarnami moči do 1 MW ima najpomembnejši delež HE Mojstrana (6,67 %), od 1,5- do 3-odstotni delež imajo HE Zvirče (2,67), HE Kokra (2,63), HE Škofja Loka (2,59) in HE Standard (1,75). Nižje deleže v celotni proizvodnji imajo HE Davča (1,43 %), HE Kranjska Gora (1,06), HE Rudno (0,67), HE Sorica (0,50), HE Cerklje (0,34) in HE Suhelj (0,11).

V mesečni strukturi proizvodnih virov so hidroelektrarne novembra proizvedle 94,67 %, februarja 93,41, maja 94,03, aprila 93,11 in junija 92,72 % mesečne proizvodnje podjetja. V letu 2018 so bile zmerne snežne padavine in posledica tega je bila boljša hidrologija kot v letu 2017. Hidroelektrarne so dosegle 95,96-odstotni delež planirane proizvodnje.

V mesečni strukturi proizvodnih virov so sončne elektrarne avgusta proizvedle 15,82 %, julija 10,49, oktobra 9,04, septembra 8,79 in junija 7,28 % mesečne proizvodnje podjetja. Sončno obsevanje v letu 2018 je bilo na povprečni ravni, sončne elektrarne so plan presegle za 0,7 %.

Proizvodnja električne energije iz kogeneracijskih enot je potekala v času ogrevalne sezone, največji delež je bil dosežen januarja (4,78 %), sledijo marec (4,39), november (4,35) in december (3,88).

74

Obratovalne ure

Obratovalne ure proizvodnih objektov po porečjih prikazuje preglednica 15.

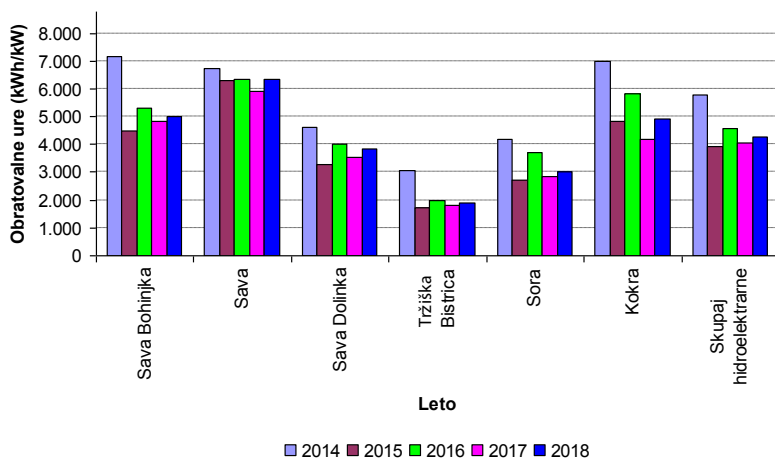
Preglednica 15: Obratovalne ure HE po porečjih v obdobju petih zaporednih let (2014–2018)

Porečja/leto	Leto 0	Leto 1	Leto 2	Leto 3	Leto 4
Sava Bohinjka	7.180,738	4.494,111	5.311,515	4.818,111	4.989,970
Sava	6.740,464	6.299,685	6.343,987	5.926,622	6.362,154
Sava Dolinka	4.606,296	3.277,529	4.012,376	3.554,062	3.828,340
Tržiška Bistrica	3.066,700	1.715,597	1.990,624	1.804,821	1.884,716
Sora	4.170,084	2.699,277	3.720,690	2.863,216	3.025,443
Kokra	7.004,620	4.812,880	5.836,875	4.172,737	4.906,641
Skupaj hidroelektrarne	5.776,154	3.943,300	4.553,416	4.055,988	4.281,966

Vir: Lastni izračuni.

Analize obratovalnih dogodkov

Analize obratovalnih dogodkov smo prikazali na primeru HE Lomščica v obdobju 2015–2018 (preglednici 16 in 17).



Slika 28: Obratovalne ure HE po porečjih v obdobju 2014–2018

Vir: lastni izračuni

Preglednica 16: Analiza obratovnalnih dogodkov HE Lomštica v obdobju štirih zaporednih let v urah (2015–2018)

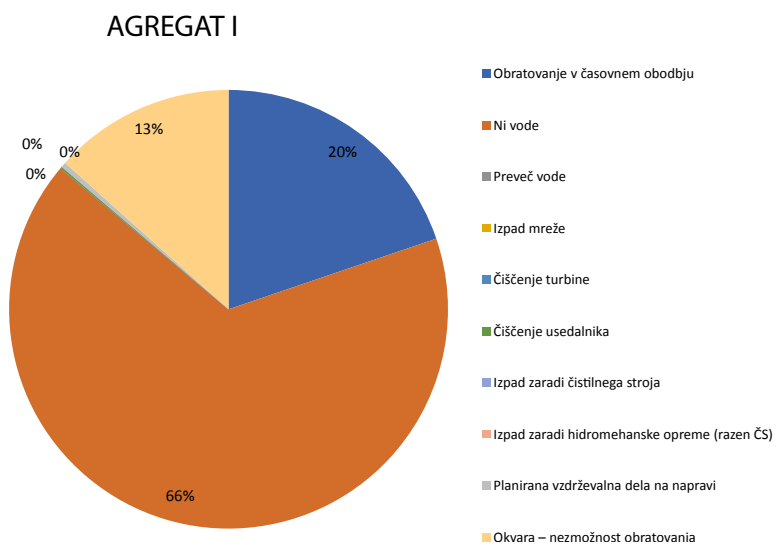
Elementi obratovanja (v urah)	Leto	Leto 1	Leto 2	wLeto 3	Leto 4
Obratovanje v časovnem obdobju	OBR	2.210,00	2.921,83	531,26	1.733,07
Ni vode	NV	6.466,00	4.689,02	5.130,93	5.810,37
Preveč vode	PV	0,00	0,00	0,00	0,00
Izpad distribucijske mreže	MR	0,05	35,40	26,80	0,05
Čiščenje turbine	CT	0,00	0,00	0,00	0,00
Čiščenje usedalnika	CU	0,00	0,00	0,92	12,58
Izpad zaradi čistilnega stroja	CS	0,00	0,00	0,00	0,00
Izpad zaradi hidromehanske opreme (razen ČS)	HM	0,25	0,00	0,00	0,00
Planirana vzdrževalna dela na napravi	PL	83,70	1.113,75	30,83	32,47
Okvara – nezmožnost obratovanja	OK	0,00	0,00	0,00	1.171,47
Lažen signal zaradi izpada komunikacije	ERR	0,00	0,00	3.039,25	0,00
Skupaj		8.760,00	8.760,00	8.760,00	8.760,00

Vir: lastni izračuni.

Preglednica 17: Analiza obratovalnih dogodkov HE Lomščica v obdobju štirih zaporednih let (2015–2018) (v %)

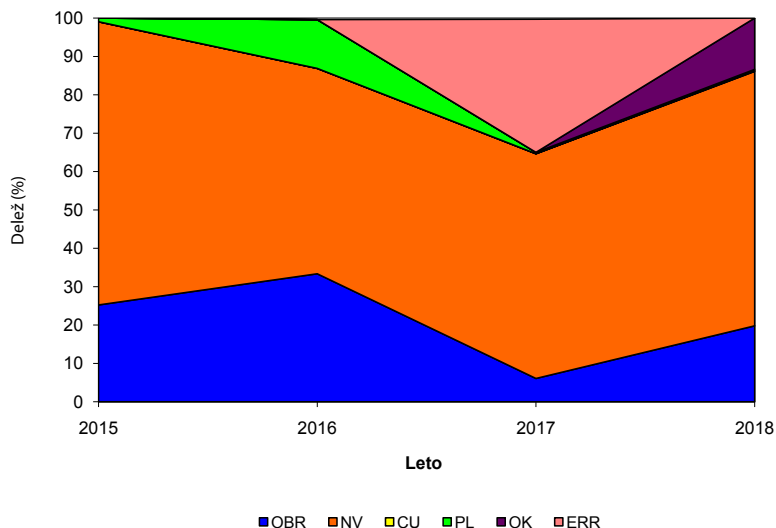
Elementi obratovanja (%)	Leto	Leto 1	Leto 2	Leto 3	Leto 4
Obratovanje v časovnem obdobju	OBR	25,23	33,35	6,06	19,78
Ni vode	NV	73,81	53,53	58,57	66,33
Izpad distribucijske mreže	MR	0,00	0,40	0,31	0,00
Čiščenje usedalnika	CU	0,00	0,00	0,01	0,14
Planirana vzdrževalna dela na napravi	PL	0,96	12,71	0,35	0,37
Okvara – nezmožnost obratovanja	OK	0,00	0,00	0,00	13,37
Lažen signal zaradi izpada komunikacije	ERR	0,00	0,00	34,69	0,00
Skupaj		100,00	100,00	100,00	100,00

Vir: lastni izračuni.



Slika 29: Analiza obratovalnih dogodkov HE Lomščica v letu 2018 (%)

Vir: Gorenjske elektrarne (2018), lastni izračuni.



Slika 30: Analiza obratovalnih dogodkov HE Lomščica v obdobju 2015–2018 (%)

Vir: lastni izračuni.

Korelacijska analiza

Korelacijska matrika kaže smer in moč odvisnosti med ocenami posameznih analiziranih dejavnikov.

Korelacijska povezanost (*Pearsonov koeficient korelacije*) med proizvodnjo električne energije HE Lomščica oz. HE Zvirče in pretoki vode Tržiške Bistrice v različnih opazovanih časovnih obdobjih je značilna – ob normalnem obratovanju hidroelektrarn je močna in stabilna.

Spremenljivka 1, proizvodnja električne energije, in spremenljivka 2, pretok vode Tržiške Bistrice, imata za HE Lomščico Pearsonov koeficient korelacije 0,973 (leto 2017), 0,787 (leto 2018) in 0,942 (obdobje 2017–2018). Za HE Zvirče je Pearsonov koeficient korelacije 0,700 (2017), 0,832 (leto 2018) in 0,749 (obdobje 2017–2018).

Regresijska analiza

Za hidroelektrarni v porečju Tržiške Bistrice HE Lomščica in HE Zvirče smo z empiričnimi rezultati pojasnili odvisno spremenljivko, proizvodnjo električne energije, z neodvisno spremenljivko, pretokom vode pri vodometri postaji Preska.

Ocenjena produkcijska funkcija agregata HE Lomščica (za obdobje 2017–2018) kaže, da povečanje povprečnega pretoka vode za en odstotek, ob enakih ostalih dejavnikih in normalnih obratovalnih stanjih, povečuje proizvodnjo električne energije HE Lomščica z 0,942 na 0,973 %. Z upoštevanjem izrednih razmer in okvar, ki imajo za posledico neobratovanje agregata, pa se beta-koeficient zniža na 0,787 %.

Povečanje povprečnega pretoka vode za en odstotek, ob enakih ostalih dejavnikih, povečuje proizvodnjo električne energije agregatov HE Zvirče z 0,700 na 0,832 % (preglednica 18).

Preglednica 18: Regresijska analiza hidroelektrarn v porečju Tržiške Bistrice

Funkcija	Konstanta	Pov. pretok vode (m ³ /s)	AdjR ²	F
	ln (Const.)	ln (Q _{Tržiška Bistrica})		
1 ln proizvodnja HE Lomščica (2017–18)	(-5,056)	0,942 (12,522)	0,881	156,812
2 ln proizvodnja HE Lomščica (2017)	(-4,563)	0,973 (13,233)	0,941	175,115
3 ln proizvodnja HE Lomščica (2018)	(-1,958)	0,787 (4,033)	0,581	16,263
4 ln proizvodnja HE Zvirče (2017–18)	(1,762)	0,749 (5,050)	0,538	25,502
5 ln proizvodnja HE Zvirče (2017)	(3,265)	0,700 (3,098)	0,439	9,599
6 ln proizvodnja HE Zvirče (2018)	(-0,232)	0,832 (4,734)	0,661	22,415

* ln – naravni logaritem. V okroglem oklepaju je t-statistika.

Vir: lastni izračuni.

Izboljšanje procesov

Monitoring, diagnostika in analitika so pomembni podporni elementi v funkciji obratovanja ter vzdrževanja hidroelektrarn. Prispevajo k dodani vrednosti za izboljšanje procesov, natančno spremljanje delovanja hidroelektrarn in pravočasno ukrepanje ob zastojih.

Cilja obdelave podatkov sta nadgradnja testiranja proizvodne funkcije v hidroelektrarnah in primerjava hidroelektrarn med posameznimi leti ter v specifičnih pogojih in ob naravnih danostih vodotokov.

Model večkriterijske analize DEXi za vzdrževanje malih hidroelektrarn

Pomemben dejavnik pri obratovanju hidroelektrarne in izkoriščanju vodnega potenciala vodotoka z vidika proizvodnje električne energije je vzdrževanje hidromehanskih naprav, elektroenergetskih naprav in gradbenih del. Vzdrževalna dela so redna preventivna dela in izredna kurativna dela po nastali okvari. Med redna vzdrževalna dela sodijo periodične revizije elektrostrojnih naprav, ki potekajo v času nizkih vodostajev, da je čim manjši izpad proizvodnje električne energije. Na zanesljivo in kvalitetno obratovanje hidroelektrarn vplivajo sistematična ter redno izvajana vzdrževalna dela strokovnjakov in vgrajeni kvalitetni materiali, ki podaljšujejo življenjsko dobo. Monitoring in diagnostika sta pomembna faktorja v funkciji vzdrževanja proizvodnih naprav. Sodobni center vodenja proizvodnih virov, opremljen z računalniško podporo SCADA, omogoča vpogled izpadov proizvodnje ter analizo razlogov za neplanirane zastoje. Energetske cilje v hidroelektrarnah merimo s kazalniki učinkovitosti revizij, z doseženimi obratovalnimi urami, s količinami proizvodnje ter z ekonomskimi rezultati. Izdelali smo model večkriterijske analize DEXi za vzdrževanje malih hidroelektrarn. Upoštevali smo več metod za vrednotenje, in sicer analizo in izbiro alternativ, kjer upoštevamo tehnične, okoljske in ekonomske dejavnike. Poleg opazovanja in medsebojnega primerjanja smo za vrednotenje alternativ uporabili metodo Kepner-Tregoe in metodo DEX z večjim poudarkom na subjektivni presoji in z uporabo parametrov in funkcij koristnosti. Z računalniškim programom za večparametrsko modeliranje DEXi smo sestavili parametre in strukture, zaloge vrednosti parametrov in funkcije koristnosti. Pri modeliranju

je v pomoč orodje za analitične odločitve z uporabo večkriterijske analize DEXi.

Uvod

Pri vrednotenju in izboru ustreznih naložb, učinkovitosti projektov ter uspešnosti storitev lahko model uporabimo za podporo odločanju večkriterijske analize, ki temelji na razgradnji odločitvenega problema na manjše podprobleme (Papler 2009).

Variante razgradimo na posamezne parametre (kriterije, attribute) in jih ločeno ocenimo glede na vsak parameter. Končno oceno variante dobimo s postopkom združevanja. Tako izpeljana vrednost je osnova za izbor najustrežnejše variante (DEXi: A Program for Multi-Attribute Decision Making, Version 5.05, b. l.).

80

Za izbor učinkovitih malih hidroelektrarn lahko uporabimo večparametrsko metodo, ki poleg opazovanja in medsebojnega primerjanja omogočajo tudi vrednotenje alternativ.

Alternative najprej ocenimo številčno (kvantitativno) ali simbolično (kvalitativno) po posameznih parametrih. Iz teh delnih ocen nato z nekim postopkom združevanja (agregacije) pridobimo končno oceno vsake alternative. Čim višja je končna ocena, tem boljša je alternativa. Na tej osnovi lahko torej izberemo najboljšo alternativo ali pa alternative razgrnemo od najboljše do najslabše (Bohanec 2006).

Na podlagi internih navodil za vzdrževanje proizvodnih objektov (Gorenjske elektrarne 2017), primerov dobrih praks in predhodnih lastnih analiz (Papler 2009) smo v preglednici Microsoft Excel in v programu za večkriterijsko odločanje DEXi zgradili odločitveni model za podporo odločanju pri naložbah, delovanju in vzdrževanju z izbranimi kriteriji. Uporabo modela smo demonstrirali na praktičnih primerih. Z odločitvenim modelom smo raziskali, katera je boljša alternativa. Za ocenjevanje vzdrževanja malih hidroelektrarn je bil razvit večkriterijski odločitveni model DEXi, ki je sestavljen iz treh komponent: kriterijev, merske lestvice (zaloge vrednosti) in funkcije koristnosti (Jereb, Bohanec in Rajkovič 2003). Predhodno pridobljeni podatki predstavljajo vhodne podatke za vnos v večkriterijski odločitveni model. Rezultati so podani v obliki končnih kvalitativnih ocen posameznih malih hidroelektrarn.

Odločitveni problem

Preučujemo problem, zbiramo podatke in informacije o alternativah. Definirali smo cilje in oblikovali kriterije. Po odločitvi smo se posvetili re-

alizaciji odločitev in spremljanju njihovih posledic. Odločitveni proces je zahteval sistematično zbiranje in urejanje znanja. V tem procesu smo pridobili dovolj informacij za primerno odločitev, s katero smo zmanjšali možnost, da bi kaj bistvenega spregledali, obenem pa se se zavedali tveganj in posledic odločitve. Bohanec (2012) priporoča, da naj bi proces potekal hitro in poceni, odločitev pa naj bi bila čim boljša. *Cilj raziskave* je oblikovati model vzdrževanja malih hidroelektrarn za oceno, ki nam bo pomagala pri izboru najprimernejše alternative.

Identifikacija problema

Predpostavili smo dovolj zahteven problem, da ga je smiselno reševati na sistematičen in organiziran način. Defnirali smo problem, določili kriterije, zalogo vrednosti, funkcijo koristnosti in uteži za odločitveni model. Predstavili smo izbor alternativ ter realizirali odločitveni model, končno analizo in rezultate.

Identifikacija alternativ

Določili smo alternative med štirimi variantami proizvodnih hidroobjektov. Izbrali smo med hidroelektrarnami z vidika instaliranih moči: mikro HE (HE 1), male HE (HE 2), srednje velike HE moči 1–2 MW (HE 3), srednje velike HE moči nad 2 MW (HE 4). Hidroelektrarne sodijo v skupino majhnih, srednje velikih in velikih proizvodnih naprav obnovljivih virov energije (OVE) v skladu z Uredbo o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije (2009), referenčnimi stroški proizvodnje električne energije iz OVE, s cenami zagotovljenega odkupa električne energije, z obratovalnimi podporami za električno energijo in dodatki k podporam za vire biomase, ki se lahko uporablja za proizvodnjo električne energije. V fazah odločitvenega procesa smo ovrednotili proizvodne hidroobjekte (MHE), ki so na različnih lokacijah in imajo različne tehnične karakteristike. Energetski zakon (EZ-1), ki je električno energijo opredelil kot tržno dejavnost, je podelil poseben status proizvajalcem OVE, ki z obratovalnimi podporami (subvencijami) delujejo spodbujevalno. Projekte smo ovrednotili v dveh korakih, in sicer z oceno stanja glede na zbrane informacije ter z oceno tveganja in analizo »kaj če« za preoptimistične informacije. Alternative predstavljajo konkretne objekte, ki pa podajajo tudi širšo usmeritev glede na to, kakšen obseg proizvodnih virov je razvojno optimalen za družbo.

