

Utjecaj i važnost hidroelektrana za fleksibilnost elektroenergetskog sustava

Đivanović, Ivan

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Economics and Business / Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:148:812157>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported/Imenovanje-Nekomercijalno-Dijeli pod istim uvjetima 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-10**



Repository / Repozitorij:

[REPEFZG - Digital Repository - Faculty of Economics & Business Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu

Ekonomski fakultet

Diplomski rad

**UTJECAJ I VAŽNOST HIDROELEKTRANA ZA
FLEKSIBILNOST ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA**

Ivan Đivanović

Zagreb, rujan 2020.

Sveučilište u Zagrebu

Ekonomski fakultet

**Specijalistički diplomski stručni studij Ekonomika energije i
okoliša**

**UTJECAJ I VAŽNOST HIDROELEKTRANA ZA
FLEKSIBILNOST ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA
„IMPACT AND IMPORTANCE OF HYDROPOWER PLANTS FOR
ELECTRIC POWER SYSTEM FLEXIBILITY“**

Diplomski rad

Student: Ivan Đivanović

JMBAG: 0067534027

Kolegij: Tržište električne energije

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Tomislav Gelo

Zagreb, rujan 2020.


MAN DIVANOVIĆ
Ime i prezime studenta/ice

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je DIPLOMSKI RAD
(vrsta rada)
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada, te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Student/ica:

U Zagrebu, 22.9.2020.


(potpis)

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
1.1.	Predmet i cilj rada	1
1.2.	Izvori podataka i metode prikupljanja	1
1.3.	Sadržaj i struktura rada.....	1
2.	HIDROENERGIJA I NJEN RAZVOJ.....	2
2.1.	Osnovni princip iskorištavanja hidropotencijala	5
2.2.	Vrste hidroelektrana	7
2.3.	Male hidroelektrane (MHE)	11
3.	PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U HIDROELEKTRANAMA	13
3.1.	Instalirani kapaciteti i proizvodnja postojećih hidroelektrana u svijetu	14
3.2.	Troškovi proizvodnje električne energije u hidroelektranama	15
3.3.	Mogući negativni društveni i ekološki utjecaji izgradnje hidroelektrana	20
4.	VAŽNOST HIDROELEKTRANA ZA ELEKTROENERGETSKI SUSTAV REPUBLIKE HRVATSKE.....	24
4.1.	Proizvodni kapaciteti i proizvodnja električne energije u Hrvatskoj.....	27
4.2.	Utjecaj hidroloških prilika na poslovne rezultate Hrvatske elektroprivrede .	30
4.3.	Važnost hidroelektrana za fleksibilnost sustava opskrbe električnom energijom sa sve većim udjelom obnovljivih izvora energije	35
4.3.1.	Utjecaj implementacije OIE u EES na primjeru vjetroelektrana.....	39
4.3.2.	Utjecaj reverzibilnih hidroelektrana na fleksibilnost elektroenergetskog sustava	48
5.	NEISKORIŠTENI HIDROPOTENCIJAL HRVATSKE	51
5.1.	Hidroenergetski potencijal i projekti u planu izgradnje u RH.....	51
5.2.	Glavni izazovi iskorištavanju preostalog hidropotencijala u RH	56
5.3.	Utjecaj izgradnje hidroenergetskog sustava Senj 2 na gospodarstvo RH	56
6.	ZAKLJUČAK.....	60

LITERATURA.....	62
POPIS SLIKA	64
POPIS TABLICA.....	65
POPIS GRAFIKONA.....	66

SAŽETAK

Proizvodnja električne energije iz hidroelektrana važan je i nezaobilazan izvor električne energije u svijetu. Hidroelektrane su tokom povijesti imale svojih uspona i padova, od naglog porasta kapaciteta sredinom prošlog stoljeća, do stagnacije zbog sve veće zabrinutosti vezane uz štetne posljedice na okoliš i društvo potkraj stoljeća. Hidroelektrane imaju sposobnost pohrane dijela energije i uključivanja u mrežu u vrlo kratkom roku čime doprinose efikasnosti drugih obnovljivih izvora energije i stabilnosti cjelokupnog elektroenergetskog sustava. U Hrvatskoj je udio hidroelektrana u ukupnim instaliranim kapacitetima veći od 50%, tako da proizvodnja električne energije na području RH uvelike ovisi o hidrološkim prilikama. Kada je riječ o preostalom hidropotencijalu, razvijene zemlje su iskoristile većinu najpogodnijih mjesta za izgradnju, dok se u nerazvijenim zemljama porast instaliranih kapaciteta može vidjeti iz godine u godinu. Cilj izrade ovog rada je dobiti uvid u kojoj mjeri i na koji način hidroelektrane doprinose fleksibilnosti elektroenergetskog sustava sa sve većim udjelom obnovljivih izvora, a posebice vjetroelektrana.

Ključne riječi: hidroelektrane, električna energija, fleksibilnost elektroenergetskog sustava, obnovljivi izvori energije, pohrana energije

SUMMARY

The production of electricity by hydropower plants is an important and essential source of electricity in the world. Hydropower plants have historically had their ups and downs, from a sharp increase in capacity in the middle of the last century, to stagnation due to growing concerns about the harmful effects on the environment and society at the turn of the century. Hydropower plants have the ability to store part of the energy and connect to the grid in a very short time, thus contributing to the efficiency of other renewable energy sources and the stability of the entire power system. In Croatia, the share of hydropower plants in the total installed capacity is higher than 50%, and the production of electricity in the territory of the Republic of Croatia largely depends on hydrological conditions. When it comes to the remaining hydro potential, developed countries have used large part of the most suitable places for construction, while in underdeveloped countries, an increase in installed capacity can be seen every year. The aim of this paper is to gain insight into the extent to which hydropower plants contribute to the flexibility of the power system with increasing shares of renewable sources, especially wind farms.

Key words: hydropower plant, electricity, electric power system flexibility, renewable energy sources, energy storage

1. UVOD

1.1. Predmet i cilj rada

Predmet ovog rada su hidroelektrane, s osvrtom na povijesni razvoj, sadašnje stanje i ulogu koju imaju u elektroenergetskom sustavu. Cilj izrade ovog rada je dobiti uvid u kojoj mjeri i na koji način hidroelektrane doprinose fleksibilnosti elektroenergetskog sustava sa sve većim udjelom obnovljivih izvora, a posebice vjetroelektrana.

1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja

Za potrebe diplomskog rada provodilo se sekundarno istraživanje. Koristila se literatura domaćih i stranih autora te su prikupljeni podaci od raznih stručnjaka s područja hidroenergetike, kao i od raznih sudionika na tržištu električne energije u Hrvatskoj, uključujući i internacionalna udruženja s područja hidroenergetike i obnovljivih izvora energije. Znanstvene metode deskripcije, analize, sinteze, komparacije i kompilacije korištene su za utvrđivanje i interpretaciju navedenih podataka.

1.3. Sadržaj i struktura rada

Diplomski rad o ulozi hidroelektrana u elektroenergetskom sustavu sa sve većom implementacijom obnovljivih izvora energije podijeljen je u 5 poglavlja. U prvom dijelu rada definiran je predmet i cilj istraživanja, navedene su metode istraživanja i izvori prikupljenih podataka. Drugi dio rada odnosi se na povijesni razvoj korištenja hidroenergije, važne događaje koji su doprinijeli razvoju, te je objašnjen osnovni princip iskorištavanja hidropotencijala. Napravljena je i podjela hidroelektrana prema vrstama i veličini. U trećem poglavlju će biti prikazani postojeći kapaciteti hidroelektrana u svijetu i Europi kao i troškovi izgradnje novih postrojenja i mogući negativni utjecaji na okoliš i društvo. Četvrto poglavlje rada odnosi se na ulogu hidroelektrana u elektroenergetskom sustavu RH u kojem će biti prikazani ukupni kapaciteti za proizvodnju električne energije u RH, utjecaj hidroloških prilika na poslovanje HEP grupe i uloga hidroelektrana u sustavu sa sve većim udjelom obnovljivih izvora. U petom poglavlju bit će opisan preostali hidropotencijal RH, glavni izazovi iskorištavanju istog te utjecaj koji izgradnja novih postrojenja može imati na gospodarstvo.

2. HIDROENERGIJA I NJEN RAZVOJ

Kroz povijest se energija vode koristila za navodnjavanje i pokretanje različitih mehaničkih naprava poput vodenica i mlinova. U Mezopotamiji i Egiptu snaga vode koristila se već u 6. tisućljeću prije Krista za navodnjavanje dok su prvi vodeni satovi konstruirani u 2. tisućljeću prije Krista. U Kini i na dalekom istoku vodom su pokretane crpke koje su vodu prebacivale u kanale korištene za navodnjavanje, a u Indiji i Rimu korištene su vodenice i mlinovi za žitarice.¹ Parni stroj dugo je vremena bio jedini stroj za proizvodnju mehaničke energije koji se mogao postaviti na mjesto gdje je ta energija bila potrebna. Iskorištavanje energije bilo je moguće samo neposredno pomoću remenskog prijenosa, a isto vrijedi i za korištenje vodnih snaga za pretvaranje energije vodotoka u mehaničku. Prva faza korištenja vodnih snaga, označava prijelaz iz početnog, primitivnijeg korištenja bez prijenosa energije na daljinu, prema suvremenijem korištenju i i uvelike se razlikuje od današnjeg stanja. Prve vodne snage koristile su se u vrijeme kada se električna energija nije mogla prenositi na veće daljine pa se izolirani krug potrošača okupljao oko hidroelektrane. Daljni razvitak iskorištavanja vodnih snaga nastaje usavršavanjem turbina, novim saznanjima u područjima elektrotehnike i mogućnošću prijenosa električne energije na veće udaljenosti.² Razvoj vodnih turbina u današnjem smislu datira iz 1837. godine, kada je konstruirana Fourneyranova turbina, nakon toga razvila su se tri osnovna tipa turbina. Francisova turbina 1847. godine, Peltonova turbina 1878. godine i Kaplanova turbina 1922. godine.³ Iako su dosta rano postojali hidraulični strojevi, intenzivna izgradnja počinje tek krajem 19.st. Uvjetovana je razvojem električnih generatora i prijenosom električne energije na veće udaljenosti putem dalekovoda visokog napona. Prvi električni motor konstruirao je Jakobi 1834. god., a prvi električni generator istosmjerne struje Siemens i Wheatstone 1866. god. Marcel Deprez, francuski elektrotehničar i fizičar, izvršio je 1882. god. prve pokuse u prijenosu električne energije putem istosmjerne struje na udaljenost između Miesbacha i Münchena (57 km) i 1885. god između na relaciji između Creila i Pariza (56 km). Uzrok neuspjeha prijenosa električne energije istosmjernom strujom na veće udaljenosti je nemogućnost stvaranja dovoljno visokog napona. Nikola Tesla

¹ Dostupno na: <http://bioteka.hr/modules/okolis/article.php?storyid=19> (26. srpnja 2020.)

² Stojić, P. (1995) Hidroenergetika. Split: Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, str. 3

³ Udovičić, B. (1993) Energetika. Zagreb: Školska knjiga, str. 149-150

1884. godine odlazi u SAD i godinu dana radi s Edisonom, a nakon toga osniva vlastiti laboratorij u kojem 1887. godine dolazi do svog najvažnijeg otkrića, trofazne struje i okretnog magnetskog polja. Tesla 1891. godine vrši prijenos trofazne izmjenične struje pod naponom od 15 kV i 30 kV, od HE Neckar u blizini mjesta Luffen do Frankfurta, na udaljenosti od 175 km. Smatra se da su ta otkrića omogućila racionalno korištenje hidroenergetskog potencijala vode. Teslina ideja o izgradnji hidroelektrane na slapovima Niagare dolazi do realizacije 1895. godine i može se nazvati početkom perioda intenzivnog korištenja vodnih snaga u elektroenergetske svrhe.⁴ Proizvodnja električne energije iz hidroelektrana u RH počinje kada poduzeće Šupuk iz Šibenika gradi 1895. god. HE Jarugu na rijeci Krki, na Skradinskom buku. Nakon HE na slapovima Niagare, to je druga HE na svijetu koja proizvodi izmjeničnu struju. Proizvedena energija koristila se za pogon mlinova, uljaru, tvornicu tjestenine i rasvjetu grada Šibenika, a prenosila se na udaljenost od 10 km. 1895. god. je stoga označena kao početak elektroenergetskog korištenja vodnih snaga u Hrvatskoj. Devet godina nakon izgradnje prve HE na našim prostorima, 1904. god. izgrađena je nova HE Jaruga (5,4 MW) koja je također bila namijenjena šibenskoj industriji. Razvoj je nastavljen izgradnjom HE Miljacka (1906. god.) na Krki, instalirane snage 17,7 MW s protokom od 24 m³/s i bruto padom od 105 m. Nakon toga izgrađena je prva veća hidroelektrana u kontinentalnom dijelu Hrvatske, HE Ozalj (1908. god.) na rijeci Kupi pokraj Karlovca. Instalirana snaga bila je 2,5 MW, a dobivena energija koristila se za potrebe rasvjete grada Karlovca. HE Ozalj je bila poznata pod imenom „Munjara grada Karlovca”. HE Kraljevac bila je najveća hidroelektrana iz tog doba (1912 god.), izgrađena je na rijeci Cetini i u početku je služila za potrebe tvornice karbida u Dugom Ratu. Ukupna instalirana snaga u to vrijeme bila je 25,6 MW (2x12,8 MW), uz bruto pad od 100 m i instalirani protok od 30 m³/s. 1932. god. ugrađena su još 2 agregata u snage 20,8 MW uz protok od 50 m³/s. HE Kraljevac je tada, s instaliranom snagom ukupno 67,2 MW i protokom od 80 m³/s, bila najveća HE na Balkanu. Do kraja Drugog svjetskog rata izgrađene su HE imale snagu do 1 MW, a jedina veća bila je HE Duga Resa (1,7 MW) na rijeci Mrežnici. U Hrvatskoj je prije Drugog svjetskog rata bilo izgrađeno 165 elektrana (većinom HE), ukupne instalirane snage 176 MW. Nakon Drugoga svjetskog, osim započete obnove HE koje su bile oštećene tokom rata te napravljenoj pripremi za izgradnju novih, daljnjem iskorištavanju hidropotencijala

⁴ Stojić, P., op.cit., str. 63

pristupilo se planski i pažnja je posvećena cijelom slivu, planskim korištenjem njegovih voda. Prvi objekti koji su izgrađeni nakon rata su HE Vinodol (84 MW), HE Zavrelje u Mlinima (2,1 MW) i HE Ozalj II, izgrađene 1952. god.⁵ Izgradnjom akumulacije HE Peruća (1958. god.) i povezivanjem dalekovodom 110kV s kontinentalnim dijelom Hrvatske (Zagreb), HE Kraljevac postiže svoje najveće proizvodne dosege. Gradnjom prve faze HE Zakućac 1961. god., radi iskorištenja protoka Cetine na većem padu, godišnja proizvodnja HE Kraljevac smanjena je s rekordnih 471 GWh (1960. god.) na srednju godišnju proizvodnju od 137 GWh (u razdoblju od 1961. - 1980. god.). U razdoblju od 1959. – 1989. god. izgrađeno je 13 velikih hidroelektrana. U navedenom razdoblju izgrađene su: 1959. god. HE Gojak (48 MW); 1960. god. HE Peruća (42 MW); 1. faza HE Zakućac 1962. god. (216 MW) i druga faza 1981. god. (270 MW); 1965. god. HE Senj (216 MW); 1965. god. HE Dubrovnik (216 MW); 1968. god. HE Rijeka (37 MW); 1970. god. HE Sklope (23 MW); 1973. god. HE Orlovac (237 MW); 1975. god. HE Varaždin (94 MW); 1982. god. HE Čakovec (76 MW); 1984. god. RHE Velebit (276 MW); 1989. god. HE Dubrava (76 MW); 1989. god. HE Đale (41 MW). Tijekom Domovinskog rata došlo je do znatnih oštećenja elektroenergetskog sustava RH pa tako i hidroelektrana. 17. rujna 1991. godine neprijatelj je zauzeo branu i HE Peruća te je postavio eksploziv u galeriju brane pod prijetnjom da će ju srušiti. Postrojenje od 220 kV HE Dubrovnik uništeno je 1. listopada iste godine i zaustavljen je rad elektrane. 28. siječnja 1993. god. aktiviran je eksploziv u galeriji brane Peruća, na sreću bez njenog potpunog urušavanja. Iste godine izgrađeno je novo rasklopno postrojenje od 110 kV HE Dubrovnik te je obnovljena TS Komolac, HE Dubrovnik je priključen na elektroenergetski sustav RH i time je osigurano pouzdanije napajanje električnom energijom.⁶ HE Lešće je prva i jedina velika hidroelektrana izgrađena u Hrvatskoj od samostalnosti. Gradnja je započela 2005. god., a puštena je u pogon 5 godina kasnije, 2010. god. HE Lešće je akumulacijsko pribransko postrojenje instalirane snage 42,29 MW.