Metode dela

Vhodni podatki

Izhodišče je razgradnja problema po ravnih strukture. Preko popisa posameznih faz tehnološkega procesa smo opisali vhodne podatke in problem razgradili na osnovne naloge. Vhodni podatki so bili osnova za razvoj simulacijskega modela, s pomočjo katerega smo ocenili najpomembnejše parametre (kriterije). Z računalniškim programom Microsoft Office Excel 2007 smo ocenili najpomembnejše parametre oz. indikatorje (prihodek, finančne rezultate, odkupno ceno s subvencijo in brez nje ter ekonomske kazalnike).

S kalkulacijami skupnih stroškov smo zbrali podatke in na podlagi matematičnih enačb izračunali določene ekonomske parametre (prihodek, finančni rezultat, prelomna cena, lastna cena s subvencijo in brez nje ter koeficient ekonomičnosti) ob različnih vhodnih parametrih (t. i. inputih). Pomembnejši parametri predstavljajo vhodne podatke za odločitveni model DEX.

V prvi fazi smo določili seznam atributov oz. kriterijev, na osnovi katerih smo ocenjevali poslovne alternative (variate). Pri tem smo upoštevali načelo polnosti, ki zahteva celovit pristop pri izbiri najprimernejših in najkakovostnejših kriterijev.

V drugi fazi smo kriterije hierarhično uredili z upoštevanjem medsebojne odvisnosti in vsebinskih povezav. Pomembnost kriterijev je bila zaradi različnih uteži različna. Obravnavani odločitveni problem smo strukturirali v ravnih.

Primarno raven smo predstavili z naslednjimi kriteriji: ekonomski, ki temelji na ocenjenih vstopnih parametrih iz predhodno razvitega tehnološko-ekonomskega simulacijskega modela, ter razvojni, tehnološki in okoljski, ki temeljijo na predpostavljenih ocenah. Sekundarna raven hierarhije večkriterijskega odločitvenega modela je bila sestavljena iz podkriterijev prve ravni. Na končno oceno modela vplivajo zaloge vrednosti (oz. merska lestvica) vseh primarnih in sekundarnih ravni hierarhije večkriterijskega odločitvenega modela DEXi, funkcije koristnosti in pripadajoča odločitvena pravila.

Struktura modela

Model smo razgradili na manjše in obvladljive podprobleme. Za njegovo strukturo so bile pomembne relacije med podproblemi z vidika podrejenosti oz. nadrejenosti.

Zgradili smo model, s katerim smo definirali strukturo po ravneh. Z njim smo ovrednotili alternative variant, ki smo jih primerjali med sabo in ocenili tveganja.

Na podlagi kriterijev smo ocenjevali alternative. Izdelali smo spisek nabora kriterijev. Pri tem smo morali upoštevati vse pomembne kriterije, ki odločilno vplivajo na izbiro alternativ. Nepotrebne kriterije smo zavrgli. Kriterije smo hierarhično uredili glede na medsebojne odvisnosti in vsebinske povezave. Iz tega smo dobili drevo kriterijev. Definirali smo jih z zalogami vrednosti za merjenje. Z osmimi kriteriji smo pojasnili vplivne dejavnike učinkovitosti proizvodnje električne energije iz hidroelektrarn, sedem jih je opredeljevalo ekonomske učinke in dva okoljske dejavnike.

Vrednotenje, analiza in izbira alternativ

Oceno tehničnega vidika, okoljskih dejavnikov in ekonomskih učinkov smo dobili s hierarhično agregacijo teh spremenljivk.

Za vrednotenje večparametrskega modela hidroelektrarn smo določili odločitvena pravila s pomočjo uteži. Zgrajeni model je predstavljal komponente z vrednostmi, ki so se razlikovale glede na vplivni delež. Alternative smo vrednotili po posameznih kriterijih iz zalog vrednosti.

Pri izračunu vseh alternativ je bil uporabljen program Excel. Uporabljen model se je imenoval model utežne vsote oz. model za večkriterijski izbor, kjer vrednosti kriterijev najprej preslikamo v njihove koristnosti, te pa potem z utežno vsoto še v koristnost alternativ.

Končno vrednost modela utežne vsote vrednosti kriterijev najprej preslikamo v njihove koristnosti, te pa potem pomnožimo z upoštevanjem uteži. Seštevek vseh koristnosti je vrednost, ki jo primerjamo s posameznimi alternativami. Razvrstimo jih po rangi; najvišje uvrstitve po rangi so najboljše.

Izhodiščno vrednotenje z metodo Kepner-Tregoe

Izhodišče je bilo vrednotenje z metodo Kepner-Tregoe (K-T) (Kepner in Tregoe 1981), alternative pa smo vrednotili z opazovanjem in medsebojnim primerjanjem. Alternative po posameznih parametrih smo ocenjevali s točkami od 0 do 10, kjer 10 pomeni idealno, najboljšo, najbolj zaželeno vrednost, 0 pa najslabšo, najmanj zaželeno vrednost. Podobno smo s točkami od 1 do 10 določili uteži posameznih parametrov.

Pri metodi K-T smo lahko določili uteži parametrov na dva načina: dogovorno, da ima najpomembnejši parameter neko konstantno utež, npr. 10 oz. 100 %. Uteži preostalih parametrov smo potem določili rela-

tivno glede na najpomembnejši parameter. Druga možnost je bila, da smo utež 100 (ali 100 %) porazdelili med vse parametre, kar pomeni, da smo uteži normirali na 100 %. Največja je bila utež pri parametrih cena električne energije (10) in subvencija – obratovalna podpora električne energije (10).

Analiza tveganja »kaj če«

Z analizo »kaj če« smo ugotavljali tveganja, če bi se spremenil končni rezultat kake alternative. Predpostavili smo npr., da bi se spremenila subvencija – obratovalna podpora s strani Agencije za energijo Republike Slovenije: za HE 1 se poveča subvencija z vidika spodbujanja novih manjših virov energije in se ocena poveča za dve točki, za HE 2 se subvencija poveča za eno točko, za HE 3 se zmanjša za eno točko, za HE 3 se zmanjša za dve točki. Posledično končne cene proizvedene energije z upoštevanom državno subvencijo vplivajo na finančni rezultat naložbe in ekonomske kazalnike, ki smo jih uporabili v modelu (interna stopnja donosnosti, kazalnik rentabilnosti naložb in doba vračanja naložbe).

Večkriterijska analiza s programskim sistemom DEXi

DEXi je računalniški program za odločanje med več atributi. Namenjen je interaktivnemu razvoju kvalitativnih modelov z večparametrskimi odločitvami in oceno možnosti. To je koristno za podpiranje kompleksne naloge odločanja, kadar je treba izbrati določeno možnost iz nabora za pomoč odločevalcu. Hierarhična struktura predstavlja razkroj problema odločanja v podprobleme, ki so manjši, manj zapleteni in jih lažje rešujemo kot celoten problem (DEXi: A Program for Multi-Attribute Decision Making, Version 5.05, b. l.).

Metoda kvalitativnega večparametrskega modeliranja, podprta z domačim programom DEXi, se je uveljavila pri reševanju širokega spektra odločitvenih problemov. S programom DEXi razvijamo modele, ki opisujejo vzročno-posledične relacije med spremenljivkami in se ne ukvarjajo z globljimi razlogi. Modeli DEXi vsebujejo komponente, ki so v osnovi preproste in razumljive večini uporabnikov: simbolične spremenljivke, hierarhijo spremenljivk in odločitvena pravila tipa »kaj če«. K temu je treba dodati še učinkovite mehanizme, s katerimi program uporabniku pomaga pri definiranju omenjenih komponent in ohranjanju njihove logične konsistentnosti (Bohanec in Žnidaršič 2010). Kot pomembno prednost metode DEXi so sodelujoči raziskovalci omenjali tudi priložnost, da znotraj enega modela združijo in enakovredno obravnavajo dejavni-

ke, ki izvirajo iz različnih področij (Bohanec in Žnidaršič 2010). Program DEXi je bil sprva zasnovan kot izobraževalni program za pouk odločitvenega modeliranja na gimnazijah in univerzah (Krapež in Rajkovič 2003). Bohanec in Žnidaršič (2010) ugotavljata, da so se metoda kvalitativnega modeliranja DEX, program DEXi ter modeli za podporo pri odločanju na področju uporabe gensko spremenjenih organizmov (GSO) izkazali za zelo uporabne, ker omogočajo integracijo in transparentno predstavitev odločitvenega znanja v obliki hierarhične strukture kvalitativnih spremenljivk ter odločitvenih pravil, komuniciranje in izmenjavo znanja med strokovnjaki različnih področij, aktivno vrednotenje in analizo odločitvenih alternativ ter operacionalizacijo odločitvenih postopkov v obliki modelov in računalniških orodij (Bohanec in Žnidaršič 2010). Modeli DEXi so simbolični, zato so do neke mere tudi nenatančni, njihovi rezultati pa so le približne ocene. Ker so spremenljivke modela diskretne, lahko nastopi problem ločljivosti, ko model ni sposoben razlikovati med alternativami, ki se med seboj le malo razlikujejo (Bohanec in Žnidaršič 2010). Izkušnje pri modeliranju proizvodnih energetskih naprav in pri odločanju za naložbe v bioplinarne z večkriterijsko analizo (Papler in Bojnec 2013) smo uporabili za specifičen primer obratovanja in vzdrževanja hidroelektrarne, kar je bil izziv pri razvoju hidroproizvodnih objektov; Slovenija ima namreč velik vodni potencial za izgradnjo novih objektov.

Struktura modela

S pomočjo programskega sistema DEXi smo oblikovali model. Najprej smo določili strukturo in kriterije, ki smo jim določili zalogo vrednosti. Le-ta je lahko številka oz/ številčni interval (0, 0-10000 ...) ali pa besede (sprejemljiv, nesprejemljiv ...). Na koncu smo določili še funkcijo koristnosti, po kateri se vrednosti posameznih parametrov združujejo v končno oceno ali koristnost variante. Rezultate vrednotenja pa nam grafično prikaže program DEXi in na podlagi izbranih kriterijev celo izpiše poročilo (Gavrić 2011).

Vrednotenje variant pri večparametrskem odločanju poteka na osnovi večparametrškega odločitvenega modela, ki je sestavljen iz treh komponent. Vhod v model hidroelektrarne predstavljajo: vidik učinkovitosti (tehnični vidik in naravni dejavniki), okoljski vidik in ekonomski učinki. To so spremenljivke, ki ponazarjajo podprobleme v strukturi modela z dejavniki.

Merske lestvice in zaloge vrednosti parametrov

Vsem kriterijem določimo mersko lestvico z zalogami vrednosti, ki jo lahko kriteriji zavzamejo pri vrednotenju (slika 31). Priporočljivo je, da je zaloga vrednosti vedno urejena od slabe proti dobri, ker s tem povečamo razumljivost modela in hkrati pripomoremo k lažji definiciji funkcij koristnosti.

Kriterij	Zaloga vrednosti
Proizvodni objekt	slab ; sprejemljiv; dober; prav dober; odličen
Učinkovitost	slaba ; sprejemljiva; dobra; odlična
Tehnične karakteristike	šibke ; primerne; močne
Stanje objekta	slabši ; primeren; boljši
Velikost	majhna ; srednja; velika
Starost	stara ; srednja; nova
Rekonstrukcija	za rekonstrukcijo ; obnovljena pred leti; posodobljena
Avtomatiziranost	posadka ; avtomatizirana; daljinsko upravljana
Pomembnost	nepomembna ; pomembna; zelo pomembna
Naravni dejavniki	šibki ; primerni; močni
Pretok vode	manj kot 10 m³/s ; 10 - 30 m ³ /s; nad 30 m³/s
Padavine	do 100 mm ; 100 - 200 mm; nad 200 mm
Temperatura	manj_prim ; prim; bolj_prim
Ekonomika	slaba ; sprejemljiva; dobra; odlična
Stroški	visoki ; srednji; nizki
Obratovalni stroški	visoki ; srednji; nizki
Stroški dela	visoki ; srednji; nizki
Prihodki	nizki ; srednji; veliki
Prodaja, cena	nizka ; srednja; visoka
Subvencija - premija	nizka ; srednja; visoka
Razvojni kazalci	nizek ; srednji; visok
Interna stopnja donosnosti	nizka ; srednja; visoka
Kazalnik rentabilnosti naložb	nizek ; srednji; visok
Kazalnik gospodarnosti	nizek ; srednji; visok
Okoljski vidik	minimalen ; majhen; srednji; velik
Lokacija	neustrezna ; ustrežna; zelo ustrežna
Komunikacijska podpora	majhna ; srednja; velika

Slika 31: Zaloge vrednosti po kriterijih

Vir: lasten.

Funkcije koristnosti

Funkcije koristnosti so pravila – predpisi, po katerih se vrednosti posameznih parametrov združujejo v spremenljivko, ki ponazarja končno oceno ali koristnost variante. Funkcije koristnosti definiramo od nižjih do višjih ravni v drevesu kriterijev. Koren drevesa predstavlja končno oceno alternativ. V programu DEXi zapišemo pravila v preglednico z vsemi kombinacijami, za katere definiramo vrednost, ki jo parameter zavzame (slika 32).

Tehnične karakteristike	Naravni dejavniki	Učinkovitost
56%	44%	
1 šibke	<=primerni	slaba
2 šibke	močni	sprejemljiva
3 >=primerne	šibki	sprejemljiva
4 primerne	>=primerni	dobra
5 >=primerne	primerni	dobra
6 močne	močni	odlična

Slika 32: Odločitvena pravila za poddrevo učinkovitost

Vir: lasten.

V programu DEXi nastavimo uteži v posameznih vozliščih, kjer združujemo več kriterijev v poddrevo in jim z vidika vpliva določimo vrednost uteži. Vsota uteži kriterijev znotraj poddrevesa je 100. Pri hidroelektrarnah so najpomembnejši učinkovitost (ustreznost tehničnega vidika in naravnih dejavnikov) z utežjo 39 % in ekonomski učinki z utežjo 41 %. Okoljski dejavniki imajo utež 20 %.

Rezultati

Metoda Kepner-Tregoe

Z metodo K-T so bili ugotovljeni rezultati: HE 4 je dobila največ točk (< 1.600), sledi ji HE 3 (1.500–1.600 točk), na tretjem mestu je HE 2 (1.200–1.500 točk), najslabša je alternativa HE 1 (> 1.200 točk).

Analiza »kaj če« pri metodi Kepner-Tregoe

Z analizo »kaj če« smo analizirali tveganja zaradi spremenjenih subvencij – obratovalne podpore za proizvodne vire iz OVE. Spremenili so se rezultati pri najboljši izbiri hidroelektrarn. Najboljša izbira je HE 3 (< 1.650 točk), ki je prehitela HE 4 (1.600–1.650 točk). Na tretjem mestu je HE 2, ki je povečala seštevek vrednosti (1.250–1.500 točk), na četrtem mestu je HE 1 s še nižjim seštevkom vrednosti (> 1.150 točk).

Rezultati z uporabo programa DEXi

Pri vrednotenju hidroelektrarn je bil glede na primarno raven hierarhijske večkriterijskega odločitvenega modela DEXi najbolje ocenjen »kriterij učinkovitosti«, sledi mu »ekonomski kriterij«, manj vpliva ima »okoljski kriterij« (slika 33).

Varianta	HE1	HE2	HE3	HE4
. Proizvodni objekt	sprejemlji	dober	dober	prav dober
.. Učinkovitost	sprejemlji	dobra	odlična	dobra
... Tehnične karakteristike	primerne	primerne	močne	primerne
.... Stanje objekta	primeren	slabši	boljši	primeren
..... Velikost	majhna	srednja	velika	velika
..... Starost	nova	srednja	nova	stara
..... Rekonstrukcija	posodobljen	za rekonstru	posodobljen	za rekonstru
.... Avtomatiziranost	daljinsko upr	avtomatizira	daljinsko upr	posadka
.... Pomembnost	nepomembn	pomembna	zelo pomemb	zelo pomemb
... Naravni dejavniki	šibki	primerni	močni	močni
.... Pretok vode	manj kot 10	10 - 30 m ³ /s	nad 30 m ³ /s	nad 30 m ³ /s
.... Padavine	100 - 200 ml	100 - 200 ml	nad 200 mm	nad 200 mm
.... Temperatura	prim	manj_prim	bolj_prim	bolj_prim
.. Ekonomika	sprejemlji	sprejemlji	dobra	odlična
... Stroški	srednji	visoki	nizki	visoki
.... Obratovalni stroški	srednji	visoki	nizki	visoki
.... Stroški dela	srednji	visoki	nizki	visoki
... Prihodki	srednji	srednji	srednji	veliki
.... Prodaja, cena	nizka	srednja	visoka	visoka
.... Subvencija - premija	visoka	nizka	nizka	visoka
... Razvojni kazalci	nizek	nizek	visok	srednji
.... Interna stopnja donosnosti	srednja	nizka	visoka	srednja
.... Kazalnik rentabilnosti naložb	nizek	nizek	visok	visok
... Kazalnik gospodarnosti	srednji	nizek	visok	visok
.. Okoljski vidik	srednji	majhen	velik	velik
... Lokacija	ustrezna	ustrezna	zelo ustrezna	zelo ustrezna
... Komunikacijska podpora	srednja	majhna	velika	velika

Slika 33: Tehnični, ekonomski in okoljski učinki za štiri variante

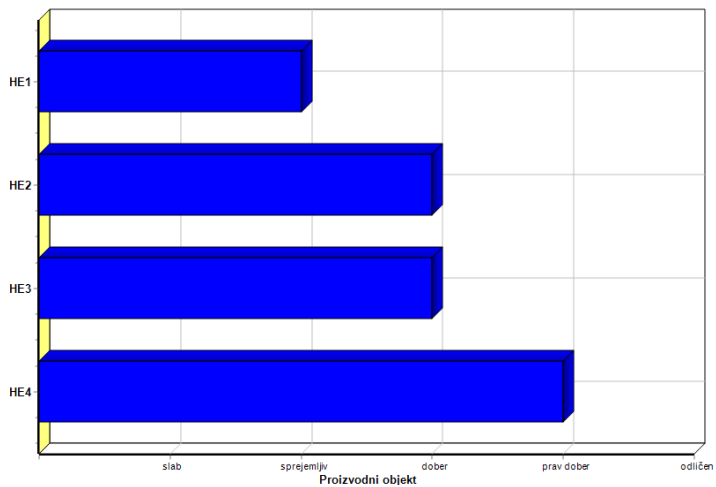
Vir: lasten.

Na podlagi primerjalnih rezultatov smo izbrali najugodnejšo varianto. Primerjave vseh alternativ smo izvedli za posamezna poddrevesa. Program DEXi je izrisal grafikone glede na izbrane kriterije.

S pomočjo programa je analiza pokazala, da je prav dobra HE 4, dobri sta HE 3 in HE 2 ter sprejemljiva HE 1 (slika 34).