⁵ Hrvatska komora inženjera građevinarstva (2012): Program iskorištenja slobodnog hidropotencijala Dostupno na: http://digarhiv.gov.hr/arhiva/1238/88784/www.hkig.hr/fdsak3jnFsk1Kfa/izdvojeno/Program_iskoristenja_slobodnog_hidropotencijala_u_Republici_Hrvatskoj.pdf (27. srpnja 2020.)

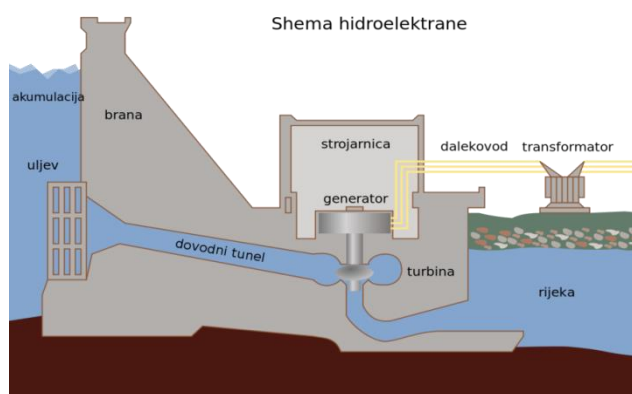
⁶ Kalea, M. (2014) Dan HEP-a, uz 119 godina elektroprivredne djelatnosti u Hrvatskoj. HEP Vjesnik [online], ljetni dvobroj 277-278/317-318. Dostupno na: <https://www.hep.hr/UserDocsImages//dokumenti/vjesnik/2014//278.pdf> (1. kolovoza 2020.)

2.1. Osnovni princip iskorištavanja hidropotencijala

Voda koja se nalazi na visokoj razini često akumulirana iza brane ima određeni pad. Njezina potencijalna gravitacijska energija pretvara se u kinetičku energiju koja pogoni vodnu turbinu. Turbinom se kinetička energija pretvara u mehaničku energiju vrtnje vratila turbine. Rotirajuća osovina turbine pogoni generator koji proizvodi električnu energiju. Snaga koja se dobije ovisi o sili gravitacije, količini vode i neto padu na kojemu se voda koristi te o stupnju djelovanja agregata. Budući da je protok nestalan i može oscilirati u određenoj hidroelektrani u velikim razmjerima, potrebno je poznavati razliku između instalirane snage i razine proizvodnje određene hidroelektrane. Instalirana snaga je nazivna snaga hidroelektrane i dobiva se kada hidroelektrana radi s instaliranim protokom i uz pretpostavku da su svi dijelovi hidroelektrane sposobni za pogon. Izražava se u kW (MW, GW ili TW). Raspoloživa snaga je snaga koju hidroelektrana može proizvesti u nekom trenutku, uzimajući u obzir stvarno stanje u hidroelektrani, raspoloživi dotok i pad vode. Uz snagu hidroelektrane, drugo osnovno obilježje je moguća proizvodnja, koja se obično izražava kao srednja godišnja proizvodnja u kWh (MWh, GWh ili TWh). Računa se kao aritmetička sredina mogućih godišnjih proizvodnji u promatranom dužem nizu godina. Količina vode koja protječe vodotokom u jedinici vremena nije konstantna, već ovisi o oborinama, topljenju snijega i o količini vode koja podzemnim putevima dotječe u vodotok. Tako se preko srednjeg satnog, dnevnog, tjednog i mjesečnog toka dolazi do srednjeg godišnjeg protoka. S obzirom na to da veličina srednjih protoka i njihov raspored u tijeku godine mogu biti vrlo različiti, za određivanje moguće proizvodnje potrebno je koristiti se protocima za veći broj godina, kako bi se dobio višegodišnji prosjek. Pod pojmom moguća proizvodnja podrazumijeva se maksimalna proizvodnja koja se može ostvariti uz upotrebu maksimalne količine vode i uz najpovoljnije uvjete, uzimajući pritom u obzir veličinu gradnje hidroelektrane. Pri računanju moguće proizvodnje hidroelektrane potrebno je računati samo s neto protocima, uzimajući u obzir postojanje akumulacijskih bazena prije zahvata hidroelektrane. Postojanjem akumulacijskih bazena osigurava se akumulacija vode u vlažnijim razdobljima godine, kako bi se spriječilo prelijevanje vode kad je prirodni dotok veći od instaliranog protoka. Akumulirana voda se koristi u sušnijim razdobljima i tako se povećava moguća proizvodnja hidroelektrane. Pri računanju moguće proizvodnje pretpostavlja se da nema nikakvih

ograničenja i da su svi dijelovi postrojenja spremni za pogon.⁷ U hidroelektranama se potencijalna i kinetička energija vode transformira u mehaničku energiju vodnim turbinama, a potom se pomoću generatora pretvara u električnu energiju.⁸ Hidroelektrane su višenamjenska postrojenja pa osim proizvodnje električne energije obavljaju i druge funkcije. Navodnjavanje, opskrba vodom, obrana od poplava i promet neke su od najvažnijih funkcija kojima može doprinijeti gradnja ovakvih postrojenja.⁹

Slika 1. Opća shema hidroelektrane



Izvor: <https://obnovljiviizvorienergijee.weebly.com/energija-vode.html>

Hidroelektranom se smatra određen sklop koji se sastoji od objekata za usporavanje voda, izravnjanje i reguliranje protjecaja: pregrade, brane i akumulacije; od objekata za transport vode: kanali, tuneli, tlačni cjevovodi; od objekata za proizvodnju mehaničke i električne energije: strojarnice s hidrauličnim strojevima u kojima se transformira energija tekuće vode u mehaničku (turbine) i potom u električnu pomoću električnih strojeva (generatori); od objekata za transformaciju na visoke napone, dalekovoda za transport električne energije, i objekata za odvod iskoristene vode u rijeku ili donji kompenzacijski bazen, more ili jezero.¹⁰

⁷ Udovičić, B. (1993) Energetika. Zagreb: Školska knjiga, str. 69-70

⁸ Stojić, P. (1995) Hidroenergetika. Split: Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, str. 21

⁹ Dostupno na: <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/1528> (26. srpnja 2020.)

¹⁰ Stojić, P. (1995) Hidroenergetika. Split: Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, str. 36

2.2. Vrste hidroelektrana

Općenito gledajući, hidroelektrane se mogu podijeliti prema više različitih karakteristika: načinu iskorištavanja energije vode, prema padu koji iskorištavaju, prema položaju strojarnice, prema instaliranoj snazi i slično.

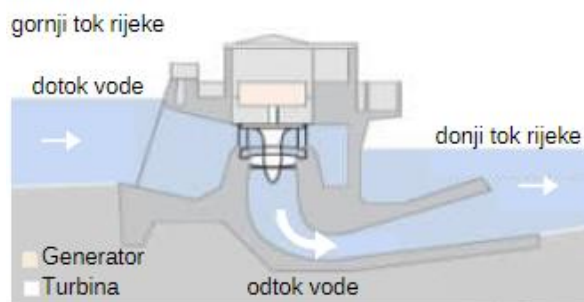
Prema načinu korištenja vode hidroelektrane se dijele na:

- protočne
- akumulacijske
- reverzibilne
- crpne

Protočne hidroelektrane se za proizvodnju električne energije koriste prirodnim tokom vode u rijekama, potocima ili kanalima. Tipična protočna hidroelektrana ima malu ili uopće nema akumulaciju, a vodu kao energent koristi pretežito u temeljnom režimu. Protočne hidroelektrane fleksibilnost rada s obzirom na dnevne promjene u potrošnji ostvaruju regulacijom protoka vode u postrojenju.¹¹ Protočna hidroelektrana se locira na način da se zaustavi tok neke rijeke, što donekle podiže razinu gornje vode i time omogućuje funkcioniranje vodne turbine koja je smještena u podnožju brane na rijeci ili u posebno izgrađen privodni kanal za hidroelektranu. Karakteristično je za taj tip hidroelektrane da njezina trenutna proizvodnja (raspoloživa snaga) ovisi o prirodnom dotoku vode rijekom, uz malu mogućnost prilagođavanja potražnji za električnom energijom u određenom elektroenergetskom sustavu. Protočna hidroelektrana svojom izgradnjom može doprinijeti plovidbi, vodoopskrbi, navodnjavanju poljoprivrednih površina i može poboljšati turističku ponudu kraja gdje je izgrađena. Mogu biti bez akumulacije, s malom satnom/dnevnom akumulacijom ili vodu direktno dovode do turbina, što ih čini vrlo jednostavnim za izradu, ali istovremeno su izrazito ovisne o dostupnosti vode u određenom vremenu. Izgradnja ovakvih postrojenja je jeftinija i u pravilu ima manji utjecaj na okoliš.

¹¹ Dostupno na: <https://www.hydropower.org/types-of-hydropower> (30. srpnja 2020.)

Slika 2. Pojednostavljeni prikaz protočne hidroelektrane



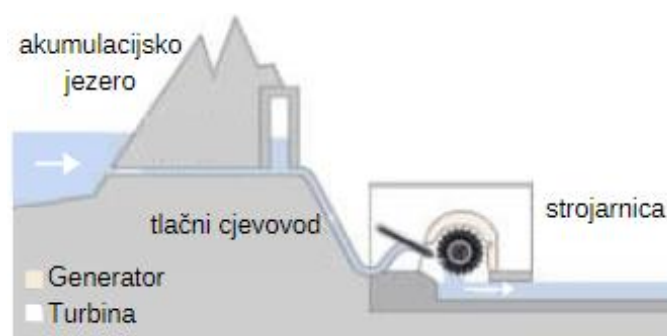
Prilagođeno prema: <http://www.edclgroup.com/who-we-are/about-hydropower/> (30.7.2020.)

Akumulacijska hidroelektrana je u pravilu veliko postrojenje koje koristi branu za akumulaciju velikih količina vode. Električna energija se dobiva otpuštanjem vode iz akumulacije kroz turbine koje aktiviraju generatore električne energije. Akumulacijske hidroelektrane osiguravaju proizvodnju električne energije u temeljnom režimu - „*base load*“ te imaju mogućnost gašenja i ponovnog pokretanja u vrlo kratkom roku (u pravilu manje od 1 minute kako bi se namirile i potrebe vršnog opterećenja) - „*peak load*“. Akumulacijske hidroelektrane mogu pohraniti dovoljno energije kako bi bile nezavisne o hidrološkim prilikama nekoliko tjedana ili mjeseci.¹² Podižu se na mjestima na kojima postoji mogućnost akumuliranja vode u umjetno uspostavljenom jezeru tako da je razina vode u tom jezeru iznad razine neke moguće odvodnje te vode iz elektrane, dosta često je to razina mora, kamo ta voda i inače, prirodnim putevima u konačnici dopire. Za stvaranje umjetnog jezera podiže se brana, često vrlo velike visine i volumena ugrađenog materijala. Hidroelektrana se smješta na razini donje vode, a između nje i akumulacijskog jezera postavlja se tlačni cjevodod uz eventualni gravitacijski kanal za dovod vode elektrani ili je izvedena kao pribranska elektrana, smještena uz najdonji dio brane. U akumulacijskom jezeru prikuplja se voda svojim prirodnim dotokom, te oborinska voda iz šireg područja jezera. Korištenje akumuliranom vodom nije povezano s punjenjem akumulacijskog jezera, naravno sve dok bazen nije do vrha pun, nego je vezano uz dnevni, tjedni, sezonski, pa čak i višegodišnji ritam pažljivo planirane proizvodnje električne energije. Voda se koristi, bazen se prazni, u doba vršnih opterećenja elektroenergetskog sustava, a elektrana može mirovati u doba malih opterećenja omogućujući opet stanovito pušenje akumulacijskog bazena. Angažirana snaga može uvijek biti jednaka nazivnoj snazi (pri zatečenom padu vode), ali

¹² Dostupno na: <https://www.hydropower.org/types-of-hydropower> (30. srpnja 2020.)

produkcija tom snagom je ograničena brzinom pražnjenja akumulacije. Kako pad vode, razlika između razina gornje i donje vode može iznositi više stotina metara, a korisni volumen akumulacijskog jezera i više milijuna kubnih metara, proizvodnje akumulacijskih hidroelektrana mogu biti vrlo velike. Drugo dobro svojstvo tih elektrana je velika regulacijska sposobnost, tj. sposobnost da u vrlo kratkom vremenu prilagođava svoje opterećenje čak iznenada nastalim potrebama elektroenergetskog sustava.¹³

Slika 3. Pojednostavljeni prikaz akumulacijske hidroelektrane



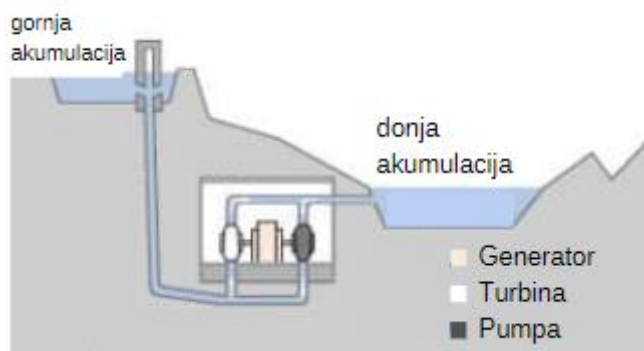
Prilagođeno prema: <http://www.edclgroup.com/who-we-are/about-hydropower/> (preuzeto 30. srpnja 2020.)

Reverzibilne hidroelektrane za razliku od prethodno navedenih imaju 2 akumulacije, gornju i donju, a istovremeno su proizvođač i potrošač energije. Kada se iskorištava potencijalna energija koja je akumulirana u gornjem akumulacijskom bazenu hidroelektrana radi u turbinskom pogonu i djeluje na tržištu kao proizvođač električne energije. Suprotno tome, kada se voda u gornji akumulacijski bazen crpi iz donjeg akumulacijskog bazena hidroelektrana djeluje kao potrošač energije na tržištu. Kada ne bi bilo gubitaka vode (zbog ishlapljivanja u gornjem i donjem akumulacijskom bazenu, gubitaka vode zbog propuštanja brtvenica itd.), cijeli bi se proces mogao trajno ponavljati bez dodavanja nove vode. Budući da postoje gubici vode, potreban je dotok vode u gornji ili donji akumulacijski bazen. S druge strane, kada ne bi bilo gubitaka energije u crpki, vodnoj turbini, dovodu i cjevovodu, u turbinskom pogonu bi se proizvodilo upravo onoliko električne energije koliko je utrošeno za crpljenje. U stvarnosti, više se energije troši za crpljenje nego što se proizvodi u turbinskom pogonu. Promatrajući bilančno, reverzibilna hidroelektrana je potrošač električne energije ali može biti vrlo korisna u elektroenergetskom sustavu ako se voda crpi u razdobljima malih

¹³ Kalea, M. (2007) Električna energija. Zagreb: Kigen d.o.o., str. 133-136

opterećenja sustava kada ima viška električne energije koja je u pravilu jeftinija, a proizvodi električnu energiju u razdobljima velikih opterećenja kada električnu energiju može plasirati po većoj cijeni.¹⁴ Efikasnost ove vrste postrojenja je 70-85%, a danas s obzirom na povećanu penetraciju obnovljivih izvora sve više dobivaju na važnosti u svijetu i Europi.