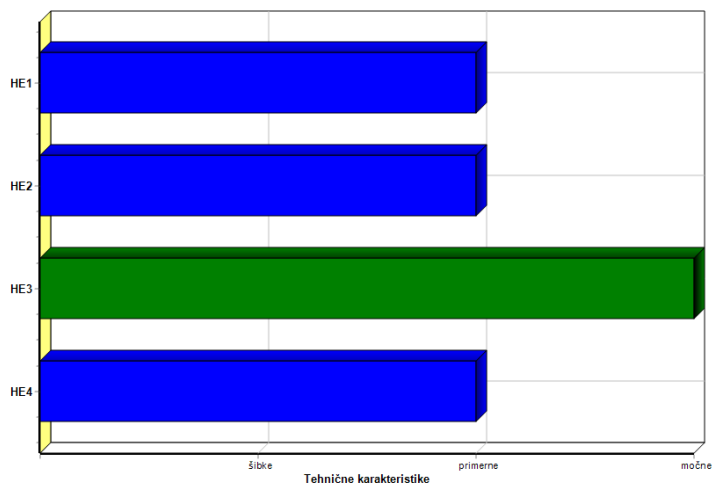
Po *tehničnem vidiku* je močna HE 3, primerne pa HE 1, HE 2 in HE 3 (slika 35). *Naravni dejavniki* so močni pri HE 3 in HE 4, primerni pri HE 2 in šibki pri HE 1 (slika 36). Odlično oceno *ekonomskih učinkov* ima HE 4, dobro HE 3 in sprejemljivo HE 1 ter HE 2. Pri *okoljskem vidiku* so ocene za HE 3 in HE 4 velik, za HE 1 srednji in za HE majhen. Z *ekonomskega vidika* je odlična HE 4, dobra HE 3 in sprejemljivi HE 1 ter HE

2 (slika 37). *Razvojni kazalci* so odlični za HE 3, srednji za HE 3 in nizki za HE 1 ter HE 2 (slika 38).



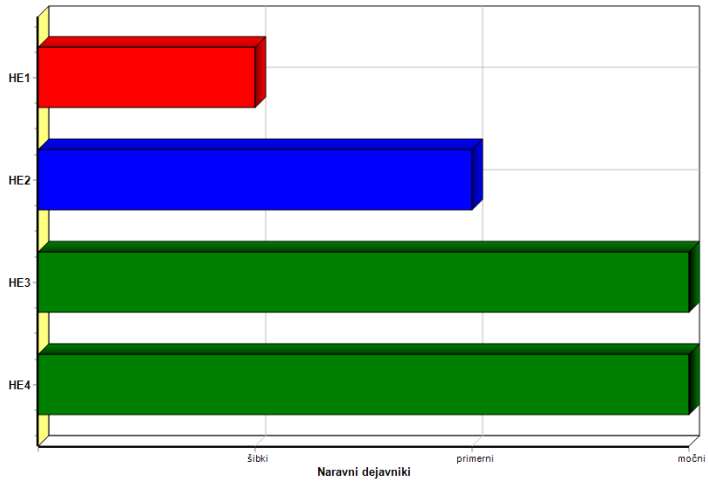
Slika 34: Končna ocena učinkov hidroelektrarn

Vir: lasten.



Slika 35: Tehnični vidik

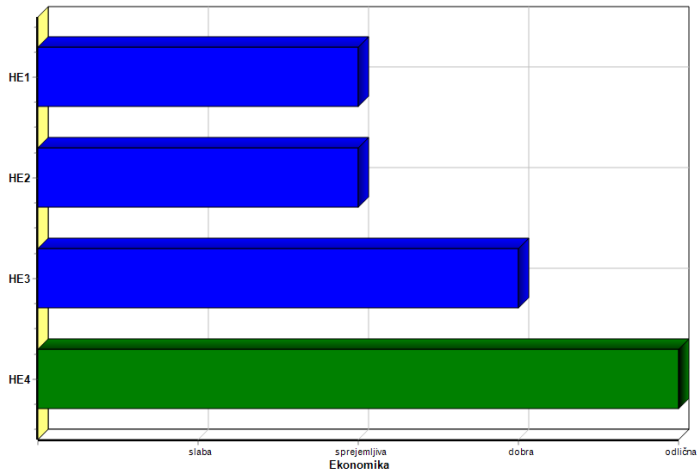
Vir: lasten.



90

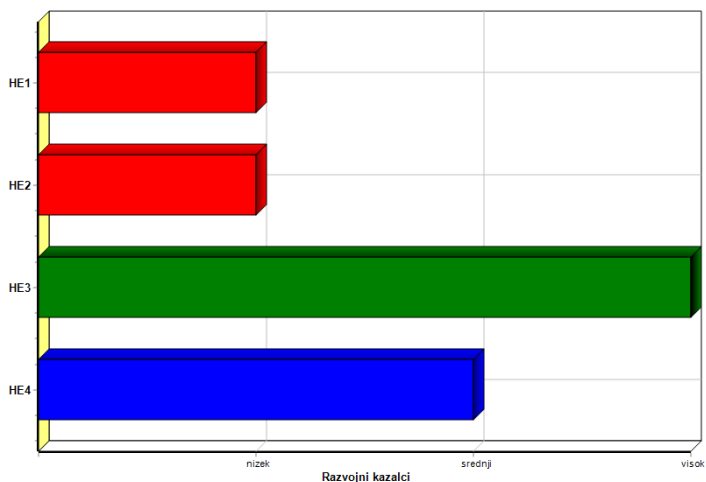
Slika 36: Naravni dejavniki

Vir: lasten.



Slika 37: Ekonomski vidik

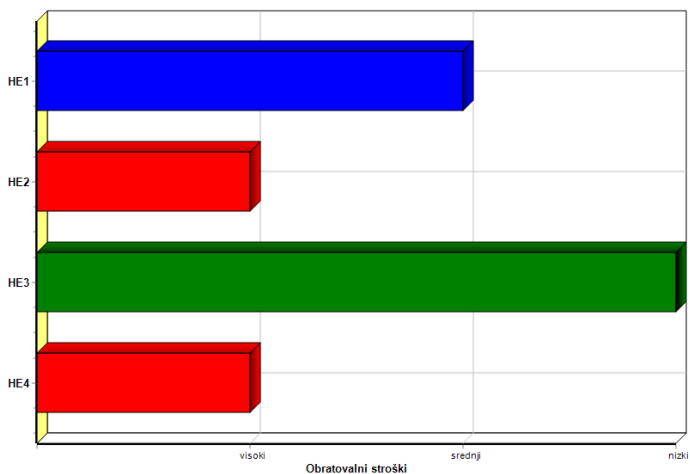
Vir: lasten.



Slika 38: Razvojni kazalci

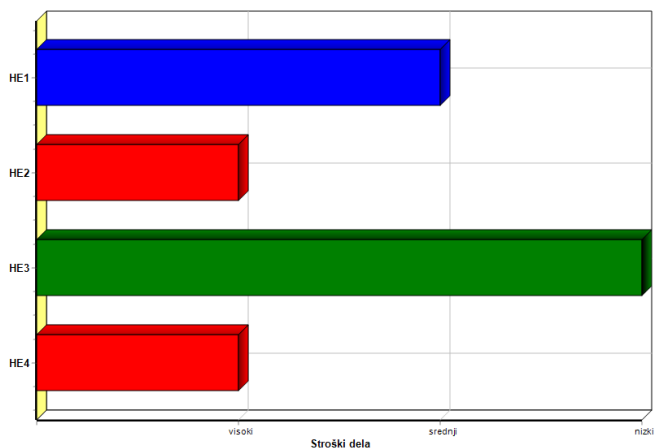
Vir: lasten.

Z vidika *prihodkov* (cena na enoto) ima najboljšo ceno HE 4, HE 3, HE 2 in HE 1 pa imajo srednjo. Najnižje *stroške* ima najmanjša hidroelektrarna, tj. HE 3, srednje ocene stroškov ima HE 1, visoke pa HE 2 in HE 4. *Obratovalni stroški* so visoki pri HE 4 in HE 2, srednji pri HE 3 in nizki pri HE 1 (slika 39). *Stroški dela* so visoki pri HE 4 in HE 2, srednji pri HE 1 in nizki pri HE 3 (slika 40).



Slika 39: Obratovalni stroški

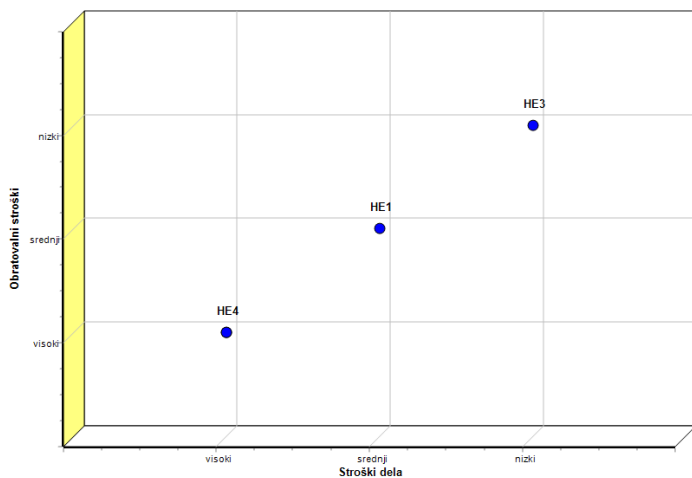
Vir: lasten.



92

Slika 40: Stroški dela

Vir: lasten.

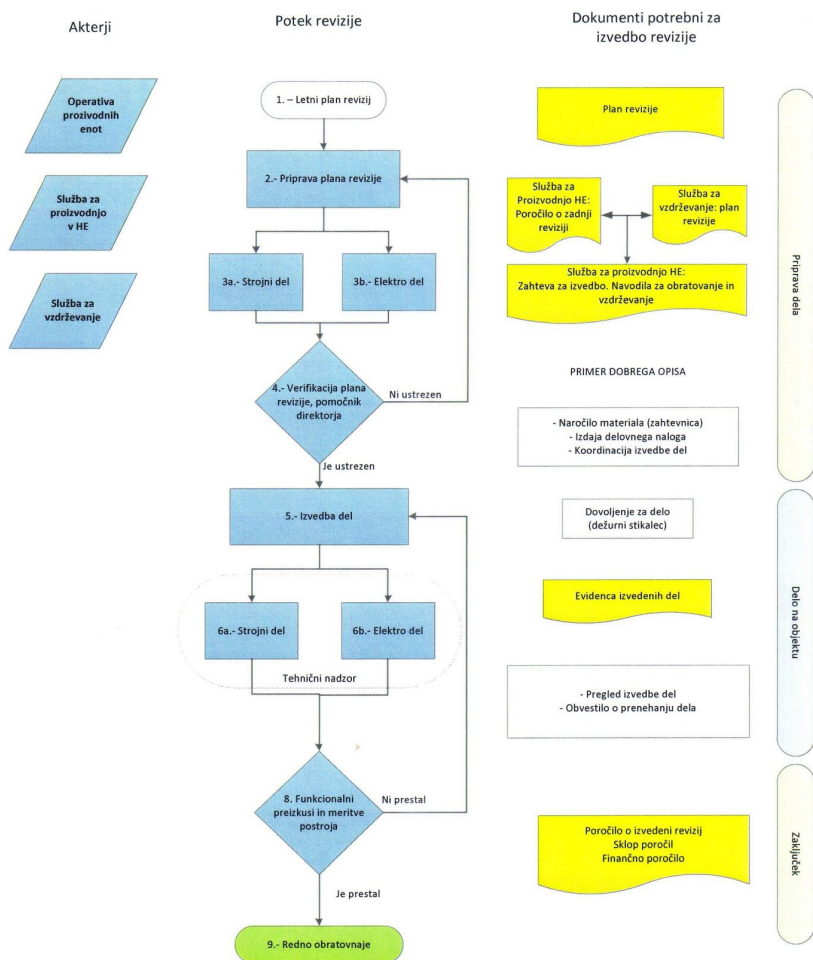


Slika 41: Stroški dela in obratovalni stroški za HE

Vir: lasten.

Grafikon stroškov dela in obratovalnih stroškov za HE (slika 41) nam pove, da ima skupno visoke stroške HE 4, srednje stroške HE 1 in nizke stroške HE 3, ki ima 2 MW moči in je daljinsko vodena iz centra proizvodnih virov. HE 4 ima posadko in je potrebna rekonstrukcije z izvedbo avtomatizacije, kar je razvojna prioriteta (slika 43) za izboljšanje učinkovitosti hidroelektrarne.

Pri vzdrževanju hidroelektrarn sta pomembna (1) planiranje revizij hidroelektrarn glede na najnižji pretok voda in s tem najmanjši izpad prihodkov zaradi zaustavitve strojev z uvedbo metod natančnega spremljanja postopkov revizij posameznih elektrostrojnih naprav po kontrolnem seznamu ter učinkovito in optimalno izvedbo delovnih procesov, opisanih v procesu proizvodnje in prodaje električne energije, in (2) potek postopka revizije hidroelektrarne (slika 42), ki je del sistema vodenja kakovosti po mednarodnem standardu kakovosti ISO 9001 in ISO 50001 za upravljanje z energijo (Gorenjske elektrarne 2015).



Slika 42: Potek revizije hidroelektrarne

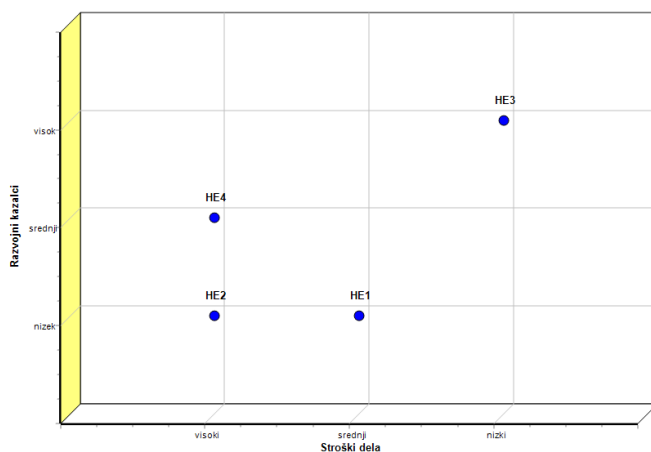
Vir: lasten.

Vzdrževalna dela so redna preventivna dela in izredna kurativna dela po nastali okvari. Med redna vzdrževalna dela sodijo periodične revizije elektrostrojnih naprav, ki potekajo v času nizkih vodostajev, da je izpad proizvodnje električne energije čim manjši. Na zanesljivo in kvaliteto obratovanje hidroelektrarn vplivajo sistematična in redno izvajana vzdrževalna dela strokovnjakov ter vgrajeni kvalitetni materiali, ki podaljšujejo življenjsko dobo (Gorenjske elektrarne 2016). Monitoring in diagnostika sta pomembna faktorja v funkciji vzdrževanja proizvodnih naprav. Sodobni center vodenja proizvodnih virov, opremljen z računalniško podporo SCADA, omogoča vpogled v izpade proizvodnje ter analizo razlogov za neplanirane zastoje.

Pomembna je *optimizacija izvedbe revizij*. Potek je opredeljen v službi za vzdrževanje in zajema (Gorenjske elektrarne 2017):

94

- podrobno planiranje dela in materiala,
- izvedbo elektrodel, ki jo prevzame stikalec,
- pripravo strojnih del in materiala, ki jo prevzame vzdrževanje.



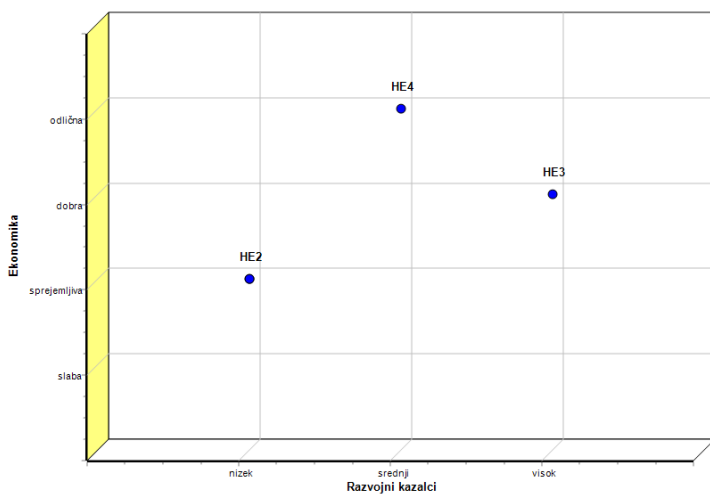
Slika 43: Stroški dela in razvojni kazalci za HE

Vir: lasten.

Analiza občutljivosti razvitega modela »kaj če« pri uporabi orodja DEXi

V analizi »kaj če« smo uporabili predpostavko o spremembi obratovalne podpore. Z vidika ekonomike in uteži obsega proizvodnje sta boljše rezultate dosegali hidroelektrarni srednjih instaliranih moči, HE 4 in HE 3. Pri vzdrževanju hidroelektrarn tako obratovalni stroški kot stroški dela posledično vplivajo na učinke hidroelektrarn in ob zagotavljanju

ustrezne cene za odkup električne energije ter prihodkov posledično vplivajo na finančni rezultat hidroelektrarne. Slika 44 prikazuje razvojne kazalce in ekonomiko za posamezne variante HE.



Slika 44: Razvojni kazalci in ekonomika za HE

Vir: lasten.

Razprava

Ugotovitve predhodnih analiz

Z metodo K-T smo ugotovili, da ima največji učinek izgradnja tehnološko sodobnih, avtomatiziranih hidroelektrarn srednjega velikostnega razreda, če imamo za to ustrezne pogoje in finančna sredstva.

Pri analizi občutljivosti med hidroelektrarnami z vidika sprememb subvencij in posledično sprememb prihodkov ter izračunov ekonomskih kazalnikov se je vrstni red hidroelektrarn na vrhnji in spodnji ravni zamenjal. Pri analizi »kaj če« nam rezultat pokaže močan vpliv subvencijske politike na obnovljive vire energije (OVE).

Nazorna je primerjava med posameznimi spremenljivkami (parametri) v drevesu oz. na vejah drevesa.

Ugotovitve analize DEXi

Konkretni rezultati vrednotenja modela so dali ocene za medsebojno primerjavo hidroelektrarn. Situacija med alternativami se spremeni, ko

predpostavimo spremembo subvencij – obratovalnih podpor. Model lahko uporabimo za odločitve za naložbe v obnovljive vire energije in učinkovite rabe energije, vendar z drugimi specifičnimi parametri. Največja težava je izbira ustreznih odločitvenih kriterijev, zato je pomembno, da izberemo ključne kriterije, ki najbolj vplivajo na končno odločitev.

Odločitveni model smo zgradili z elektronsko preglednico v Excelu in z orodjem DEXi, ki je uporabnejše pri izgradnji odločitvenega modela, saj omogoča izgradnjo celega drevesa. Izbrano alternativo preverimo z vidika zastavljenih ciljev in tveganj. V zadnjem koraku realizacije se odločimo za implementacijo izbrane alternative.

Simulacijski model

Raziskava je temeljila na razvoju energetske-okoljsko-ekonomskega simulacijskega modela hidroelektrarn. Uporabljen je bil večkriterijski odločitveni model na podlagi metode DEX za kvalitativno oceno proizvodnega obnovljivega vira energije (OVE). Rezultati večkriterijskega vrednotenja posameznih variant kažejo na podobnosti in razlike med posameznimi kriteriji ter združenimi kriteriji. V raziskavi je bilo ugotovljeno, da so s tehničnega vidika sprejemljivejše sodobne tehnološko izpopolnjene avtomatizirane hidroelektrarne. Pri izgorevanju je pomembna ustrezna priprava kakovostne lesne biomase. V primeru izpada proizvodnje zaradi okvar je pomembna signalizacija delovanja, da je lahko ukrepanje hitro in uspešno. Voda je naraven dejavnik, ki ima omejitve z vidika zagotavljanja biološkega minimuma, kar vpliva na proizvodnjo in ekološke dejavnike. Pri večjih, tehnološko zahtevnih hidroelektrarnah so vplivi večji, pri majhnih hidroelektrarnah majhni. Ekonomski učinki so povezani z učinkovitostjo hidroelektrarn in s proizvodnostjo doseženih obratovalnih ur ter odkupnih cen električne energije, kjer je pomembna postavka državna subvencija za okolju prijazne proizvodne naprave in obnovljive vire energije. Z analizo »kaj če« občutljivosti razvitega modela smo ugotovili, da imajo obratovalni stroški in stroški dela z vidika vzdrževanja hidroelektrarn ter subvencije pri cenah za odkup električne energije z vidika prihodkov pomemben vpliv na finančni rezultat.

Večkriterijska analiza DEXi za vzdrževanje malih hidroelektrarn združuje različna področja, ki jih ravensko strukturiramo. Metoda podpira interdisciplinarno povezovanje področij in osnovo za strateško upravljanje ter odločanje na področju uporabe obnovljivih virov energije (OVE) in učinkovite rabe energije (URE).

Okoljska varnost in osveščanje

Povečanje vodnega potenciala za proizvodnjo električne energije je pomembno pri razumevanju in ustvarjanju javnega mnenja, še posebej v okoljih, kjer prihaja do odločitev za izgradnjo hidroelektrarn. S statistično analizo smo ugotovili, da anketiranci podpirajo cilj Evropske unije o zagotovitvi 20-odstotnega deleža obnovljivih virov do leta 2020 in učinkovite rabe energije ter cenijo izgradnjo ekološko, finančno in dokumentacijsko zahtevnih proizvodnih projektov s subvencioniranjem odkupa proizvedene električne energije, ki bodo povečevali gospodarsko rast. Zavedajo se prostorske zahtevnosti projektov izkoriščanja vodnega potenciala in doseganja energetske učinkovitosti ter ekološke varnosti. Slabo ocenjujejo socialne dejavnike, tj. možnosti zaposlitve in dodatnih storitev za lokalno prebivalstvo, ter trajnostne dejavnike, tj. upoštevanje naravovarstvenih pogojev, možnosti razvoja turizma ter osveščanja in obveščanja. S korelacijsko analizo smo prikazali smer in moč odvisnosti med ocenami posameznih spremenljivk, z regresijsko analizo pa pojasnili povezanost odvisnih spremenljivk z neodvisnimi. S faktorsko analizo smo ugotovili štiri skupne faktorje, ki se z utežmi v spremenljivkah kažejo pri prvem skupnem faktorju – gospodarski izzivi in ekološka varnost pri izkoriščanju vodnega potenciala z razvojnimi in naravovarstvenimi komponentami, pri drugem skupnem faktorju – upoštevanje kompleksnosti energetskega projekta z vidika zahtev in ciljev –, pri tretjem skupnem faktorju – družbeni učinki na gospodarsko rast, zaposlovanje in storitve – ter pri četrtem skupnem faktorju – ozaveščanje, promocija in obveščanje. Pomembni sta uporabna regulacija kakovosti v elektroenergetskem sektorju (Fumagalli, Lo Schiavo in Delestre 2007) in cenovna dostopnost vodnih in energetskih dobrin (Miniaci, Scarpa in Valbonesi 2005).

Politika in odnos do hidroenergije se spreminjata, priložnost je tudi v prenovah s tehnološko posodobitvijo in z daljinskim upravljanjem hidroelektrarn, ki zmanjšuje stroške dela. Prav varnostno-poslovni izzivi so pri hidroelektrarnah pomembni s tehnološkega, poslovnega in z okoljskega vidika. Javno mnenje ni naklonjeno gradnji elektroenergetskih naprav, ki posegajo v okolje. Omejitve zaradi naravovarstvene zaščite so ponekod pretirane in ne dopuščajo novih naložb. Zato so pomembne mnenjske raziskave med občani, pogovori o odprtih dilemah, pojasnjevanja, predstavitve in osveščanje o koristih, posledicah ter učinkih o vidikih naložb v različne vrste proizvodnih obnovljivih virov energije. Hidroelektrarne so med obnovljivimi viri energije najpomembnejše z vidika proizvodnje, z vidika zaposlitev in storitev pri gradnji za lokalno prebivalstvo in z vidika ureditve varnostno-okoljskih vprašanj (regulacije vodotokov pri pravočasnem načrtovanju ter doseganju ekoloških učinkov z vidika zmanjšanja emisij CO₂). Za večjo podporo izrabe hidroenergije so ob strokovni pripravi tehničnih in naravovarstvenih pogojev potrebni zavedanje, politična podpora pri vključevanju izgradnje novih hidroelektrarn v nastajajoči energetski koncept Slovenije ter zaupanje, informiranje in podpora lokalnega prebivalstva.

Uvod

V strukturi proizvodnih virov električne energije hidroelektrarne predstavljajo tretjinski delež z 19 velikimi hidroelektrarnami nazivne moči nad 10 MW, termoelektrarne tretjinski in jedrska elektrarna prav tako tretjinski delež. Po Direktivi 2009/72/ES (2009) ima Slovenija kot članica EU zavezo, da bo do leta 2020 zmanjšala izpuste toplotnih emisij in rabo fosilnih energentov za 20 %, upoštevajoč izhodiščno stanje, ter da bo dosegla 25-odstotni delež obnovljivih virov energije v končni bruto uporabi energije do leta 2020 (Agencija Republike Slovenije za okolje b. l.). Med obnovljivimi viri energije imajo pomemben delež male in srednje velike hidroelektrarne z nazivno močjo do 10 MW.

Politika razvoja obnovljivih virov energije

Slovenija se je zavezala, da bo prilagodila shemo za izvajanje podpor za električno energijo, proizvedeno iz obnovljivih virov energije (OVE) in v sproizvodnji koristne toplote ter električne energije z visokim izkoristkom (SPTe) glede na zahteve in cilje evropske zakonodaje. V okviru implementacije je bil julija 2008 sprejet Zakon o spremembah in dopolnitvah Energetskega zakona in februarja 2014 novi Energetski zakon

(EZ-1) ter podzakonski akti, ki so podrobneje uredili izvajanje podporne sheme. Veljavni podzakonski akti so: Akt o prispevkih za zagotavljanje podpor za proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov energije in v sproizvodnji z visokim izkoristkom (2015), Uredba o načinu določanja in obračunavanja prispevkov za zagotavljanje podpor proizvodnji električne energije v sproizvodnji z visokim izkoristkom in iz obnovljivih virov energije (2015), Uredba o izdaji deklaracij za proizvodne naprave in potrdil o izvoru električne energije (2012), Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije (2016), in Sklep o uskladitvi premij za odkup električne energije, proizvedene v hidroelektrarnah, za leto 2010 (2010).

Vodna energija je ekološko čist obnovljivi vir energije, kjer se potencialna moč vode pretvarja v mehansko moč in naprej v električno energijo. Okolje onesnažuje minimalno, pozitivni učinki so visok delež domače tehnologije ter posledično delovnih mest, zanesljivost delovanja, dolga življenjska doba in nizki stroški obratovanja ter vzdrževanja. V primerjavi z ostalimi energetskimi viri so hidroelektrarne učinkovite in okolju prijazne.

Male hidroelektrarne so okoljsko še enostavnejše od velikih, ne zahtevajo velikih zavezitev in izkoriščajo prost vodni tok rek ter potokov.

Delež proizvedene električne energije v hidroelektrarnah ter v elektrarnah se letno spreminja glede na hidrološke in druge razmere ter tudi glede na obseg vlaganj v izgradnjo proizvodnih enot za izrabo obnovljivih virov. V letu 2016 je ta delež znašal približno 34 % vse proizvedene električne energije v Sloveniji, kar je eno odstotno točko več kot leto prej. Elektrarne na fosilna goriva so k skupni proizvodnji prispevale približno 30 %, kar je prav tako za eno odstotno točko višji delež glede na predhodno leto, jedrska elektrarna Krško pa 36 % vse proizvedene električne energije (Javna agencija Republike Slovenije za energijo 2017).

Za okolju prijaznejšo električno energijo je treba povečati proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov energije (OVE), in sicer hitreje kot raste skupna proizvodnja električne energije. Zato je v okviru kazalca [EN 19] Proizvodnja električne energije iz obnovljivih virov energije (Agencija Republike Slovenije za okolje 2017) smiselno spremljati zlasti delež OVE, ker to daje informacijo o tem, ali proizvodnja električne energije postaja okolju prijaznejša ali ne.

Za leto 2015 je bil delež energije iz obnovljivih virov v bruto končni porabi energije 21,96 % (Statistični urad Republike Slovenije b. l.). Kazal-

nik se izračunava v skladu z določili Direktive 2009/28/ES o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov.

Ministrstvo za infrastrukturo (2017, 7) predvideva, da se bo delež OVE v Sloveniji povečeval v vseh segmentih rabe energije. Glede na izračune dekarbonizacijskih scenarijev naj bi v letu 2030 dosegli vsaj 27- in v letu 2050 vsaj 52-odstotni delež OVE, za kar bo treba izkoristiti naravne danosti Slovenije. Če pri odločanju o umeščanju v prostor ne bo prevladal interes OVE, cilji OVE ne bodo doseženi.

Cilji raziskave in razvoj hipotez

Cilji raziskave je bil ugotoviti, koliko so občani ozaveščeni glede izrabe naravnih potencialov vodotokov za gradnjo hidroelektrarn za proizvodnjo ekološko čiste zelene elektrike.

Raziskovalno vprašanje je povezano z izrabo hidropotenciala za izgradnjo hidroelektrarn in zagotavljanjem ekološke varnosti. Z anketno raziskavo ugotavljamo mnenja glede stanja, poznavanja in informiranja o razvojnih alternativnih priložnostih z ekološkimi zahtevami ter omejitvami.

Testiramo hipotezo H₁ s štirimi podhipotezami, H_{1.1}, H_{1.1.2}, H_{1.3} in H_{1.4}, hipotezo H₂ in hipotezo H₃.

H₁: Ekološka varnost pri izgradnji hidroelektrarne se zagotavlja skozi izpolnjevanje tehničnih zahtev gradnje hidroelektrarne v naravnem okolju, skozi ekološke zahteve projekta, skozi zagotavljanje in spremljanje monitoringa ekoloških meritev ter skozi poznavanje in osveščanje deležnikov.

H₁ smo testirali s štirimi podhipotezami:

- H_{1.1}: Gradnja hidroelektrarn v prostoru je pozitivno povezana s spremenljivkami energetske učinkovitosti in ekološka varnost, nadzor in pogoji gradnje v naravovarstvenem režimu, koristi za lokalno skupnost in življenjska doba objekta.
- H_{1.1.2}: Zagotavljanje monitoringa ekoloških meritev je pozitivno povezano s proizvodnjo in porabo električne energije, podnebnimi spremembami, z ekološko varnostjo in možnostmi za zaposlitve, storitve ter razvoj turizma.
- H_{1.3}: Poznavanje in osveščanje sta pozitivno povezana z informacijami o pogojih za gradnjo hidroelektrarn, zagotavljanjem dela skozi zaposlitve in izvajanje storitev pri gradnji ter ustvarjenim mnenjem v javnosti.

- H1.4: Ekološke zahteve projekta so pozitivno povezane s prostorsko zahtevnostjo projekta, z obratovalnimi podporami za subvencioniranje zelene elektrike, EU-zavezami glede doseganja ciljev deleža OVE, s podporo za odločitve o izgradnji ter negativno povezane s koristmi za lokalne prebivalce.

H2: Izgradnja hidroelektrarn je v korelacijski povezanosti s tehničnimi in prostorskimi pogoji, z vremenskimi razmerami, ekološko varnostjo ter s finančno, državno in lokalno podporo.

H3: Izgradnja hidroelektrarn je odvisna od upoštevanja izkoriščanja vodnega potenciala z razvojnimi in naravovarstvenimi komponentami, od upoštevanja kompleksnosti energetskega projekta z vidika zahtev in ciljev, od družbenih učinkov na gospodarsko rast, zaposlovanje in storitve do ozaveščanja, promocije in obveščanja vseh deležnikov.

Metodologija in podatki

Politike EU za javne storitve, zlasti za javno omrežje s perspektive državljanov, sta ocenila Judith Clifton in Diaz-Fuentes (2008). Izhajala sta iz percepcije in mnenj prebivalcev glede storitev, pomembnih za kakovost življenja. Predhodne raziskave so ugotavljale zmanjšano porabo električne energije med energetske krize (Fujii, Hennessy in Mak 1985), zadovoljstvo potrošnikov, njihove prioritete in pričakovanja glede različnih proizvodov in javnih dobrin (Miniaci, Scarpa in Valbonesi 2005; Fumagalli, Lo Schiavo in Delestre 2007) ter veljavnost in zanesljivost odgovorov na anketna vprašanja (Fuj, Hennessy in Mak 1985).

Metodologija

Zanima nas odnos občanov do gradnje hidroelektrarn. Z metodološkega vidika smo izvedli kvantitativno raziskavo. Anketni vprašalnik je najprimernejša oblika pridobivanja podatkov in informacij takrat, ko je večina vprašanj standardiziranih, to je zaprtega tipa. Sestavljen je iz kratkih, pretežno zaprtih vprašanj, možnost izbire odgovorov pa temelji na obliki, ki je znana kot Likertova lestvica (Easterby-Smith, Thorpe in Lowe 2005).

Uporabili smo naslednje metode/tehnike zbiranja podatkov z anketiranjem in analiziranjem zbranih podatkov: opisna statistika, regresijska analiza, korelacijska analiza in multivariatna faktorska analiza.

Opisne statistike so uporabljene za prikaz aritmetičnih sredin spremenljivk, standardnega odklona in razvrstitev glede na rang.

Korelacijska analiza je uporabljena za ugotovitev smeri in moči korelacijskega koeficienta, ki izraža stopnjo linearne odvisnosti med analiziranimi spremenljivkama.

Multivariatna faktorska analiza je uporabljena za identifikacijo nepoznanih skupnih faktorjev, ki so pomembni za identifikacijo skupnih faktorjev pri izgradnji hidroelektrarn z zahtevami oz. pod okoljskimi pogoji in pogoji ekološke varnosti.

Uporabili smo štiri metode: metodo glavnih osi (angl. *principal axis factoring*), metodo največjega verjetja (angl. *maximum likelihood*) brez rotacije faktorjev z matriko faktorskih uteži, metodo največjega verjetja s poševno rotacijo faktorjev (*Oblimin* s Kaiserjevo normalizacijo) in metodo največjega verjetja s pravkotno rotacijo (*Varimax* s Kaiserjevo normalizacijo). Skupne faktorje smo pojasnili s sestavo značilnih spremenljivk z močnimi utežmi. Cronbachova alfa (α) (angl. *Cronbach's alpha*) je bila uporabljena za ugotovitev stopnje zanesljivosti merjenja izbranega skupnega faktorja z izbranimi vplivnimi spremenljivkami.

Na podlagi teorije in izkušenj (Papler in Bojnec 2008, 248; 2010, 59) smo pripravili anketni vprašalnik, s katerim smo pridobili ustrezne podatke in informacije od občanov. Sestavljen je bil iz demografskih vprašanj in 22 tematskih vprašanj oz. trditvev. Anketiranci so trditve ocenjevali po Likertovi lestvici z ocenami od 1 (sploh ni pomembno) do 5 (zelo je pomembno). Za obdelavo pridobljenih podatkov smo uporabili statistični računalniški paket SPSS (Kachigan 1991; Norušis 2002).

Podatki o anketirancih

Vprašalnike je izpolnilo 115 anketirancev, od tega so bili štirje izpolnjeni nepopolno, tako da smo v nadaljnjo analizo sprejeli 111 vprašalnikov. Moških je bilo 45,9 %, žensk pa 53,1 %.

Starostna struktura je bila naslednja: anketirancev starosti do 20 let je bilo 8,1 %, od 21 do 30 let 58,6, od 31 do 40 let 18,0, od 41 do 50 let 7,2, od 51 do 60 let 6,3 in nad 60 let 1,8 %. Povprečna starost anketirancev je bila 30,3 leta (preglednica 19).

Anketiranci so zaključili naslednja izobraževanja: osnovno šolo jih ima 3,6 %, poklicno šolo 9,9, srednjo šolo 43,3, višjo šolo 12,6, visoko šolo 9,0, univerzitetno izobrazbo 18,9, magisterij 1,8 in doktorat znanosti 0,9 %. Povprečno število dokončanih let izobraževanja je bilo 13,2.

Preglednica 19: Strukture anketirancev po spolu, starosti in izobrazbi

Spol	Število	Delež (%)
Moški	51	45,9
Ženski	59	53,1
Skupaj	111	100,0
Starost	Število	Delež (%)
Do 20 let	9	8,1
21 do 30 let	65	58,6
31 do 40 let	20	18,0
41 do 50 let	8	7,2
51 do 60 let	7	6,3
Nad 60 let	2	1,8
Skupaj	111	100,0
Povprečna starost (let)	30,3	
Izobrazba	Število	Delež (%)
Osnovna šola	4	3,6
Poklicna šola	11	9,9
Srednja šola	48	43,3
Višja šola	14	12,6
Visoka šola	10	9,0
Univerzitetna izobrazba	21	18,9
Magisterij	2	1,8
Doktorat znanosti	1	0,9
Skupaj	111	100,0
Povprečno število dokončanih let izobraževanja		13,2

Vir: lastni izračuni.

Opisna statistika

Z opisno statistiko smo izračunali aritmetično sredino posameznih spremenljivk (trditev). Navedene so v preglednici 20.

Najvišje aritmetične sredine imajo spremenljivke: prostorska zahtevnost projekta, doseganje ciljev OVE, zahtevnost projekta z vidika dokumentacije, ekološke zahteve projekta, racionalna raba energije, potrebe po električni energiji zaradi gospodarske rasti in finančna zahtevnost projekta.

Srednje aritmetične sredine imajo spremenljivke: proizvodni učinek, tehnična zahtevnost projekta, pomembnost HE, življenjska doba HE, hi-

droenergetski potencial, energetski učinki in ekološka varnost posodobljene HE, klimatske razmere, podpora za odločitev o izgradnji HE in zagotavljanje monitoringa ekoloških meritev.

Nizke aritmetične sredine imajo spremenljivke: zaposlitve in storitve, koristi za lokalno skupnost, prednost HE pred drugimi OVE, finančna sredstva za subvencionirano proizvodnjo električne energije, promocija v javnosti, nadzor in pogoji gradnje v naravovarstvenem režimu, podpora za HE, gradnja HE v prostoru in razvoj turizma.

Najnižje aritmetične sredine imata spremenljivki: (1) poznavanje in osveščanje o ustreznosti proizvodnje električne energije; (2) informacije o pogojih za gradnjo in obnovo HE.