Slika 4. Pojednostavljeni prikaz reverzibilne hidroelektrane



Prilagođeno prema: <http://www.edclgroup.com/who-we-are/about-hydropower/> (preuzeto 30. srpnja 2020.)

Crpne HE su hidroenergetska postrojenja kojima je osnovni zadatak crpljenje (sakupljanje) vode u višim akumulacijama za potrebe neke klasične HE (u čijem su tehnološkom sastavu), a kada se voda iz akumulacije koristi u osnovnoj HE, rade kao klasična HE te i one koriste energiju iste vode povećavajući ukupni stupanj iskoristivosti.¹⁵

Prema padu vodotoka dijele se na:

- niskotlačne
- srednjetlačne
- visokotlačne

Niskotlačne HE su one koje se koriste radi iskorištavanja niskih padova do 25 m. Najpogodnije turbine za takva postrojenja su Kaplanove turbine. Srednjetlačne HE su one koje se koriste radi iskorištavanja padova između 25 i 200 m. Najpogodnije turbine za takva postrojenja su Francisove turbine. Visokotlačne HE se koriste radi iskorištavanja padova iznad 200 m, a najpogodnije turbine za takva postrojenja su Peltonove turbine.

¹⁴ Udovičić, B. (1983) Elektronergetika. Zagreb: Školska knjiga, str. 55

¹⁵ Dostupno na: <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/1528> (1. kolovoza 2020.)

Prema položaju strojarnice dijele se na:

- pribranske
- derivacijske

Kod pribranskih HE strojarnica se nalazi u blizini brane, a često može biti i ugrađena u samu branu. Kod derivacijskih HE strojarnica je udaljena od vodotoka ili akumulacije pa se voda do turbine dovodi cjevovodima ili dovodnim kanalima.

2.3. Male hidroelektrane (MHE)

Osim podjele iz prethodnog poglavlja, hidroelektrane se još mogu podijeliti na male (MHE) i velike hidroelektrane. Prema klasifikaciji RH, HE snage <10 MW spadaju u male hidroelektrane te su od 2007. godine u sustavu poticanja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora i kogeneracije (OIEiK) od strana HROTE-a. MHE su pogodne za decentralizirana područja koja imaju malu potrošnju i za otočni pogon (eng. „off-grid operation). Osim navedenog, MHE su pogodne i za niskonaponske mreže te za lokalne mikro mreže. Karakterizira ih kratak period izgradnje i manja štetnost utjecaja na okoliš za razliku od velikih postrojenja. MHE možemo podijeliti s obzirom na tip mreže: centralizirana elektroenergetska mreža, otočna (off-grid) mreža ili MHE za vlastite i namjenske potrebe (za potrebe neke tvornice) i s obzirom na tip regulacije: protočne (manja instalirana snaga koja varira s protokom), protočne s manjim bazenom (služi za pokrivanje vršnih opterećenja), akumulacijske (veća instalirana snaga uz veće poplavljeno područje) i crpno akumulacijska (koristi energiju iz mreže u doba manjih opterećenja za pumpanje vode, ne tako često i s malim snagama). Rasprostranjenost i broj potencijalnih lokacija za MHE je veći što je predviđena snaga instalacije manja jer prirodnih vodnih stepenica s manjom visinskom razlikom ima više nego onih s velikom visinskom razlikom. Povoljne lokacije za izgradnju MHE u RH su uglavnom u gornjim dijelovima vodotoka, što znači da se radi o nepristupačnim i slabo naseljenim područjima s niskom potrošnjom i nekvalitetno razvedenom distributivnom mrežom. Takva područja su u većini slučajeva dio netaknute prirode. Potencijali za izgradnju MHE analizirani su prvi put 1980. god. izradom Katastra malih vodnih snaga u Republici Hrvatskoj, a nastavljene su izradom Katastra malih hidroelektrana I. faza i Katastra malih hidroelektrana II. faza. Više o potencijalu izgradnje MHE bit će prikazano u 5. poglavlju. Procedura za MHE uključuje ishodaenje raznih paketa

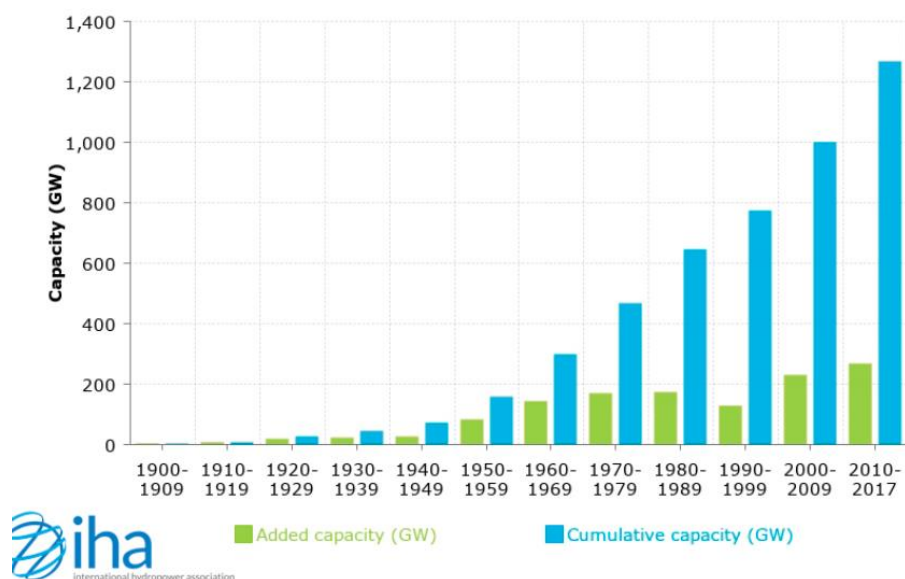
dozvola i suglasnosti vezanih za korištenje vodnih resursa, što čini proceduru dosta kompliciranijom u odnosu na ostale OIE. Procijenjeni vremenski period od ideje o izgradnji do objekta u pogonu iznosi 5-7 godina, dok u EU takav proces zna trajati i dosta duže.¹⁶

¹⁶ Izvor: <https://www.menea.hr/wp-content/uploads/2013/12/6-hidroelektrane.pdf> (22. rujna 2020.)

3. PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U HIDROELEKTRANAMA

Na slici 5. prikazan je razvoj proizvodnih kapaciteta u HE u razdoblju od 1900. - 2017. god., kako bi se dobio uvid u razvoj hidroelektrana u svijetu kroz povijest i istaknuli određeni događaji koji su pozitivno ili negativno utjecali na razvoj.

Slika 5. Instalirani kapaciteti hidroelektrana u svijetu od 1900. - 2017. godine



Izvor: <https://www.hydropower.org/a-brief-history-of-hydropower> (preuzeto 5. rujna 2020.)