Preglednica 20: Aritmetična sredina spremenljivk o hidroelektrarnah

Št.	Spremenljivke (trditve)	Oznaka spremenljivke	Aritm. sred.	Stand. odkl.	Rang
1	Hidroelektrarne (HE) so pomembne pri proizvodnji električne energije.	Pomembnost HE	3,95	1,23	10. mesto
2	V Sloveniji imamo velik hidroenergetski potencial.	Hydroenergetski potencial	3,66	1,07	12. mesto
3	Tudi v naravnem zaščitenem prostoru je možno graditi male HE.	Gradnja HE v prostoru	2,45	1,38	24. mesto
4	O pogojih za gradnjo in obnovo HE so na voljo zadostne informacije.	Informacije o pogojih za gradnjo HE	1,70	0,90	27. mesto
5	Z obnovo obstoječih HE se strinjam, ker je to najmanjši poseg v naravo.	Podpora za HE	2,53	1,28	23. mesto
6	Posodobljena HE bo energetsko učinkovitejša in varna z vidika ekologije.	Energetski učinki in ekološka varnost	3,61	1,20	13. mesto
7	Potrebne so gradnje novih HE v naravnih zaščitenih okoljih, vendar pod strožjim naravovarstvenim režimom.	Nadzor in pogoji gradnje pod naravovarstvenim režimom	2,54	1,39	22. mesto
8	Podpiram odločitev za izgradnjo HE na potencialnih vodotokih.	Podpora za odločitev o izgradnji HE	3,45	1,24	15. mesto
9	Z izgradnjo HE imajo korist lokalni prebivalci in skupnost.	Koristi za lokalno skupnost	2,76	1,14	18. mesto
10	Gospodarska rast povečuje porabo električne energije.	Potrebe po el. energiji zaradi gospodarske rasti	4,12	1,07	6. mesto
11	Z električno energijo sem pripravljen racionalneje ravnati.	Racionalna raba el. energije	4,22	1,07	5. mesto
12	Hidrologija je odvisna od vremenskih in klimatskih razmer.	Klimatske razmere	3,29	1,19	14. mesto
13	Ekološko neoporečnost voda zagotavljamo z ekološkimi meritvami.	Zagotavljanje monitoringa ekoloških meritev	3,05	1,26	16. mesto

Št.	Spremenljivke (trditve)	Oznaka spremenljivke	Aritm. sred.	Stand. odkl.	Rang
14	Obnove in novogradnje HE dajejo možnosti za razvoj turizma.	Možnost razvoja turizma	2,41	1,09	25. mesto
15	Pomembna je dolžina življenjske dobe HE.	Življenjska doba HE	3,85	1,15	11. mesto
16	Izgradnja HE je glede na pridobivanje pogojev in soglasij ter gradbeno in upravno dokumentacijo zahteven projekt.	Zahtevnost projekta z vidika dokumentacije	4,27	1,00	3. mesto
17	Izgradnja HE je glede na investicijsko vrednost zahteven projekt.	Finančna zahtevnost projekta	4,11	0,89	7. mesto
18	Izgradnja HE je glede na posege v prostor zahteven projekt.	Prostorska zahtevnost projekta	4,43	0,77	1. mesto
19	Izgradnja HE je glede na ekologijo zahteven projekt.	Ekološke zahteve projekta	4,25	1,00	4. mesto
20	Država proizvedeno električno energijo iz HE dovolj subvencionira.	Finančna sredstva za subvencionir. proizvodnjo el. energije	2,59	0,99	20. mesto
21	HE zagotavljajo največ dela in storitev za domačo industrijo.	Zaposlitve in storitve	2,87	1,04	17. mesto
22	Izgradnja HE je glede na tehnične rešitve zahteven projekt.	Tehnična zahtevnost projekta	3,95	0,92	9. mesto
23	HE delujejo dalj časa in proizvajajo več elektrike kot vetrne in sončne elektrarne.	Proizvodni učinek	3,96	1,07	8. mesto
24	V primeru možnosti izgradnje bi dal prednost HE pred drugimi OVE.	Prednost HE pred drugimi OVE	2,71	1,24	19. mesto
25	Za doseganje ciljev do leta 2020 je treba povečati proizvodne vire iz OVE.	Doseganje ciljev OVE	4,31	0,97	2. mesto
26	Za izgradnjo HE so na razpolago pričakovana promocijska gradiva.	Promocija v javnosti	2,58	1,06	21. mesto
27	Razumevanje in osveščanje o ustreznosti proizvodnje el. energije v HE je ustrezno.	Poznavanje in osveščanje	2,16	0,90	26. mesto

Vir: lastni izračuni.

Mnenja anketirancev so enotnejša pri manjšem standardnem odklonu ocen: zahtevnost projekta v prostoru, finančna zahtevnost projekta, informacije o pogojih za gradnjo HE, poznavanje in osveščanje, tehnična zahtevnost projekta, doseganje ciljev OVE in finančna sredstva za subvencionirano proizvodnjo električne energije.

Raznolika mnenja anketirancev so pri večjem standardnem odklonu ocen: nadzor in pogoji za izgradnjo objektov v naravovarstvenem režimu, gradnja HE v prostoru, podpora za HE, zagotavljanje monitoringa ekoloških meritev, podpora za odločitve o izgradnji HE, prednost HE pred drugimi OVE, podpora za odločitve o izgradnji HE in pomembnost HE.

Regresijska analiza

Za testiranje hipoteze so kot osnova za regresijsko analizo uporabljeni z anketiranjem pridobljeni podatki.

Hipotezo H_I, ekološka varnost pri izgradnji hidroelektrarne, smo testirali skozi štiri podhipoteze:

- H_{I.1}: izpolnjevanje tehničnih zahtev gradnje hidroelektrarne v prostoru,
- H_{I.2}: ekološke zahteve projekta,
- H_{I.3}: zagotavljanje monitoringa ekoloških meritev ter
- H_{I.4}: poznavanje in osveščanje deležnikov.

Testiranje podhipoteze H_{I.1}

Preglednica 21 prikazuje rezultate regresijske analize gradnje hidroelektrarn v prostoru, s katero smo preverjali H_{I.1}.

Iz rezultatov regresijske analize izhaja, da je gradnja hidroelektrarn v prostoru pozitivno in statistično značilno povezana s spremenljivkami energetske učinkovitosti in ekološka varnost, nadzor in pogoji gradnje v naravovarstvenem režimu, koristi za lokalno skupnost ter življenjska doba objekta. S tem smo potrdili H_{I.1}, saj se druge testirane pojasnjevalne spremenljivke niso izkazale za statistično značilne.

Preglednica 21: Regresijska analiza gradnje hidroelektrarn v prostoru

Gradnja hidroelektrarne v prostoru	Vrednost (B)	t-statistika	Sig.
Konstanta	-0,181	-0,486	0,628
Energetski učinki in ekološka varnost	0,321	3,460	0,001
Nadzor in pogoji gradnje v naravovarstvenem režimu	0,353	3,879	0,000
Koristi za lokalno skupnost	0,209	1,934	0,000
AdjR ²	0,376		
F	23,117		
Gradnja hidroelektrarne v prostoru	Vrednost (B)	t-statistika	Sig.
Konstanta	-0,912	1,868	0,064
Energetski učinki in ekološka varnost	0,292	3,173	0,002
Nadzor in pogoji gradnje v naravovarstvenem režimu	0,353	3,879	0,000
Koristi za lokalno skupnost	0,221	2,079	0,040
Življenjska doba objekta	0,202	2,264	0,026
AdjR ²	0,399		
F	19,287		

Vir: lastni izračuni.

Testiranje podhipoteze H_{1.2}

Preglednica 22 prikazuje rezultate regresijske analize zagotavljanja monitoringa ekoloških meritev v povezavi s proizvodnjo in porabo električne energije, podnebnimi spremembami, z ekološko varnostjo in možnostmi za zaposlitve, storitve ter razvoj turizma, s katero smo preverjali H_{1.2}.

Iz rezultatov regresijske analize izhaja, da je zagotavljanje monitoringa ekoloških meritev pozitivno in statistično značilno povezano s pojasnjevalnimi spremenljivkami energetske učinkovitosti in ekološka varnost, potrebe po električni energiji za gospodarsko rast, klimatske razmere, razvoj turizma ter zaposlitve in storitve. S tem smo potrdili H_{1.2}, saj se druge testirane pojasnjevalne spremenljivke niso pokazale statistično značilne.

Preglednica 22: Regresijska analiza zagotavljanja monitoringa ekoloških meritev

Zagotavljanje monitoringa ekoloških meritev	Vrednost (B)	t-statistika	Sig.
Konstanta	-0,258	-0,542	0,589
Energetski učinki in ekološka varnost	0,217	2,500	0,014
Potrebe po el. energiji za gospodarsko rast	0,218	2,328	0,022
Klimatske razmere	0,222	2,216	0,029
Razvoj turizma			
AdjR ²	0,346		
F	15,520		
Zagotavljanje monitoringa ekoloških meritev	Vrednost (B)	t-statistika	Sig.
Konstanta	-0,865	-1,670	0,098
Energetski učinki in ekološka varnost	0,202	2,391	0,019
Potrebe po el. energiji za gospodarsko rast	0,218	2,387	0,019
Klimatske razmere	0,235	3,587	0,001
Razvoj turizma	0,220	2,256	0,026
Zaposlitve in storitve	0,251	2,635	0,010
AdjR ²	0,380		
F	14,501		

Vir: lastni izračuni.

Testiranje podhipoteze H_{1.3}

Preglednica 23 prikazuje rezultate regresijske analize poznavanja in ozaveščanja v povezavi z informacijami o pogojih za gradnjo hidroelektrarn, zagotavljanjem dela skozi zaposlitve in izvajanjem storitev

pri gradnji ter ustvarjenim mnenjem v javnosti, s katero smo preverjali H1.3.

Iz rezultatov regresijske analize izhaja, da je poznavanje in ozaveščanje pozitivno in statistično značilno povezano s spremenljivkami informacije o pogojih za gradnjo objekta, zaposlitve in storitve ter promocija v javnosti. S tem smo potrdili H1.3.

Preglednica 23: Regresijska analiza poznavanja in ozaveščanja

Poznavanje in ozaveščanje	Vrednost (B)	t-statistika	Sig.
Konstanta	0,442	1,599	0,113
Informacije o pogojih za gradnjo hidroelektrarn	0,338	4,104	0,000
Zaposlitve in storitve	0,150	2,078	0,040
Promocija v javnosti	0,294	4,216	0,000
AdjR ²	0,310		
F	17,466		

Vir: lastni izračuni.

Testiranje podhipoteze H1.4

Preglednica 24 prikazuje rezultate regresijske analize ekoloških zahtev projekta v povezavi s prostorsko zahtevnostjo projekta, z obratovnimi podporami za subvencioniranje zelene elektrike, EU-zavezami glede doseganja ciljev deleža OVE, s podporo za odločitev o izgradnji in koristmi za lokalne prebivalce, s katero smo preverjali H1.4.

Iz rezultatov regresijske analize izhaja, da so ekološke zahteve projekta pozitivno in statistično značilno povezane s spremenljivkami prostorska zahtevnost projekta, finančna sredstva za subvencionirano proizvodnjo električne energije, doseganje ciljev OVE in podpora za odločitev o izgradnji HE ter negativno povezane s spremenljivko koristi za lokalno skupnost. S tem smo potrdili H1.4.

Hipoteze H1, da se ekološka varnost pri izgradnji hidroelektrarne zagotavlja skozi izpolnjevanje tehničnih zahtev gradnje hidroelektrarne v naravnem okolju (H1.1), izpolnjevanje ekoloških zahtev projekta (H1.2), zagotavljanje in spremljanje monitoringa ekoloških meritev (H1.3) ter poznavanje in osveščanje deležnikov, ne moremo zavriniti in smo jo potrdili.

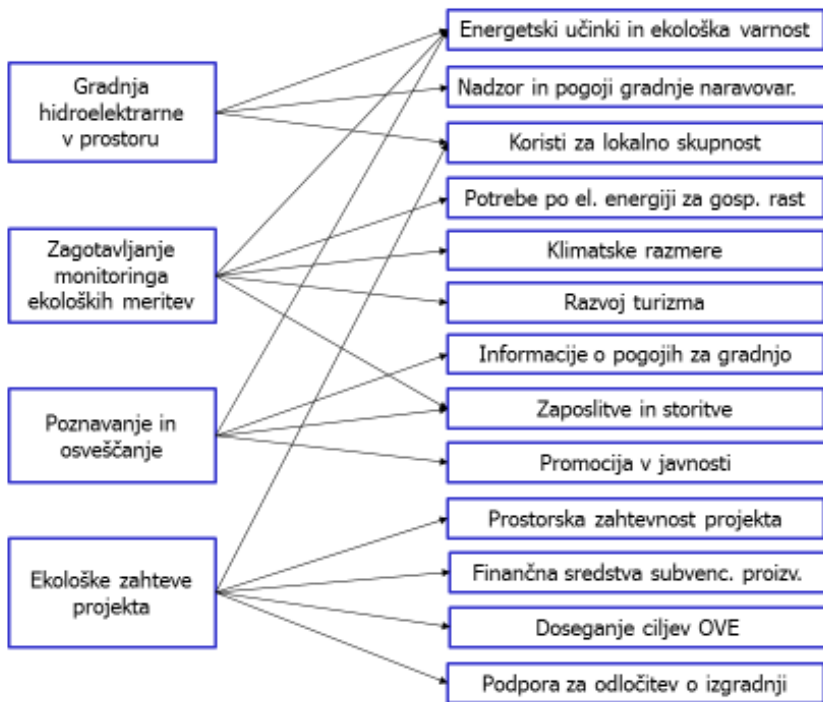
Ekološko varnost pri izgradnji hidroelektrarne smo skozi testiranje z regresijsko analizo razvili v model, ki ga prikazuje slika 45.

Preglednica 24: Regresijska analiza ekoloških zahtev projekta

Zagotavljanje monitoringa ekoloških meritev	Vrednost (B)	t-statistika	Sig.
Konstanta	1,293	3,731	0,000
Prostorska zahtevnost projekta	0,262	4,074	0,000
Finančna sredstva za subvencionirano proizvodnjo električne energije	0,235	3,789	0,000
Doseganje ciljev OVE	0,284	4,551	0,000
Podpora za odločitev o izgradnji HE	0,102	2,070	0,041
Koristi za lokalno skupnost	-0,160	-2,873	0,005
AdjR ²	0,346		
F	15,520		

Vir: lastni izračuni.

109



Slika 45: Model ekološke varnosti pri izgradnji hidroelektrarne

Vir: lasten.

Ugotavljamo, da je za razumevanje in podporo ekološke varnosti pomembno povečati aktivnosti pri pojasnjevanju zagotavljanja varnostnih ukrepov, ureditvi infrastrukture ter prepoznavanju socialnih koristi za okolje z novimi delovnimi mesti in izvajanjem storitev za lokalna podjetja.

Pomembna pa je tudi ustrezna državna politična podpora pri uvrstitvi hidroelektrarn v energetske koncept Slovenije z vidika izkoriščanja hidroenergetskega potenciala, ki zagotavlja največji proizvodni učinek glede na proizvedene obratovalne ure v primerjavi z drugimi proizvodnimi viri OVE ter nima vpliva na okolje z vidika izpustov toplogrednih plinov.

Opisna statistika

Eden od temeljnih parametrov, ki ga uporabljamo v korelacijski analizi, je korelacijski koeficient r , ki lahko zavzame vrednosti od -1 do $+1$. Predznak korelacijskega koeficienta nam sporoča smer linearne povezanosti med spremenljivkama. Absolutna vrednost korelacijskega koeficienta izraža stopnjo linearne odvisnosti med spremenljivkama.

110

Preglednica 25: Pearsonov korelacijski koeficient med spremenljivkama

Spremenljivka 1	Spremenljivka 2	Pearsonov koeficient
Pomembnost HE	Energetska učinkovitost in ekološka varnost HE	0,554
Gradnja HE v prostoru	Nadzor in pogoji gradnje v naravovarstvenem režimu	0,544
Nadzor in pogoji gradnje pod naravovarstvenim režimom	Koristnost za lokalno skupnost	0,531
Ekološka zahtevnost projekta	Zagotavljanje finančnih sredstev za subvencionirane proizvodnje električne energije iz HE	0,521
Pomembnost HE	Hidroenergetski potencial	0,517
Klimatske razmere	Zagotavljanje in spremljanje monitoringa ekoloških meritev	0,502
Gradnja HE v prostoru	Podpora za odločitve o izgradnji HE na rekah	0,492
Pomembnost HE	Podpora za odločitve o izgradnji HE na rekah	0,484
Prostorska zahtevnost projekta	Ekološka zahtevnost projekta	0,478
Ekološka zahtevnost projekta	Doseganje ciljev OVE	0,478

Vir: lastni izračuni.

Korelacijska analiza je pokazala močnejšo pozitivno linearno povezanost med spremenljivkami pomembnost HE ter energetska učinkovitost in ekološka varnost HE (s Pearsonovim koeficientom korelacije 0,554), gradnja HE v naravnem zaščitenem okolju in gradnja HE pod strožjim naravovarstvenim režimom (s Pearsonovim koeficientom korelacije 0,554), gradnja HE pod strožjim naravovarstvenim režimom in koristnost za lokalne prebivalce (s Pearsonovim koeficientom korelacije 0,531), ekološka zahtevnost projekta in subvencionirana proizvodnja električne energije iz HE (s Pearsonovim koeficientom korelacije 0,521), pomembnost HE in hidroenergetski potencial (s Pearsonovim koeficientom korelacije 0,517), izboljšanje deleža OVE in klimatskih razmer ter ekološko čista voda iz HE (s Pearsonovim koeficientom korelacije 0,502), gradnja HE v naravnem zaščitenem okolju in smiselnost izgradnje HE na rekah (s Pearsonovim koeficientom korelacije 0,492), pomembnost HE in smiselnost izgradnje HE na rekah (s Pearsonovim koeficientom korelacije 0,484), prostorska zahtevnost projekta in ekološka zahtevnost projekta (s Pearsonovim koeficientom korelacije 0,478) ter ekološka zahtevnost projekta in doseganje ciljev OVE (s Pearsonovim koeficientom korelacije 0,478) (preglednica 25).

Hipoteze H₂, da je pomen izgradnje hidroelektrarn v močni povezanosti s tehničnimi in prostorskimi pogoji, z vremenskimi razmerami, ekološko varnostjo ter s finančno, državno in lokalno podporo, ne moremo zavriniti in smo jo potrdili.

H₂ smo potrdili s pari spremenljivk, kjer obstajajo korelacijske povezave:

- med pomembnostjo HE in energetske učinkovitostjo ter ekološko varnostjo oz. hidroenergetskim potencialom in podporo za odločitev o izgradnji HE na rekah;
- med nadzorom in pogoji gradnje v naravovarstvenem režimu ter gradnjo HE v prostoru oz. podporo za odločitev o izgradnji HE na rekah oz. koristmi za lokalno skupnost;
- med ekološko zahtevnostjo projekta in zagotavljanjem finančnih sredstev za subvencionirano proizvodnjo električne energije iz HE oz. prostorsko zahtevnostjo projekta oz. doseganjem ciljev OVE in
- med klimatskimi razmerami in zagotavljanjem monitoringa ekoloških meritev.

Faktorska analiza

V faktorskem modelu smo zaradi velikega števila spremenljivk in s predhodnimi testiranjem izločili dve spremenljivki: podpora za HE in življenjska doba HE. Iz Kaiser-Meyer-Olkinove (KMO = 0,747) mere primernosti vzorca in Bartlettovega testa sferičnosti (Chi-kvadrat 1005,214, Sig. 0,000) sklepamo, da so podatki ustrezni za faktorsko analizo.

Uporabimo multivariatno faktorsko analizo, pri čemer ocenimo faktorski model v dveh korakih. Najprej ocenimo deleže pojasnjene variance preučevanih spremenljivk s skupnimi faktorji (komunalitetami) z metodo glavnih osi in z metodo največjega zaupanja. V drugem koraku ocenimo še faktorske uteži s poševno in pravokotno rotacijo. Kolenski grafikon za oceno smiselnega števila faktorjev je potrdil, da se krivulja lomi pri četrtem faktorju.

112

Z enim faktorjem pojasnimo 23,4, z drugim 12,0, s tretjim 7,3, s četrtim 6,9 oz. kumulativno 49,5 % opazovanega vzorca spremenljivk.

Z metodo glavnih osi (angl. *principal axis factoring*) smo identificirali štiri najpomembnejše skupne faktorje, ki imajo značilne uteži v spremenljivkah.

Prvi skupni faktor poimenujemo energetske, gospodarske in ekološke učinki gradnje HE skupaj, drugi skupni faktor upoštevanje kompleksnosti energetskega projekta z vidika zahtev in ciljev, tretji skupni faktor ozaveščanje, promocija in obveščanje ter četrti skupni faktor družbena koristnost gradenj HE.

Pri metodi največjega zaupanja (angl. *maximum likelihood*) brez rotacije so ocene podobne in stabilne. Prišlo je do zamenjav skupnih faktorjev: prvi skupni faktor je ozaveščanje, promocija in obveščanje (v metodi glavnih osi tretji skupni faktor), drugi skupni faktor energetske, gospodarske in ekološke učinki gradnje HE skupaj (v metodi glavnih osi prvi skupni faktor), tretji skupni faktor upoštevanje kompleksnosti energetskega projekta z vidika zahtev in ciljev (v metodi glavnih osi drugi skupni faktor), četrti skupni faktor pa je usmerjen v zagotavljanje dohodka za prebivalstvo (v metodi glavnih osi četrti skupni faktor, ki ima širšo družbeno koristnost).

Ocena faktorskega modela z metodo največjega verjetja (*Oblimin s Kaiserjevo normalizacijo* z uporabo poševne rotacije faktorjev) bolj razjasni vpliv posameznih faktorjev.

Enaka ostaneta prvi skupni faktor, tj. ozaveščanje, promocija in obveščanje, in tretji skupni faktor, tj. upoštevanje kompleksnosti energetskega projekta z vidika zahtev in ciljev, izostrita pa se drugi in četrti skupni faktor. Drugi skupni faktor je usmerjen v izkoriščanje vodnega potencia-

la s HE z upoštevanjem ekološke varnosti in razvoja. Četrty skupni faktor pa pripisuje pomembnost HE z vidika proizvodnje, zaposlitev in storitev.

Ocena faktorkega modela z uporabo metode največjega zaupanja s pravokotno rotacijo faktorjev (*Varimax s Kaiserjevo normalizacijo*) ob enakem modelu in komunalitetah pokaže razliko v primerjavi s poševno rotacijo.

Uteži v rotacijski faktorkegi matriki pri pravokotni rotaciji (preglednica 8) pri prvem skupnem faktorju, gospodarski izzivi in ekološka varnost pri izkoriščanju vodnega potenciala z razvojnimi in naravovarstvenimi komponentami, imajo največjo težo v spremenljivkah: nadzor in pogoji gradnje v naravovarstvenem režimu (0,718), gradnja HE v prostoru (0,681), podpora za odločitev o izgradnji HE (0,677), koristi za lokalno skupnost (0,674), klimatske razmere (0,575), prednost HE pred drugimi OVE (0,572), energetske učinki in ekološka varnost posodobitve HE (0,518), razvoj turizma (0,473), hidroenergetski potencial (0,452), zagotavljanje monitoringa ekoloških meritev (0,429) in tehnična zahtevnost projekta (0,299).

Drugi skupni faktor, upoštevanje kompleksnosti energetskega projekta z vidika zahtev in ciljev, ima največjo težo v spremenljivkah: ekološke zahteve projekta (0,764), prostorska zahtevnost projekta (0,642), finančna sredstva za subvencionirano proizvodnjo električne energije (0,639), finančna zahtevnost projekta (0,581), doseganje ciljev OVE (0,500) in racionalna raba energije (0,297).

Tretji skupni faktor, družbeni učinki na gospodarsko rast, zaposlovanje in storitve, ima največje uteži v spremenljivkah: proizvodni učinek (0,592), zahtevnost projekta z vidika dokumentacije (0,537), pomembnost HE (0,521), hidroenergetski potencial (0,443), zagotavljanje monitoringa ekoloških meritev (0,440), zaposlitve in storitve (0,381) ter tehnična zahtevnost projekta (0,284).

Četrty skupni faktor, ozaveščanje, promocija in obveščanje, ima največje uteži v spremenljivkah: poznavanje in osveščanje (0,994), informiranje o pogojih za gradnjo (0,431) in promocija v javnosti (0,431).

Z različnimi metodami je potrjena stabilnost pridobljenih rezultatov.

Preverili smo zanesljivost ocen štirih skupnih faktorjev z izračunom Cronbachove alfe (α).

Cronbachova alfa za prvi skupni faktor je 0,853 ($N = 11$ spremenljivk), za drugi skupni faktor 0,723 ($N = 6$ spremenljivk), za tretji skupni faktor 0,672 ($N = 5$ spremenljivk) in za četrty skupni faktor 0,633 ($N = 3$ spremenljivke).

Zanesljivost ocen treh skupnih faktorjev je bila potrjena.

Preglednica 26: Metoda največjega verjetja z rotacijsko metodo Varimax s Kaiserjevo normalizacijo – pravokotna rotacija

Spremenljivke	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4
1 Pomembnost HE	0,473	-0,034	0,521	0,055
2 Hidroenergetski potencial	0,452	0,028	0,443	-0,187
3 Gradnja HE v prostoru	0,681	-0,003	0,121	-0,045
4 Informacije o pogojih za gradnjo HE	0,322	-0,073	0,128	0,431
6 Energetski učinki in ekološka varnost	0,518	0,038	0,328	0,191
7 Nadzor in pogoji gradnje v naravovarstvenem režimu	0,718	0,118	0,013	0,062
8 Podpora za odločitve o izgradnji HE	0,677	0,034	0,127	0,047
9 Koristnost za lokalno skupnost	0,674	0,167	-0,104	-0,023
10 Potrebe po el. energiji zaradi gospodarske rasti	0,249	0,185	0,377	-0,097
11 Racionalna raba el. energije	0,020	0,297	0,263	-0,144
12 Klimatske razmere	0,575	0,057	0,197	0,113
13 Zagotavljanje monitoringa ekoloških meritev	0,429	-0,019	0,440	0,028
14 Razvoj turizma	0,473	0,072	0,258	0,129
16 Zahtevnost projekta z vidika dokumentacije	0,157	0,484	0,537	-0,078
17 Finančna zahtevnost projekta	0,064	0,581	0,198	0,068
18 Prostorska zahtevnost projekta	0,028	0,642	-0,022	0,035
19 Ekološke zahteve projekta	-0,044	0,764	0,111	-0,170
20 Finančna sredstva za subvencionirano proizvodnjo električne energije iz HE	-0,101	0,639	-0,137	-0,063
21 Zaposlitve in storitve	-0,125	-0,001	0,381	0,180
22 Tehnična zahtevnost projekta	0,299	-0,040	0,284	0,035
23 Proizvodni učinek	0,252	0,093	0,592	0,085
24 Prednost HE pred drugimi OVE	0,572	-0,072	0,124	0,136
25 Doseganje ciljev OVE	0,258	0,500	0,034	0,111
26 Promocija v javnosti	0,076	0,028	-0,011	0,431
27 Poznavanje in osveščanje	0,002	-0,091	0,044	0,994

Vir: lastni izračuni.

Hipoteze H3, da je izgradnja hidroelektrarn odvisna od upoštevanja izkoriščanja vodnega potenciala z razvojnimi in naravovarstvenimi komponentami, od upoštevanja kompleksnosti energetskega projekta z vidika zahtev in ciljev, od družbenih učinkov na gospodarsko rast, zaposlovanja

in storitev ter od ozaveščanja, promocije in obveščanja vseh deležnikov, ne moremo zavrni in smo jo potrdili.

Izgradnja hidroelektrarn je nujna razvojna opcija Slovenije za zagotavljanje potrebne oskrbe z električno energijo, ki izkorišča naravni potencial vodotokov in ne onesnažuje okolja. Ob izgradnji hidroelektrarn prihaja do ureditve infrastrukture v prostoru in poplavne zaščite. Potreben je sistematičen pristop pojasnjevanja izgradnje strateških energetskih objektov, ki zagotavljajo oskrbo z električno energijo lokalnega gospodarstva in gospodinjstev ter nudijo delovna mesta prebivalcem v energetiki, podjetništvu, turizmu ter služnostni dejavnosti v lokalni skupnosti.

Hidroelektrarne zagotavljajo ekološko najčistejšo in konkurenčno električno energijo ter priložnosti za socialnodemografski, gospodarski in infrastrukturni razvoj z upoštevanjem ekološke varnosti okolja.

Trajnostni razvoj kot razmerje med proizvodnjo električne energije, zagotavljanjem dohodka in ohranitvijo okolja

Raziskava daje odgovor na raziskovalno vprašanje glede gospodarskega izziva in ekološke varnosti pri izgradnji hidroelektrarn.

Z anketo smo ugotavljali mnenja anketirancev na temo izgradnje hidroelektrarn z vidika gospodarskega izziva in zagotavljanja ekološke varnosti, pri čemer smo opravili statistično analizo, regresijsko analizo, korelacijsko analizo in multivariatno faktorsko analizo.

Z regresijsko analizo smo potrdili hipotezo, da se ekološka varnost pri izgradnji hidroelektrarne zagotavlja skozi izpolnjevanje tehničnih zahtev gradnje hidroelektrarne v naravnem okolju, ekološke zahteve projekta, zagotavljanje in spremljanje monitoringa ekoloških meritev ter poznavanje in osveščanje deležnikov. S štirimi podhipotezami smo pojasnili odvisne spremenljivke z neodvisnimi spremenljivkami.

S korelacijsko analizo smo potrdili hipotezo o pomembni povezanosti parov spremenljivk pri izgradnji hidroelektrarn, ki se nanašajo na tehnične in prostorske pogoje, vremenske razmere, ekološko varnost ter finančno in lokalno podporo.

S faktorsko analizo smo ugotovili tri skupne faktorje, in sicer: prvi skupni faktor so gospodarski izzivi in ekološka varnost pri izkoriščanju vodnega potenciala z razvojnimi in naravovarstvenimi komponentami, drugi skupni faktor kompleksnosti energetskega projekta z vidika zahtev in ciljev, tretji skupni faktor družbeni učinki na gospodarsko rast, zaposlovanje in storitve, četrti skupni faktor pa ozaveščanje, promocija in obveščanje.

Prvi skupni faktor, gospodarske izzive in ekološko varnost pri izkoriščanju vodnega potenciala z razvojnimi in naravovarstvenimi komponentami, pojasnjujejo spremenljivke: nadzor in pogoji gradnje pod naravovarstvenim režimom, gradnja HE v prostoru, podpora za odločitev o izgradnji HE, koristi za lokalno skupnost, klimatske razmere, prednost HE pred drugimi OVE, energetski učinki in ekološka varnost posodobitve HE, razvoj turizma, hidroenergetski potencial, zagotavljanje monitoringa ekoloških meritev in tehnična zahtevnost projekta

Drugi skupni faktor, kompleksnosti energetskega projekta z vidika zahtev in ciljev, ima težo v spremenljivkah: ekološke zahteve projekta, prostorska zahtevnost projekta, finančna sredstva za subvencionirano proizvodnjo električne energije, finančna zahtevnost projekta, doseganje ciljev OVE in racionalna raba energije.

116

Za tretji skupni faktor, družbene učinke na gospodarsko rast, zaposlovanje in storitve, so pomembne uteži pri spremenljivkah: proizvodni učinek, zahtevnost projekta z vidika dokumentacije, pomembnost HE, hidroenergetski potencial, zagotavljanje monitoringa ekoloških meritev, zaposlitve in storitve ter tehnična zahtevnost projekta.

Četrti skupni faktor, ozaveščanje, promocija in obveščanje, ima največje uteži v spremenljivkah: poznavanje in osveščanje, informiranje o pogojih za gradnjo in promocija v javnosti.

Z raziskavo smo ugotovili, da so mnenja občanov o posameznih vprašanjih v razkoraku z državno energetske politiko, zato je treba večjo pozornost posvetiti področju obveščanja in izobraževanja, da bosta zagotovljena ustrezno poznavanje in zavest ljudi o izrabi naravnih potencialov za proizvodnjo električne energije z obnovljivimi viri energije, kjer so hidroelektrarne najpomembnejši proizvodni vir.

Trajnostni razvoj bo v bodoče predstavljalo pravo ravnotežje med proizvodnjo električne energije, zagotavljanjem dohodka za prebivalstvo in ohranitvijo okolja.

Hidroelektrarne s 100-, 50- in 30-letno tradicijo so dokaz, da se da okoljske zahteve, turizem, rekreacijo in energetske priložnosti povezati v edinstvene projekte, pri katerih upoštevamo energetske, ekonomski in ekološki vidik, ki je orodje ozaveščene javnosti.

Voda – od mita do arhitekture je bila tema Dnevov evropske kulturne dediščine (DEKD), ki so se odvijali zadnji teden septembra 2017. Med pripravami na predstavitev z naslovom »Izkoriščanje vodne energije za proizvodnjo elektrike na tržiških vodah« na Domoznanskem večeru v Knjižnici dr. Toneta Prenarja se mi je utrnila tehnična ponazoritev z ver-

zijo Voda – vodenje, obratovanje, donosi, analize, ki prehaja pomen Voda v novo dimenzijo za javnost kot viri, osveščanje, deležniki, arhiv.

Gradnja hidroelektrarn je gospodarski izziv, ki pa mora upoštevati ekološko varnost.

Sklep

Zeleni prehod v ospredje postavlja obnovljive vire energije z večjo vlogo koriščenja lokalne preskrbe z energijo in njeno pretvorbo v električno energijo. Ker se poraba električne energije povečuje, to ustvarja potrebo po povečani proizvodnji in po večji učinkovitosti pri porabi. Kompleksnost vprašanja trajnosti v oskrbi z energijo in posebej električno energijo izhaja iz možnosti konfliktov med poceni energijo in ekonomsko uspešnostjo, družbeno vzdržnostjo ter varovanjem okolja. To velja tudi za primere ohranjanja in izgradnje hidroelektrarn, različnih interesov ter interpretacij. Okoljski in naravovarstveni pomisleki se pojavljajo v razvitih državah in v državah v razvoju, kjer so prisotne hidroelektrarne (Wilkinson idr. 2018; Zhou idr. 2020; Alfredsen idr. 2022; Arnold idr. 2022; Bradford 2022), in tudi pri izgradnji elektrarn na ravninskem delu; primer je zaustavitev projekta izgradnje hidroelektrarn na reki Muri, na kateri so v višjem alpskem delu v Avstriji hidroelektrarne (Stecher in Herrnegger 2022).

Alpski model hidrologije slovenskih rek smo razvili in prikazali na primerih izbranih hidroelektrarn na treh slovenskih rekah, in sicer Dravi, Savi in Soči. Ker je proizvodnja električne energije iz hidroelektrarn odvisna od hidrologije, oscilira sezonsko znotraj posameznega leta in ciklično med posameznimi leti zaradi vremenskih dejavnikov ter ekstremnih vremenskih odstopanj. Primere lahko v teoriji povežemo z relevantno tujo literaturo s področja hidrologije in v praksi z izkušnjami zlasti iz evropskih alpskih porečij, kot so npr. Švica in Avstrija (Etter idr. 2017; Savelsberg idr. 2018; Herrnegger, Senoner in Nachtnebel 2018; Hakala, Addor, Teutschbein idr. 2020; Hakala, Addor, Gobbe idr. 2020; Stecher in Her-

rnegger 2022) ter skandinavske države, posebej Norveška (Engelhardt, Schuler in Andreassen 2014). Ker je proizvodnja električne energije v hidroelektrarnah odvisna od hidrologije, se spreminja v posameznih opazovanih časovnih obdobjih.

Naša raziskava za slovenske alpske reke kot tudi druge raziskave za alpske reke v drugih državah kažejo na občutna nihanja v pretoku rek. Močna nihanja so se povečala v zadnjih letih, kar naj bi se odražalo v povezavi s klimatskimi spremembami in pogostejšimi ekstremnimi vremenskimi pojavi. Pretoki se razlikujejo med posameznimi rekami kot pomembnim virom energije. Ker je časovni razkorak med proizvodnjo in porabo elektrike minimalen oz. skoraj hkraten z nekajsekundnim zamikom, se za prilagajanje proizvodnje in porabe uporabljajo različni modeli sproizvodnje električne energije. V nekaterih evropskih državah se v sproizvodnji električne energije in kot obnovljiva vira energije vse bolj pojavljata energija vetra oz. vetrne elektrarne (Danska in Nemčija) ter sončne celice oz. sončne elektrarne, čeprav tudi kritik na njun račun ne manjka (Vuichard idr. 2022).

120

Vprašanja trajnostnega razvoja hidrologije, diverzifikacije proizvodnih virov iz drugih obnovljivih virov za proizvodnjo električne energije in alternativnih možnosti razvoja so pomembna za znanost, ekonomsko politiko ter prakso. Spoznanja so pomembna za prakso in politike nadaljnega usmerjanja razvoja hidrologije v sklopu celovitega in trajnostnega razvoja določenih teritorialnih območij. Potrošniki za obnovljive vire energije plačujemo ekološke prispevke z namenom razogljičenja in zelenega prehoda na nizkoogljično energijo. To so tudi področja za nadaljnje raziskovanje.

Povzetek

Vodna energija sodi k obnovljivim virom energije. Raba vodne energije ne povzroča emisij in nima škodljivih vplivov na naše podnebje. Poleg tega je tovrstna proizvodnja velikih količin energije stroškovno sorazmerno ugodna. Zaradi posledic rabe vodne energije in hidroloških sprememb ter posegov v sisteme površinskih vodotokov udeleženci v okolju uveljavljajo odškodnine, urejanje infrastrukture ter koncesijske dajatve.

V raziskavi o dejavniki hidropriizvodnje električne energije smo ugotavljali pomembne elemente v strukturi proizvodnih virov.

Proizvodnja električne energije v hidroelektrarnah je odvisna od hidrologije, ki se spreminja v posameznih opazovanih časovnih obdobjih. Na primerih izbranih hidroelektrarn na treh slovenskih rekah – Dravi, Savi in Soči – smo z opisno statistiko analizirali proizvodnjo električne energije med posameznimi leti z izločitvijo ekstremnih odstopanj in ugotavljali značilno sezonskost med letom.

Z metodami multivariatne statistične analize smo na podlagi dejanskih podatkov analizirali naravne in tehnične dejavnike proizvodnje električne energije. S korelacijsko analizo smo ugotavljali povezanost proizvodnje električne energije s pretokom vode. Z regresijsko analizo proizvodnje električne energije smo ocenili produkcijsko funkcijo glede na pretok vode, padavine in instalirano moč generatorjev. V nekaterih primerih smo pojasnili pomemben vpliv tehnološkega razvoja in človeškega kapitala z upoštevanjem instalirane moči modernizirane hidroelektrarne na zaposlenega. Na izbranem primeru, ki posplošuje učinke hidropriizvodnje električne energije v velikih hidroelektrarnah, smo s prihodkov-

no funkcijo ob tehnoloških in naravnih dejavnikih ocenili pomemben vpliv prodajne cene.

Poslovno okolje, v katerem poslujejo proizvodna podjetja, je postalo zelo dinamično. Cene električne energije se znižujejo in ustvarjajo pritiske na prestrukturiranje ter spremembe poslovnih modelov, uvajanje novih tehnologij, dejavnosti in tržnih pristopov. Cene električne energije so se v zadnjih petih letih znižale za več kot tretjino. Prestrukturiranje podjetij je povezano z diverzifikacijo proizvodnih virov, ko v energetske portfelj ob hidroelektrarnah vpeljujemo subvencionirano proizvodnjo električne energije iz drugih obnovljivih virov.