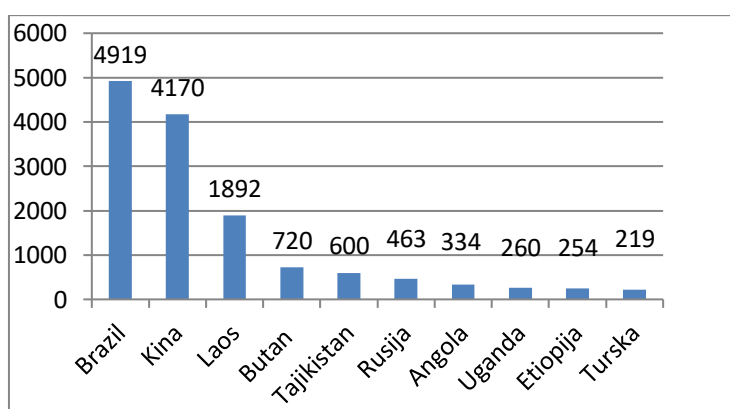
Iako je veliki broj projekata HE postojao i prije 1900. godine, razvoj tehnologije tek početkom 20. stoljeća dobiva pravi zamah u smislu inovativnosti i promjene u dizajnu hidroenergetskih postrojenja. Od četrdesetih do sedamdesetih godina prošlog stoljeća, potaknuti Drugim svjetskim ratom, praćenim snažnim poslijeratnim gospodarskim rastom i rastom stanovništva, državna poduzeća izgradila su značajna hidroenergetska postrojenja širom Europe, Sovjetskog Saveza, Sjeverne Amerike i Japana. Niska cijena proizvodnje električne energije u HE bio je jedan od najboljih načina za zadovoljenje rastuće potražnje za energijom, a često je bila vezana uz razvoj energetske intenzivne industrije. U kasnim 80.-im godinama dolazi do stagnacije instaliranih kapaciteta, a u 90.-im godinama i do pada uslijed financijskih ograničenja i sve veće zabrinutosti u vezi s ekološkim i društvenim utjecajima hidroelektrana, koje su spriječile razvoj mnogih projekata. Pred kraj stoljeća došlo je do postupka ponovne procjene vrijednosti i uloge HE u nacionalnom razvoju i formirana je

Svjetska komisija za brane (WCD) koja se suprotstavlja postojećoj praksi i 2000. godine objavljuje izvještaj koji je pokrenuo promjene u planiranju i razvoju hidroelektrana s fokusom na održivi razvoj. Nedugo nakon početka 21. stoljeća dolazi do preokreta u razvoju HE, ponajviše u Aziji u Južnoj Americi, i nova postrojenja se grade sve više i više. Jedan od glavnih razloga ovog zaokreta je povećanje potražnje za energijom u zemljama poput Brazila i Kine koji danas imaju najveći udio u ukupno instaliranim kapacitetima.¹⁷

3.1. Instalirani kapaciteti i proizvodnja postojećih hidroelektrana u svijetu

Ukupni instalirani kapaciteti HE u svijetu na kraju 2019. god., uključujući reverzibilne hidroelektrane (RHE), iznosili su 1.308 GW, od čega najviše u Kini (356,4 GW), Brazilu (109,06 GW), SAD-u (102,75 GW), Kanadi (81,39 GW) i Indiji (50,07 GW). Japan, Rusija, Norveška, Turska i Italija zaokružuju 10 najvećih država prema instaliranim kapacitetima. Kada bi ukupne instalirane kapacitete podijelili prema regijama, Istočna Azija i Australija ponajviše zahvaljujući Kini predvode sa 487 GW, zatim slijedi Europa (251 GW), Sjeverna i Srednja Amerika (205 GW), Južna Amerika (176 GW), južna i centralna Azija (152 GW) i konačno Afrika (37 GW), koja većinu svog potencijala još uvijek nije iskoristila. Na sljedećem grafu su prikazane države s najvećim instaliranim kapacitetima u 2019. godini.

Graf 1. Države s najvećim dodatnim instaliranim kapacitetima u 2019.god. (MW)



Izvor: IHA (2020) Hydropower status report: sector insights and trends. Dostupno na: https://www.hydropower.org/sites/default/files/publications-docs/2020_hydropower_status_report.pdf (preuzeto 6. rujna 2020. godine)

¹⁷ Dostupno na: <https://www.hydropower.org/a-brief-history-of-hydropower> (5. rujna 2020.)

Ukupna proizvodnja u HE diljem svijeta u 2019. god. iznosila je 4.306 TWh. Kada bi proizvodnju podijelili prema regijama, istočna Azija i Australija predvode sa 1.594 TWh proizvedene električne energije, zatim Sjeverna i srednja Amerika (731 TWh), Južna Amerika (686 TWh), Europa (653 TWh), južna i centralna Azija (504 TWh) i Afrika (138 TWh).

Ukupni instalirani kapaciteti reverzibilnih hidroelektrana na kraju 2019. god. iznosili su 158 GW, od čega je najviše instalirano u Kini (30,3 GW), Japanu (27,6 GW), SAD-u (22,9 GW), Italiji (7,7 GW) i Njemačkoj (6,4 GW). Španjolska, Francuska, Austrija i Indija zaokružuju 10 država s najvećim instaliranim kapacitetima. Ogroman neiskorišteni potencijal za izgradnju RHE identificiran je u ugradnji ovakvih postrojenja u napuštenim rudnicima, špiljama i dogradnji na već postojeće konvencionalne hidroelektrane i brane koje trenutno ne služe za proizvodnju električne energije. Kao rezultat ponovnog porasta zanimanja za reverzibilne hidroelektrane, a s obzirom na sve veći udio vjetroelektrana i solarnih elektrana, procjenjuje se da će do 2030. god. biti instalirano dodatnih 78 GW. Međutim, tržišni uvjeti i politike ne potiču dovoljno izgradnju ove vrste postrojenja. Usluge koje pružaju reverzibilne hidroelektrane nisu odgovarajuće vrednovane, a kao rezultat je nezainteresiranost privatnog sektora za ulaganja u takvu vrstu projekata.¹⁸

3.2. Troškovi proizvodnje električne energije u hidroelektranama

Hydroenergija zahtijeva velika kapitalna ulaganja zbog dugih rokova razvoja i izvedbe projekata te potrebnih velikih inženjerskih i građevinskih radova. Prema istraživanju IRENA-e, dvije su glavne komponente troškova kada je riječ o hidroenergetskim projektima te one predstavljaju 75-90% kapitalnih troškova:¹⁹

1. Građevinski radovi za gradnju postrojenja, koji uključuju i svu potrebnu infrastrukturu vezanu za pristup samome mjestu na kojem je projekt predviđen
2. Troškovi vezani za potrebnu elektromehaničku opremu

¹⁸ IHA (2020) Hydropower status report: sector insights and trends. Dostupno na: https://www.hydropower.org/sites/default/files/publications-docs/2020_hydropower_status_report.pdf (6. rujna 2020.)

¹⁹ Dostupno na: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2012/RE_Technologies_Cost_Analysis-HYDROPOWER.pdf (27. kolovoza 2020.)

Troškovi razvoja projekta koji značajno mogu utjecati na ukupne troškove uključuju planiranje i procjenu izvedivosti, analizu utjecaja postrojenja na okoliš, pribavljanje potrebnih licenci, analizu utjecaja na ribe i ostale životinje te analizu utjecaja na bioraznolikost određenog područja. Osim navedenih, u troškove se ubrajaju i razvoj rekreacijskih sadržaja, smanjenje utjecaja na povijesna i kulturna dobra te praćenje i ublažavanje utjecaja na kakvoću vode.