Z uvedbo sodobnega nadzora proizvodnih objektov nastanejo možnost optimiziranja proizvodnje in možnost oblikovanja prilagodljivejših cenovnih produktov ter optimiranje dela z zmanjšanjem klasičnih posadk za upravljanje hidroenergetskih objektov.

Pretočno derivacijska hidroelektrarna Zvirče, ki izkorišča vodni potencial vodotoka Tržiška Bistrica, ima proizvodnjo, ki niha od -13 % v sušnem letu do +40 % glede na povprečje v mokrem letu. Odstopanja so rezultat hidrologije vodotoka in vlaganj v vzdrževanje ter posodobitev hidromehanske opreme in upravljalnega sistema.

Za kvalitetno izvedbo vzdrževalnih del sta zelo pomembna načrtovanje in poznavanje stanja naprav, kar je možno samo z dobro evidenco opravljenih del. Na podlagi periodičnih meritev ugotavljamo stanje proizvodnih naprav. Z upoštevanjem dejstva, da je staranje naprav počasen proces, lahko vnaprej predvidimo popravilo, s čimer zmanjšujemo stroške izpada proizvodnje in posledično prihodkov.

S statistično analizo smo analizirali hidrološke podatke glede na časovno vrsto (mesečno, letno) ter proizvodnjo električne energije in ugotavljali vpliv vzdrževanja ter posodobitev na obratovanje hidroelektrarne (HE) Zvirče.

Pristop k tehnični rešitvi je upošteval izkustvene rešitve ter varnostne in ekološke zahteve. Izvedba posodobitev hidromehanske opreme HE Zvirče je primer spremenjenih pristopov k vzdrževanju ter z optimiranjem dela posluževalcev zmanjšanja stroška obratovanja.

Dodana vrednost vpliva rednega vzdrževanja na obratovanje proizvodnega vira HE Zvirče je spremljanje učinkov revizij in drugih meritev na strojnem in elektropodročju, kar merimo s kazalcem tveganja okvare in havarije.

Načrtovani učinki rekonstruirane akumulacijske hidroelektrarne Lomščica so predvidevali 3-odstotno povečanje letne proizvodnje električne energije, zmanjšanje stroškov za odstranjevanje naplavin in manjše stroške rednega dela. Ugotavljali smo učinke v šestletnem obratovalnem

obdobju 2009–2014 z vidika izboljšanja izkoristkov proizvodnje električne energije in povečanih prihodkov zaradi doseženih višjih cen električne energije za obratovanje v dopoldanskem dnevnem diagramu, ko je večja potreba po vršni energiji.

Izvedli smo kontrolo doseženih ekonomskih kazalnikov v primerjavi z načrtovanimi ob odločitvi za naložbo in ocenili tveganja. Nadalje smo z vidika koristnosti še ovrednotili ekološke koristi in izvedli ekonomsko analizo stroškov ter koristi (angl. *cost-benefit analysis*).

Obravnavana so bila področja obratovanja in vzdrževanja hidroelektrarne z vidika monitoringa, diagnostike ter vzdrževanja. Plan proizvodnje električne energije v hidroelektrarnah temelji na dolgoletnih povprečnih proizvedene električne energije, kjer se izvzamejo ekstremna odstopanja minimalne in maksimalne proizvodnje. Zaradi vpliva podnebnih sprememb prihaja do pogostejših sušnih obdobj in posledično nedoseganja proizvodnih ciljev. Tveganja v procesih proizvodnje električne energije pa so ob vremenskih dejavnikih, ki vplivajo na pretok vode, odvisna tudi od tehničnih dejavnikov posodobitev in izkoristkov rotirajočih strojev ter zanesljivosti njihovega obratovanja.

Z zbiranjem podatkov o dodatnih vplivnih dejavnikih je cilj nadgradnja testiranja proizvodne funkcije v hidroelektrarnah, ob pridobitvi prodajnih cen pa zasnova prihodkovne funkcije hidroelektrarn. Model omogoča primerjavo hidroelektrarn, ki se razlikujejo glede na specifične pogoje in naravne danosti vodotokov.

Pomemben dejavnik pri obratovanju hidroelektrarne in izkoriščanju vodnega potenciala vodotoka z vidika proizvodnje električne energije je vzdrževanje hidromehanskih naprav, elektroenergetskih naprav in gradbenih del.

Izdelali smo model večkriterijske analize DEXi za vzdrževanje malih hidroelektrarn. Upoštevali smo več metod za vrednotenje, in sicer analizo in izbiro alternativ, kjer upoštevamo tehnične, okoljske in ekonomske dejavnike.

Javno mnenje ni naklonjeno gradnji elektroenergetskih naprav, ki posegajo v okolje. Zaradi naravovarstvene zaščite pa so omejitve ponekod pretirane in ne dopuščajo novih naložb. Zato so pomembni mnenjske raziskave med občani, pogovori o odprtih dilemah, pojasnjevanja, predstavitve in osveščanje o koristih, posledicah ter učinkih z vidika naložb v različne vrste proizvodnih obnovljivih virov energije. Hidroelektrarne so med obnovljivimi viri energije najpomembnejše z vidikov proizvodnje ter zaposlitev in storitev v zvezi z gradnjo za lokalno prebivalstvo, načrtovanjem posegov v prostor in ureditvijo regulacije vodotokov ter okoljsko-ekoloških učinkov z vidika zmanjšanja emisij CO₂.

Summary

Hydropower is a renewable energy source. The use of hydropower produces no emissions and has no harmful impact on our climate. In addition, large-scale production of this type of energy is relatively cost-effective. The consequences of hydropower use and hydrological alterations and interventions in surface watercourse systems have led environmental actors to claim compensation, infrastructure regulation and concession fees.

The study on the drivers of hydropower generation identified important elements in the structure of generation resources.

Hydroelectric power generation depends on hydrology, which varies over the time periods observed. Using selected hydropower plants on three Slovenian rivers, the Drava, the Sava and the Soca, we have analysed the electricity production between years using descriptive statistics, excluding extreme deviations and identifying significant seasonality between years.

Using multivariate statistical analysis methods, we analysed the natural and technical determinants of electricity production on the basis of actual data. Correlation analysis was used to establish the relationship between electricity production and water flow. A regression analysis of electricity production was used to estimate the production function in relation to water flow, precipitation and installed capacity of the generators. In some cases, we explained the significant impact of technological development and human capital by considering the installed capacity of the upgraded hydropower plant per employee. In a selected example generalising the effects of hydropower generation in large hydropower plants, we

estimated the significant impact of the sales price using a revenue function alongside technological and natural factors.

The business environment in which manufacturing companies operate has become very dynamic. Electricity prices are falling, creating pressures to restructure and change business models, introducing new technologies, activities and market approaches. Electricity prices have fallen by more than a third in the last five years. Corporate restructuring is linked to the diversification of production sources, with the introduction of subsidised electricity generation from other renewable sources alongside hydroelectric power plants in the energy portfolio.

The introduction of modern monitoring of production facilities offers the possibility of optimising production and the possibility of designing more flexible pricing products, as well as optimising work by reducing the traditional crews for managing hydropower facilities.

The Zvirče flow-derivation hydropower plant, which exploits the water potential of the Tržiška Bistrica watercourse, has an output that varies from -13% in a dry year to +40% on average in a wet year. The variations are the result of the hydrology of the watercourse and of investments in the maintenance and modernisation of the hydro-mechanical equipment and the management system.

Planning and knowledge of the condition of the installations is very important for the quality of maintenance work, and this can only be achieved by keeping good records of the work carried out. Periodic measurements are taken to determine the condition of the production facilities. Taking into account the fact that ageing is a slow process, we can anticipate repairs in advance, thus reducing the cost of production downtime and consequently revenue.

Statistical analysis was used to analyse hydrological data by time series (monthly, annually), electricity production and to determine the impact of maintenance and upgrades on the operation of the Zvirče hydroelectric power plant.

The approach to the technical solution took into account the solutions of experience and safety and ecological requirements. The implementation of the upgrades of the hydromechanical equipment of the Zvirče hydropower plant (HPP) is an example of the changed approaches to maintenance and the reduction of the operating costs by optimising the work of the operators.

The added value of the impact of routine maintenance on the operation of the Zvirče HPP is the monitoring of the effects of audits and other

measurements in the mechanical and electrical fields, as measured by the failure and accident risk indicator.

The projected impacts of the reconstructed Lomščica accumulation hydropower plant were an increase of 3% in annual electricity production, a reduction in debris removal costs and a reduction in routine maintenance costs. The impacts over the six-year operation period 2009-2014 were considered in terms of improved electricity generation efficiencies and increased revenues due to the higher electricity prices achieved for operation in the morning day-time schedule, when there is a higher demand for peaking power.

We have checked the economic indicators achieved against those planned at the time of the investment decision and assessed the risks. Furthermore, the ecological benefits were further evaluated from a utility perspective and a Cost Benefit Analysis was carried out.

Areas in the operation and maintenance of the hydropower plant were addressed in terms of monitoring, diagnostics and maintenance. The hydropower generation plan is based on long-term averages of electricity generation, excluding extreme deviations of minimum and maximum generation. Due to the impact of climate change, there are more frequent droughts, when production targets are not met. In addition to weather factors affecting water flow, risks in electricity generation processes also depend on the technical factors of the upgrading and efficiency of rotating machinery and its reliable operation.

By collecting data on additional influencing factors, the aim is to build on the testing of the production function in hydropower plants and, when sales prices are obtained, to design the revenue function of hydropower plants. The model allows for a comparison of hydropower plants that differ according to the specific conditions and natural features of the watercourses.

An important factor in the operation of a hydropower plant and the exploitation of the hydroelectric potential of a watercourse in terms of electricity production is the maintenance of the hydromechanical installations, the electrical installations and the civil works.

We have developed a DEXi multi-criteria analysis model for the maintenance of small hydropower plants. We have considered several evaluation methods, namely the analysis and selection of alternatives, where technical, environmental and economic factors are taken into account.

Public opinion is not in favour of the construction of electricity installations that interfere with the environment. With nature protection, restrictions are sometimes excessive and do not allow new investments.

Therefore, opinion polls among citizens, discussions on open dilemmas, explanations, presentations and awareness-raising on the benefits, consequences and impacts in terms of investments in different types of renewable energy generation are important. Hydroelectric power plants are the most important renewable energy sources in terms of production, employment and construction services for the local population and the regulation of watercourses as well as in terms of environmental and ecological impact in terms of CO₂ emission reduction.

Literatura

Uvod

Haubner, E. 2002. *Vodna energija kot ekološka znamka ali ekološki certifikat za hidroenergetske objekte*. AlpMedia poročilo. Alpmedia.net, Informacijska služba za Alpe. https://www.cipra.org/sl/pdfs/76/@@download/file/Porocilo_vodna_energija_S.pdf.

Preučevanje hidroproizvodnje električne energije

Agencija Republike Slovenije za okolje. 2022. Podatki o povprečnih mesečnih podatkih o pretoku voda, padavinah in temperaturah.

Lavrač, N. 2007. *Odkrivanje zakonitosti v podatkih*. Nova Gorica: Poslovno-tehniška fakulteta Univerze v Novi Gorici.

Norušis, M. J. 2002. *SPSS 11.0 Guide To Data Analysis*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Witten, I. H., in F. Eibe. 2005. *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java Implementations*. Amsterdam: Morgan Kaufman.

Hidroproizvodnja med naravnim, tehnološkim in poslovnim okljem

Agencija Republike Slovenije za okolje. B. I. Vremenski portal. <http://meteo.arso.gov.si/>.

Ažman A. 2014. »Vpliv tržnih cen in hidrologije na poslovanje Gorenjskih elektrarn.« *Elgo*, 26. september.

- Bojnec, Š., in D. Papler. 2008. »Green Hydro Electricity Supply Management in Slovenia.« V *Intercultural Dialogue and Management: International Conference Proceedings, 26–29 November 2008, Barcelona, Spain*, 1603–1610. Koper: Faculty of Management.
- Bojnec, Š., in D. Papler. 2012. »Renewable Sources of Energy: Hydro-Electricity in Slovenia.« *Tehnički vjesnik* 19 (4): 795–800.
- Caceres, A. L., P. Jaramillo, H. C. Matthews, C. Samaras in B. Nijssen. 2021. »Hydropower under Climate Uncertainty: Characterizing the Usable Capacity of Brazilian, Colombian and Peruvian Power Plants Under Climate Scenarios.« *Energy for Sustainable Development* 61:217–229.
- 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. *Uradni list Evropske unije*, št. L 140:16–62.
- Dravske elektrarne Maribor. 2018. Podatki o proizvodnji HE Fala v obdobju 2001–2017. Dravske elektrarne Maribor, Maribor.
- Easterby-Smith, M., R. Thorpe in A. Lowe. 2005. *Raziskovanje v managementu*. Prevedel M. Sedmak. Koper: Fakulteta za management.
- Ganguli, P., D. Kumar in A. R. Ganguly, A. R. 2017. »US Power Production at Risk from Water Stress in a Changing Climate.« *Scientific Reports* 7:11983.
- Gaudard, L., F. Avanzi in C. De Michele. 2018. »Seasonal Aspects of the Energy-Water Nexus: The Case of a Run-of-the-River Hydropower Plant.« *Applied Energy* 210:604–612.
- Kachigan, S. K. 1991. *Multivariate Statistical Analysis: A Conceptual Introduction*. New York: Radius.
- Močnik, Z. 2007. »Hidroelektrarne.« V J. Hrovatin, Z. Močnik, I. Sevšek, V. Dirnbek, F. Jakl, J. Kern in D. Papler, *Zgodovina slovenskega elektrogospodarstva*, 67–138. Ljubljana: Elektrotehniška zveza Slovenije.
- Norušis, M. J. 2002. *SPSS 11.0 Guide to Data Analysis*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Papler, D. 2006. »HE Završnica po devetdesetih letih postala kulturni in tehniški spomenik.« *ER, elektrotehniška revija* 1:11–14.
- Papler, D. 2009a. »Hidroenergija, največji potencial učinkovite rabe iz obnovljivih virov energije: predstavitev.« Prispevek predstavljen na Alpe-nergy Bled, Bled, 25.–26. marec.
- Papler, D. 2009b. »Razpršena proizvodnja malih hidroelektrarn in EU za veze doseganja deleža obnovljivih virov energije.« V *Referati in predstavitve, paneli, kataložni zapis, ostalo: deveta konferenca slovenskih elek-*

- troenergetikov, Kranjska gora, 25.–27. maj 2009*. Ljubljana: Slovensko društvo elektroenergetikov CIGRÉ - CIRED.
- Papler, D. 2015. *Sto let Deželne elektrarne Završnica: od proizvodnje električne energije do spomenika tehniške dediščine*. Medvode: Družba Savske elektrarne Ljubljana.
- Papler, D. 2016. »Zaposleni so ustvarjalci razvoja in celovitega prestrukturiranja podjetja.« V *Celovito prestrukturiranje?: odgovor so ljudje; zbornik referatov. 24. letna konferenca SZKO, 12. in 13. november 2015, Portorož*. Ljubljana: Slovensko združenje za kakovost in odličnost.
- Papler, D. 2017a. »Cenovni trendi kot vpliv na prestrukturiranje klasičnega srednjega proizvodnega podjetja električne energije.« V *13. konferenca slovenskih elektroenergetikov – Maribor, 22.-24. maj 2017*, uredila B. Kozamernik. Ljubljana: Slovensko društvo elektroenergetikov CIGRÉ - CIRED.
- Papler, D. 2017b. »Gospodarski izzivi in ekološka varnost pri izgradnji hidroelektrarn.« V *Znanje in poslovni izzivi globalizacije v letu 2017: zbornik referatov; 7. mednarodna znanstvena konferenca, Fakulteta za komercialne in poslovne vede, Celje, 17. november 2017*, uredila T. Kovač in M. Cingula, 210–227. Celje: Fakulteta za komercialne in poslovne vede.
- Papler, D. 2017c. »Hidroproizvodnja električne energije med naravnim, tehnološkim in poslovnim okoljem.« *EGES: energetika, gospodarstvo in ekologija skupaj* 21 (3): 46–54.
- Papler, D. 2018. »Približevanje zavezujočim nacionalnim ciljem deleža OVE.« *EGES: energetika, gospodarstvo in ekologija skupaj* 22 (2): 27–29.
- Papler, D., in Š. Bojnec. 2006. »Pomen managementa na dereguliranem maloprodajnem trgu električne energije v Sloveniji.« *Management* 2 (2): 115–129.
- Papler, D., in Š. Bojnec. 2010. »Determinants of Electricity Consumption in Slovenia.« V *An Enterprise Odyssey: From Crisis to Prosperity – Challenges for Government and Business; 5th International Conference Proceedings*, 226–234. Zagreb: Faculty of Economics & Business, University of Zagreb.
- Papler, D., in Š. Bojnec. 2012. *Naložbe v trajnostni razvoj energetike*. Koper: Fakulteta za management.
- Savske elektrarne Ljubljana. 2018. Interni podatki o proizvodnji HE Završnica v obdobju 1945–2005 in HE Moste v obdobju 1952–2017. Savske elektrarne Ljubljana, Medvode, Moste.

- Schaepli, B., P. Manso, M. Fischer, M. Huss in D. Farinotti. 2019. »The Role of Glacier Retreat for Swiss Hydropower Production.« *Renewable Energy* 132:615–627.
- Soške elektrarne Nova Gorica. 2018. Interni podatki o proizvodnji HE Dobljar 1 in HE Solkan v obdobju 2005–2017. Soške elektrarne Nova Gorica, Nova Gorica.
- van Vliet, M. T. H., D. Wiberg, S. Leduc in K. Riahi. 2016. »Power-Generation System Vulnerability and Adaptation to Changes in Climate and Water Resources.« *Nature Climate Change* 6 (4): 375–380.
- Vicuna, S., R. Leonardson, M. W. Hanemann, L. L. Dale in J. A. Dracup. 2008. »Climate Change Impacts on High Elevation Hydropower Generation in California's Sierra Nevada: A Case Study in the Upper American River.« *Climatic Change* 87:123–137.

132

Obratovanje in vzdrževanje hidroelektrarne

- Basej, J., in D. Papler. 2013. »Vpliv vzdrževanja energetskih naprav v hidroelektrarnah na proizvodnjo električne energije.« *V Enajsta konferenca slovenskih elektroenergetikov, Laško, maj 2013*. Ljubljana: Slovensko društvo elektroenergetikov CIGRÉ - CIRED
- Papler, D. 2015. »Analiza obratovanja proizvodnje, investicije in razvoj v letu 2014, 1. del.« *Elgo vestnik: poslovno glasilo družbe Elektro Gorenjska* 13 (1): 30–31.
- Papler, D., in J. Basej. 2011. »Posodobitev akumulacijske hidroelektrarne Lomščica – pozitivni učinki pri proizvodnji električne energije.« *V Referati in predstavitve referatov, paneli: deseta konferenca slovenskih elektroenergetikov, Ljubljana, 30. maj–1. junij 2011*, uredil M. Čoga, Ljubljana: Slovensko društvo elektroenergetikov CIGRÉ - CIRED.

Analiza učinkov prenove akumulacijske hidroelektrarne

- Bojnec, Š., in D. Papler. 2007. »Climate Change, Energy Intensity Use and Local Green Energy Supply Management.« Prispavek predstavljen na MIC'07 – Management International Conference 2007, 8th International Conference of the Faculty of Management Koper, University of Primorska, Portorož, 20.–24. november.
- Papler, D. 2005. »Interna stopnja donosnosti, kriterij ekonomskega optimiranja elektroenergetske infrastrukture z vidika gospodarskega inženirstva.« *V Zbornik CIRED / CIGRÉ: Sedma konferenca slovenskih elektroenergetikov, Velenje, 30. maja do 3. junija 2005*, uredil T. Sajovic, 6–29, 6–34. Ljubljana: Društvo CIGRE - CIRED.

- Papler, D. 2007a. »Nakup in prodaja električne energije distribucije Slovenije.« V J. Hrovatin, Z. Močnik, I. Sevšek, V. Dirnbek, F. Jakl, J. Kern in D. Papler, *Zgodovina slovenskega elektrogospodarstva*, 350–379. Ljubljana: Elektrotehniška zveza Slovenije.
- Papler, D. 2007b. »Zelena elektrika z vidika spodbujanja za doseganje cilja 20% deleža obnovljivih virov energije do leta 2020.« V *Znanje: teorija in praksa; Festival raziskovanja ekonomije in managementa - FREM 07, 20. november 2007, Koper, Celje, Škofja Loka*. Koper: Fakulteta za management.
- Papler, D. 2008a. »Modeli in analize razvojnih učinkov obnovljivih virov energije.« *ER: elektrotehnika za praktično rabo* 9 (4): 28–33.
- Papler, D. 2008b. »Primerjava razvojnih učinkov obnovljivih virov energije.« Magistrsko delo, Univerza v Novi Gorici.
- Papler, D., in J. Basej. 2011. »Posodobitev akumulacijske hidroelektrarne Lomščica – pozitivni učinki pri proizvodnji električne energije.« V *Referati in predstavitve referatov, paneli: Deseta konferenca slovenskih elektroenergetikov*, Ljubljana, 30. maj - 1. junij 2011. Ljubljana: Slovensko društvo elektroenergetikov CIGRÉ - CIRED.
- Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije. 2009. *Uradni list Republike Slovenije*, št. 37. <https://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?sup=2009-01-1780>.

Monitoring, diagnostika in analitika v funkciji obratovanja in vzdrževanja hidroelektrarne

- Čadež, J. 2013. »Nadzorni sistem za upravljanje razpršenih virov.« V *Zbornik referatov: 2. znanstvena konferenca z mednarodno udeležbo; Konferenca VIVUS področja naravoslovja, kmetijstva, hortikulture in živilstva »Znanje in izkušnje za nove podjetniške priložnosti«*, 24. in 25. april 2013, Naklo, Slovenija, 188–196. Naklo: Biotehniški center Naklo.
- Kachigan, S. K. 1991. *Multivariate Statistical Analysis: A Conceptual Introduction*. 2 izd. New York: Radius.
- Norušis, M. J. 2002. *SPSS 11.0 Guide to Data Analysis*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Novak, M. 2015. »Razvoj energetske informacijskega sistema GeENIS.« V *12. konferenca slovenskih elektroenergetikov – Portorož 2015, CIGRÉ ŠK D2-IT*. Ljubljana: Slovensko združenje elektroenergetikov CIGRÉ - CIRED.
- Novak, M. 2016. »Uvedba energetske informacijskega sistema ,GEKenergija' v stavbah.« V *4. konferenca z mednarodno udeležbo: Konferenca VI-*

VUS – s področja kmetijstva, naravovarstva, hortikulture in floristike ter živilstva in prehrane »Z znanjem in izkušnjami v nove podjetniške priložnosti«, 20. in 21. april 2016. Naklo: Biotehniški center Naklo.

Papler, D. 2016. »Implementacija standarda za področje upravljanja z energijo ISO 50001:2011.« *Elgo vestnik* 14 (1).

Papler, D. 2018. »Dejavniki proizvodnje električne energije na primerih izbranih hidroelektrarn na slovenskih rekah Drava, Sava in Soča.« V 27. posvetovanje *Komunalna energetika, 8. do 10. maj 2018: zbornik*. Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko.

Papler, D. 2019. »Diagnostika in analitika.« *EGES: energetika, gospodarstvo in ekologija skupaj* 23 (5): 42–48.

Model večkriterijske analize DEXi za vzdrževanje malih hidroelektrarn

Bohanec, M. 2006. *Odločanje in modeli*. Ljubljana: DMFA založništvo.

Bohanec, M., in M. Žnidaršič. 2010. »Izkušnje z večparametrskimi odločitvenimi modeli pri podpori odločanja o genslo spremenjenih organizmih.« V 5. konferenca *DAES »Sodobni izzivi menedžmenta v agroživilstvu«, Pivola, 18.-19. mar. 2010*, uredila M. Kožar in T. Cunder, 29–37. Ljubljana: Društvo agrarnih ekonomistov Slovenije – DAES.

DEXi: A Program for Multi-Attribute Decision Making, Version 5.05. B. I. <http://kt.ijs.si/MarkoBohanec/dexi.html>.

Energetski zakon (EZ-1). 2014. *Uradni list Republike Slovenije*, št. 17. <https://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?sop=2014-01-0538>.

Gavrić, D. 2011. »Odločitveni model za izbiro aplikacije za poročanje dnevno opravljenega dela.« *Diplomsko delo*, Univerza v Ljubljani.

Gorenjske elektrarne. 2015. *Interna dokumentacija sistema vodenja kakovosti po standardu ISO 9001:2008 in ISO 50001:2011*.

Gorenjske elektrarne. 2016. *Samoocenitev družbe Gorenjske elektrarne po modelu poslovne odličnosti EFQM*.

Gorenjske elektrarne. 2017. *Interna navodila za vzdrževanje proizvodnih objektov*.

Jereb, E., M. Bohanec in V. Rajkovič. 2003. *Dexi: računalniški program za večparametrsko odločanje; uporabniški priročnik*. Kranj: Moderna organizacija.

Kepner, C. H., in B. B. Tregoe. 1981. *The New Rational Manager*. Princeton, NJ: Kepner-Tregoe.

- Krapež, A., in V. Rajkovič, 2003. »Večkriterijski model ocenjevanja učenčeve projektne naloge.« V *8. mednarodna izobraževalna računalniška konferenca - MIRK 2003, 15. maj-17. maj 2003, Piran*, uredili A. Adamič Makuc, I. Medica in Z. Labernik, 261–265. Ljubljana: Ministrstvo za šolstvo, znanost in šport, Zavod Republike Slovenije za šolstvo, Urad vlade RS invalide in bolnike, Center Republike Slovenije za poklicno izobraževanje, Služba za EU programe, MIRK – Zavod za projektno in raziskovalno delo na omrežju internet, Akademsko in raziskovalna mreža Slovenije; Piran: Osnovna šola Cirila Kosmača.
- Papler, D. 2009. »Metode in sistemi za podporo odločanja pri naložah.« V *9. Konferenca slovenskih elektroenergetikov – Kranjska Gora 2009, CIRED ŠK 6-6*. Ljubljana: Združenje slovenskih elektroenergetikov CIGRE - CIRED.
- Papler, D., in Š. Bojnec. 2013. »Odločitveni modeli za naložbe v bioplinarne z večkriterijsko analizo.« V *Orodja za podporo odločanju v kmetijstvu in razvoju podeželja / 6. konferenca DAES, Krško, 18.-19. april 2013*, uredil A. Udovč, 244–251. Krško: Društvo agrarnih ekonomistov.
- Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije. 2009. *Uradni list Republike Slovenije*, št. 37. <https://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?sop=2009-01-1780>

Okoljska varnost in osveščanje

- Agencija Republike Slovenije za okolje. B. l. »[EN 19] Proizvodnja električne energije iz obnovljivih virov energije.« <http://kazalci.arso.gov.si/sl/content/proizvodnja-elektricne-energije-iz-obnovljivih-virov-energije-2>.
- Akt o prispevkih za zagotavljanje podpor za proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov energije in v soproizvodnji z visokim izkoristkom. 2015. *Uradni list Republike Slovenije*, št. 56. <https://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?sop=2015-01-2368>.
- Clifton, J., in D. Diaz-Fuentes. 2008. »Evaluating EU Policies on Public Services: A Citizens' Perspective.« *Annals of Public and Cooperative Economics* 81 (2): 281–311.
- 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. *Uradni list Evropske unije*, št. L 140:16–62.
- Direktiva 2009/72/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 13. julija 2009 o skupnih pravilih notranjega trga z električno energijo in o razveljavitvi Direktive 2003/54/ES. 2009. *Uradni list Evropske unije*, št. L 211: 55–93.

- Easterby-Smith, M., R. Thorpe in A. Lowe. 2005. *Raziskovanje v managementu*. Prevedel M. Sedmak. Koper: Fakulteta za management.
- Energetski zakon (EZ-1). 2014. *Uradni list Republike Slovenije*, št. 17. <https://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?sop=2014-01-0538>.
- Fujii, E. T., M. Hennessy in M. James. 1985. »An Evaluation of the Validity and Reliability of Survey Response Data On Household Electricity Conservation.« *Evaluation Review* 9 (1): 93–104.
- Fumagalli, E., L. Lo Schiavo in F. Delestre. 2007. *Service Quality Regulation in Electricity Distribution and Retail*. Berlin: Springer.
- Javna agencija Republike Slovenije za energijo. (2017). *Poročilo o stanju na področju energetike v Sloveniji v letu 2016*. Maribor: Javna agencija Republike Slovenije za energijo.
- Kachigan, S. K. (1991). *Multivariate Statistical Analysis: A Conceptual Introduction*. 2. izd. New York: Radius.
- Ministrstvo za infrastrukturo. 2017. »Gradivo za razpravo o oblikovanju energetskega koncepta Slovenije.« 25. maj. http://www.energetika-porta.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/eks/razprava_jun_2017/eks-gradivo_za_razpravo.pdf.
- Miniaci, R., C. Scarpa in P. Valbonesi. 2005. »Restructuring Italian Utility Markets: Household Distributional Effects.« *International Energy Markets Working Papers* 12114, Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM), Benetke.
- Norušis, M. J. 2002. *SPSS 11.0 Guide to Data Analysis*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Papler, D., in Š. Bojnec. 2008. »Sonaravni razvoj med kmetijstvom, okoljem in energetiko.« *Organizacija* 41 (6): A247–A255.
- Papler, D., in Š. Bojnec. 2010. »Ozaveščanje in promocija trajnostnega razvoja energetike in uporabe obnovljivih virov energije.« *IB revija* 44 (2): 57–66.
- Sklep o uskladitvi premij za odkup električne energije, proizvedene v hidroelektrarnah, za leto 2010. 2010. *Uradni list Republike Slovenije*, št. 106. <https://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?sop=2010-01-5495>
- Statistični urad Republike Slovenije. B. I. »Energetika.« Dostop 7. oktobra, 2017. <http://www.stat.si/StatWeb/Field/Index/5>.
- Uredba o izdaji deklaracij za proizvodne naprave in potrdil o izvoru električne energije. 2012. *Uradni list Republike Slovenije*, št. 45. <https://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?sop=2012-01-1924>.

- Uredba o načinu določanja in obračunavanja prispevkov za zagotavljanje podpor proizvodnji električne energije v soproizvodnji z visokim izkoristkom in iz obnovljivih virov energije. 2015. *Uradni list Republike Slovenije*, št. 46. <https://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?sop=2015-01-1920>.
- Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije. 2016. *Uradni list Republike Slovenije*, št. 74. <https://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?sop=2016-01-3198>.
- Zakon o spremembah in dopolnitvah Energetskega zakona (EZ-C). 2008. *Uradni list Republike Slovenije*, št. 70. <https://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?sop=2008-01-3025>.

Sklep

- Alfredsen, K., P. A. Amundsen, L. Hahn, P. M. Harrison, I. P. Helland, E. Martins, W. M. Twardek in M. Power. 2022. »A Synoptic History of the Development, Production and Environmental Oversight of Hydropower in Brazil, Canada, and Norway.« *Hydrobiologia* 849 (5): 269–280.
- Arnold, L. M., K. Hanna, B. Noble, S. E. Gergel in W. Nikolakis. 2022. »Assessing the Cumulative Social Effects of Projects: Lessons from Canadian Hydroelectric Development.« *Environmental Management* 69:1035–1048.
- Bradford, M. J. 2022. »Assessment and Management of Effects of Large Hydropower Projects on Aquatic Ecosystems in British Columbia, Canada.« *Hydrobiologia* 849 (1): 443–459.
- Engelhardt, M., T. V. Schuler in L. M. Andreassen. 2014. »Contribution of Snow and Glacier Melt to Discharge for Highly Glacierised Catchments in Norway.« *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 18 (2): 511–523.
- Etter, S., N. Addor, M. Huss in D. Finger. 2017. »Climate Change Impacts on Future Snow, Ice and Rain Runoff in a Swiss Mountain Catchment Using Multi-Dataset Calibration.« *Journal of Hydrology: Regional Studies* 13:222–239.
- Hakala, K., N. Addor, T. Gobbe, J. Ruffieux in J. Seibert. 2020. »Risks and Opportunities for a Swiss Hydroelectricity Company in a Changing Climate.« *Hydrology and Earth System Sciences* 24 (7): 3815–3833.
- Hakala, K., N. Addor, C. Teutschbein, M. Vis, H. Dakhlaoui in J. Seibert. 2020. »Hydrological Modeling of Climate Change Impacts.« *V Encyclopedia of Water*, uredila P. Maurice, 1–20. Hoboken, NJ: Wiley.

- Herrnegger, M., T. Senoner in H.-P. Nachtnebel. 2018. »Adjustment of Spatio-Temporal Precipitation Patterns in a High Alpine Environment.« *Journal of Hydrology* 556:913–921.
- Savelsberg, J., M. Schillinger, I. Schlecht in H. Weigt. 2018. »The Impact of Climate Change on Swiss Hydropower.« *Sustainability* 10 (7): 2541.
- Stecher, G., in M. Herrnegger. 2022. »Impact of Hydropower Reservoirs on Floods: Evidence from Large River Basins in Austria.« *Journal of Hydrology* 67 (14): 2082–2099.
- Vuichard, P., A. Broughel, R. Wüstenhagen, A. Tabi in J. Knauf. 2022. »Keep it Local and Bird-Friendly: Exploring the Social Acceptance of Wind Energy in Switzerland, Estonia, and Ukraine.« *Energy Research & Social Science* 88:102508.
- Wilkinson, C. L., D. C. J. Yeo, H. H. Tan, A. H. Fikri in R. M. Ewers. 2018. »Land-Use Change is Associated with a Significant Loss of Freshwater Fish Species and Functional Richness in Sabah, Malaysia.« *Biological Conservation* 222:164–171.
- Zhou, S., N. Wu, M. Zhang, W. Peng, F. He, K. Guo, S. Yan, Y. Zou in X. Qu. 2020. »Local Environmental, Geo-Climatic and Spatial Factors Interact to Drive Community Distributions and Diversity Patterns of Stream Benthic Algae, Macroinvertebrates and Fishes in a Large Basin, Northeast China.« *Ecological Indicators* 117:106673.

Recenziji

I

Redka so znanstvena dela, ki obravnavajo razvoj hidrologije slovenskih gorskih rek. Znanstvena monografija z naslovom *Trajnostni razvoj hidrologije slovenskih gorskih rek* predstavlja pomembno izvirno znanstveno delo, ki temelji na analizi zbranih podatkov v hidroelektrarnah. Analize so izvedene z uporabo multivariatnih statističnih metod in večkriterijske metode DEXi.

Sezonska in ciklična nihanja v proizvodnji električne energije iz hidroelektrarn so močno povezana z vremenskimi dejavniki. Z uporabo mikro podatkov iz hidroelektrarn so analizirani naravni tehnično-meteorološki ekonomski in okoljski dejavniki proizvodnje električne energije ter njenega trajnostnega razvoja.

Znanstvena monografija je pomembna za razvoj znanosti, stroke in prakse na interdisciplinarnem področju trajnostnega razvoja hidrologije z ekonomskega, družbenega ter okoljskega vidika. Delo priporočam v objavo, do bo dostopno širšemu krogu raziskovalcev, strokovnjakov in vseh zainteresiranih bralcev, ki se ukvarjajo z izzivi trajnostnega razvoja hidrologije in z vprašanji, povezanimi z razvojem obnovljivih virov električne energije.

Martin Pavlovič

II

Avtorja Drago Papler in Štefan Bojnec sta v znanstveni monografiji z naslovom *Trajnostni razvoj hidrologije slovenskih gorskih rek* prikazala in

empirično analizirala trajnostne vidike razvoja hidrologije na primerih, povezanih s slovenskimi gorskimi rekami. Hidroproizvodnja električne energije je pomembna v strukturi proizvodnih virov posebej na teh geografsko, ekonomsko, socialno in okoljsko specifičnih območjih.

V znanstveni monografiji so predstavljena in analizirana raziskovalna vprašanja, povezana s preučevanjem hidroproizvodnje električne energije v naravnem, tehnološkem in poslovnem okolju ter obratovanja in vzdrževanja hidroelektrarne, z analizo učinkov prenove hidroelektrarne, monitoringom in diagnostiko ter analitiko v funkciji obratovanja in vzdrževanja hidroelektrarne, modelom večkriterijske analize DEXi za vzdrževanje hidroelektrarn, okoljsko varnostjo in ozaveščanjem. Alpski model hidrologije slovenskih rek je razvit in prikazan na primerih izbranih hidroelektrarn na treh slovenskih rekah, in sicer na Dravi, Savi ter Soči. Ker je proizvodnja električne energije iz hidroelektrarn odvisna od hidrologije, oscilira sezonsko znotraj posameznega leta in ciklično med posameznimi leti zaradi vremenskih dejavnikov ter ekstremnih vremenskih odstopanj. Primeri se povezujejo z relevantno tujo literaturo s področja hidrologije v teoriji in izkušnjami zlasti iz evropskih alpskih porečij (Švica in Avstrija) ter skandinavskih držav (Norveška). Ker je proizvodnja električne energije v hidroelektrarnah odvisna od hidrologije, se le-ta spreminja v posameznih opazovanih časovnih obdobjih.

Znanstvena monografija je obogatena s poglobljenimi statističnimi analizami in z uporabo modelov večkriterijske analize DEXi. Na podlagi dejanskih podatkov hidroelektrarn so analizirani naravni, tehnično-meteorološki, ekonomski in okoljski dejavniki proizvodnje električne energije. Poseben poudarek je namenjen vprašanju trajnostnega razvoja hidrologije in diverzifikacije proizvodnih virov iz drugih obnovljivih virov za proizvodnjo električne energije.

Znanstvena monografija prispeva mikroanalize trajnostnega razvoja hidrologije. Izvirne analize na podlagi dejanskih mikropodatkov pomembno prispevajo nove rezultate in spoznanja, ki so pomembni za trajnostni razvoj hidrologije in alternativnih možnosti razvoja. Spoznanja so pomembna za prakso in politike nadaljnjega usmerjanja razvoja hidrologije v sklopu celovitega ter trajnostnega razvoja določenih teritorialnih območij.

Z izvirno empirično analizo sta avtorja pomembno prispevala k razvoju znanosti in prakse na tem specifičnem interdisciplinarnem raziskovalnem področju. Zato znanstveno monografijo v branje posebej priporočam raziskovalcem in strokovnjakom, ki se ukvarjajo s trajnost-

nim razvojem hidrologije v vseh treh njenih dimenzijah – torej dimenzijah ekonomskega, socialnega in okoljskega razvoja –, z obnovljivimi viri električne energije in s trajnostnim razvojem gospodarstva.

Črtomir Rozman