Građevinski se radovi mogu podijeliti u sljedeće kategorije:²⁰

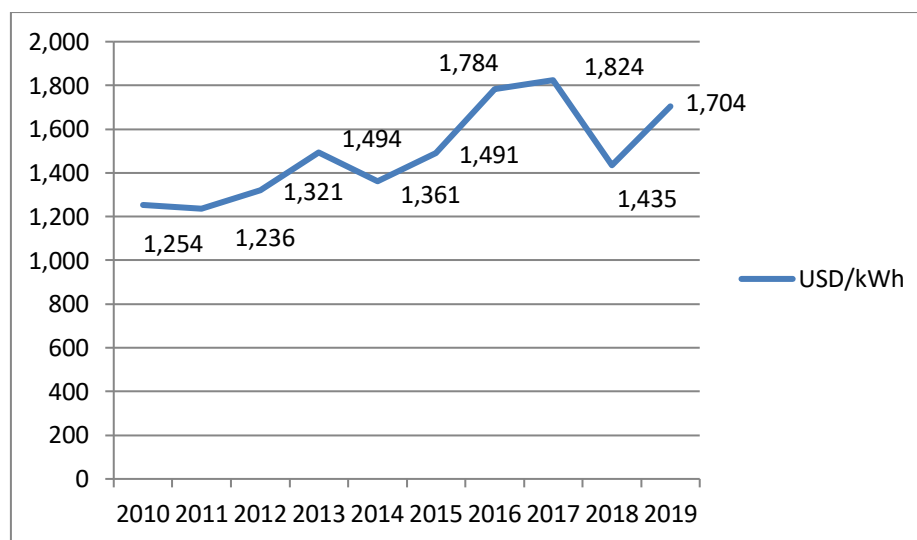
- Izgradnja brane i akumulacije
- Izgradnja tunela i kanala
- Izgradnja strojarnice
- Infrastruktura potrebna za pristup mjestu na kojem je planirana izgradnja
- Troškovi vezani za priključenje elektrane na mrežu (izgradnja dalekovoda može značajno doprinjeti ukupnim troškovima u slučaju da se hidroelektrana gradi daleko od postojeće mreže)
- Inženjerski nadzor i upravljanje gradnjom

Elektromehanička oprema uključuje turbine, generatore, transformatore i potrebne kontrolne sustave. Navedeni troškovi su manje varijabilni od građevinskih radova s obzirom da se radi o zreloj tehnologiji koja nije pod velikim utjecajem lokacije samog projekta. Kao rezultat, može se zaključiti da ukupni trošak izgradnje elektrane najviše ovisi o izboru lokacije, trošku građevinskih radova i materijala i dizajnu postrojenja. Hidroenergija općenito daje jeftinu električnu energiju, a zbog tehnološke zrelosti daljnja velika smanjenja troškova se ne očekuju. Kao što je ranije spomenuto, hidroenergija je kapitalno intenzivna tehnologija s velikim dijelom ulaganja koji su potrebni u ranim fazama razvoja. Kod velikih hidroelektrana građevinski radovi predstavljaju glavni dio CAPEX-a dok elektromehanička oprema predstavlja približno 30% ukupnih troškova. Kada je riječ o malim hidroelektranama, elektromehanička oprema može predstavljati do polovice ukupnih troškova jer su u pravilu turbine za manje hidroelektrane skuplje u odnosu na one u velikim hidroelektranama. Ukupni

²⁰ Dostupno na: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2012/RE_Technologies_Cost_Analysis-HYDROPOWER.pdf (27. kolovoza 2020.)

troškovi izgradnje novih postrojenja značajno se razlikuju s obzirom na lokaciju (topografija, geologija i raspoloživi pad), infrastrukturu (postojeće stanje cesta i prijenosne mreže), dizajn (tip i veličina brane) i drugo. Osim navedenog, troškovi se razlikuju od države do države i manji su tamo gdje su još uvijek neiskorištene dobre lokacije za izgradnju (Kina), a veći gdje je većina dobrih lokacija iskorištena (Europa). Ukupni troškovi ovise i o lokalnom tržištu rada tj. plaćama radnika. Prema istraživanju IRENA-e, ukupni troškovi izgradnje novih postrojenja od 2010. – 2019. god. variraju između USD 600/kW do najviše USD 4500/kW. Neki projekti idu i izvan navedenih okvira. Dogradnja hidroelektrane na već postojećoj brani koja nije izgrađena primarno u tu svrhu može imati troškove oko USD 450/kW. Udaljena mjesta koja su daleko od prijenosne mreže s druge strane mogu premašiti USD 4500/kW, uslijed dosta većih logističkih, inženjerskih i troškova povezanih s povezivanjem elektrane na mrežu.²¹ Na sljedećem grafu prikazani su ukupni investicijski troškovi izgradnje hidropostrojenja po kWh instalirane snage u svijetu prema podacima IRENA-e.

Graf 2. Ukupni investicijski troškovi po kWh instalirane snage u hidroelektranama od 2010. do 2019. godine u svijetu

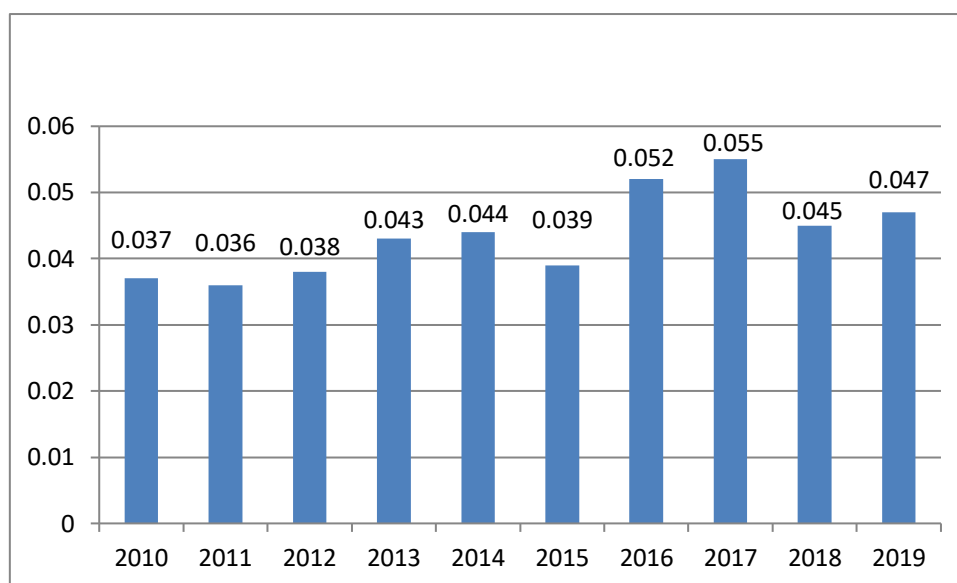


Izvor: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf (preuzeto 28. kolovoza 2020.)

²¹ Dostupno na: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf (29. kolovoza 2020.)

Između 2018. i 2019. god. prosječni ukupni troškovi instalacije hidroenergetskih postrojenja porasli su sa 1.435 USD/kWh na 1.704 USD/kWh kao što je prikazano na prethodnom grafikonu. Između 2010. i 2019. godine trošak se povećao za 36%, sa 1.254 USD/kWh na 1.704 USD/kWh u 2019. godini. Povećanje prosječnih troškova zadnjih godina može se pripisati iskorištavanju hidropotencijala na manje atraktivnim lokacijama koje zahtijevaju složenije građevinske radove. Navedeni troškovi ponajviše ovise o događanjima u Kini i ostatku Azije, s obzirom da su zaslužni za 63% instaliranih kapaciteta od 2010. god.. Prosječni ukupni troškovi instaliranih kapaciteta u Kini u periodu od 2010. do 2014. god. iznose 1.062 USD/kWh, a u periodu od 2015. do 2019. god. rastu na 1.264 USD/kWh. U ostatku Azije troškovi u istom razdoblju su povećani za 10% sa 1.488 USD/kWh na 1.630 USD/kWh. Uzimajući u obzir da su troškovi izgradnje najmanji u Kini, svako smanjenje udjela Kine u instaliranim kapacitetima ima za posljedicu povećanje prosječnih troškova na globalnoj razini. Dio povećanja troškova se u skladu s navedenim dogodio zbog manjeg udjela Kine u dodatnim kapacitetima u 2019. god. (31%) nego u 2010. god. (48%). Na sljedećem grafikonu će biti prikazani nivelirani troškovi proizvodnje električne energije koji se najčešće koriste za usporedbu različitih tehnologija, tj. usporedbu troškova proizvodnje električne energije iz različitih izvora. LCOE metodom izračunavaju se prosječni troškovi proizvodnje po jediničnoj količini električne energije (kWh) izraženu u neto sadašnjoj vrijednosti (NPV) kroz cijeli životni vijek elektrane. LCOE je izražen u neto sadašnjoj vrijednosti kako bi se iz računice izbacio utjecaj inflacije i drugih faktora.

Graf 3. LCOE hidroelektrana od 2010. do 2019. godine u USD/KWh



Izvor: https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf (preuzeto 28. kolovoza.2020.)

Godišnji operativni troškovi i troškovi održavanja hidropostrojenja se često izražavaju kao postotak kapitalnih troškova po kW/godišnje. Prema podacima IRENA-e, operativni troškovi i troškovi održavanja u prosjeku iznose nešto manje od 2% ukupnih investicijskih troškova, tj. u rasponu od 1 – 3%. Veći projekti imaju u prosjeku ispod 2%, dok kod manjih postrojenja taj postotak ide iznad prosječnog. Međutim, prema drugim izvorima operativni troškovi i troškovi održavanja iznose manje ili više od navedenog. Energy information agency (EIA) predviđa 0,06% ukupnog kapitalnog troška godišnje fiksno i 0.003 USD/kWh varijabilnog troška za postrojenje od 500 MW. EREC i Greenpeace predviđaju 4% ukupnog kapitalnog troška fiksno na razini godine. Prosječni trošak od 2-2,5% se smatraju normom za velike projekte što predstavlja prosječni trošak od 20 USD/kw/godišnje do 60 USD/kw/godišnje ovisno o regiji prema IRENA-inoj bazi podataka za troškove obnovljivih izvora.²² Bitno je naglasiti da prilikom izgradnje HE u RH većinu posla mogu obaviti domaće tvrtke. HE su

²² Dostupno na: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf (29. kolovoza 2020.)

85% domaći proizvod, pogotovo kada je riječ o velikim postrojenjima, a ostatak se odnosi na elektromehaničku opremu, odnosno turbine koje se uvoze.²³

3.3. Mogući negativni društveni i ekološki utjecaji izgradnje hidroelektrana

Unatoč raznim prednostima korištenja hidroenergije za dobivanje električne energije i važnoj ulozi u energetske tranziciji, najveći izazov iskorištavanju preostalog hidropotencijala u RH i Europi predstavljaju negativni utjecaji koje postrojenja mogu imati na bioraznolikost i okoliš općenito. Niz učinaka koje hidroelektrana može imati na životinjske vrste i staništa koja su zaštićena europskim direktivama o prirodi, razlikuju se od jednog do drugog mjesta. Ovisiti će o pojedinačnim karakteristikama rijeke, njenom fizičkom i ekološkom stanju. Negativni utjecaji mogu se pojaviti u bilo kojoj fazi životnog ciklusa hidroelektrane i mogu rezultirati uništavanjem ili degradacijom prirodnih staništa i raznih životinjskih vrsta koje ovise o istim. Razmjeri negativnih utjecaja ovise o rijetkosti i ranjivosti staništa i pogođenih vrsta. Neki od negativnih utjecaja koji mogu nastati kao posljedica izgradnje hidroelektrane su:²⁴

- Promjene u morfologiji rijeka i riječnim staništima

Svaka fizička promjena vodnih tijela utječe na normalne hidrološke procese i utječu na ekologiju određenog područja. Najočitiiji oblik gubitka staništa je izravno fizičko uništavanje staništa uzvodno ili nizvodno zauzimanjem zemljišta, poplavlivanjem površina ili uklanjanjem priobalne vegetacije. Osim fizičkih utjecaja, poremećajem prirodnih hidromorfoloških uvjeta slatkovodnog sustava može doći do promjena uvjeta i funkcioniranja

²³ Hrvatska komora inženjera građevinarstva (2012): Program iskorištenja slobodnog hidropotencijala

Dostupno na:

http://digarhiv.gov.hr/arhiva/1238/88784/www.hkig.hr/fdsak3jnFsk1Kfa/izdvojeno/Program_iskoristenja_slobodnog_hidropotencijala_u_Republici_Hrvatskoj.pdf (11. rujna 2020.)

²⁴ Europska komisija (2018): Guidance on The requirements for hydropower in relation to Natura 2000.

Dostupno na:

<https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/docs/Hydro%20final%20May%202018.final.pdf> (23. kolovoza 2020.)

staništa, što za posljedicu može imati kolonizaciju staništa invazivnim vrstama koje mogu istisnuti postojeću faunu.

- Migracijske prepreke

Prekid riječnog kontinuiteta jedan je od najznačajnijih negativnih utjecaja izgradnje. Stvaranje prepreka za normalno kretanje životinja, prvenstveno se odnosi na ribe, a posebice migratorne koje trebaju različite uvjete staništa u različitim fazama životnog ciklusa.

- Negativni utjecaj na riblji fond

S obzirom na prekid normalnog kretanja životinja uslijed izgradnje postrojenja, moguće je stradavanje riba u turbinama zbog velikog pritiska vode i ozljeda nastalih prolaskom kroz turbinu.

- Sprječavanje pronosa sedimenta

Sedimenti su prirodni dio vodenih ekosustava i bitni su za hidrološke, geomorfološke i ekološke značajke sustava. U prirodnim uvjetima postoji stalni nizvodni transport sedimenta kroz rijeku te je bitan za očuvanje riječnog korita. Nakupljanjem sedimenta uzvodno od brane može doći do povećanja rizika od poplave i nestajanja staništa pogodnih za mrijest riba uslijed zamuljivanja riječnog dna. Velika hidropostrojenja mogu zadržavati čak 90% sedimenta iza brane i tako potaknuti eroziju nizvodno od brane produbljivanjem riječnog korita.

- Promjene u protoku uzrokovane vršnim elektranama

Stvaranje bujičnih valova i nagli porast vodostaja (engl. „hydropeaking“) najčešće su povezani s akumulacijskim hidroelektranama. Utjecaji su mogući i kod protočnih hidroelektrana s kraćim razdobljima akumulacije, a izazivaju snažne oscilacije u protoku čime dovode u opasnost ribu, pogotovo mladu i malu ribu koja se ne može nositi s takvim promjenama. Može imati utjecaj i na biljke te na ostale sporo pokretne i statične organizme.

- Promjene u kvaliteti i temperaturi vode

Kakvoća vode obično se ne mijenja prolaskom kroz turbine, a utjecaji na kakvoću vode ovise o načinu rada i vrsti hidroelektrane. Moguće je da se uslijed smanjenog protoka poveća osjetljivost vode na onečišćenje i da se smanji kakvoća vode pod utjecajem tvari nakupljenih u sedimentu uzvodno od brane. Vodeni organizmi su osjetljivi i na promjenu temperature

koja je u akumulaciji obično hladnija ljeti, a toplija zimi. Temperatura vode utječe na životinjske vrste, primjerice okidač je migratornim vrstama za početak migracija

- Utjecaji na kopnena staništa i životinje

Hidroelektrane mogu imati utjecaj i na kopnene životinjske vrste. Obalna zona je značajno prijelazno mjesto između vode i kopna te zadržano u svom prirodnom obliku pridonosi velikoj bioraznolikosti.

- Emisije stakleničkih plinova

Iako se elektrane smatraju čistim izvorom energije, u pojedinim stadijima izgradnje dolazi do ispuštanja stakleničkih plinova u atmosferu, posebice kod izvođenja građevinskih radova. Osim građevinskih radova, prilikom poplavlivanja velikih područja za potrebe stvaranja akumulacije dolazi do ispuštanja metana uslijed razgradnje potopljenih biljaka, a to se posebno odnosi na tropska područja.

Osim navedenih negativnih ekoloških utjecaja, izgradnja hidroelektrana može imati velike društvene utjecaje, pogotovo ako se radi o velikim projektima koji kao posljedicu imaju raseljavanje velikog broja ljudi. Neki od najbitnijih društvenih utjecaja su:²⁵

- Raseljavanje velikog broja ljudi, uključujući gubitak ili ograničenje pristupa imovini i resursima

Odnosi se uglavnom na hidroelektrane s velikom akumulacijom koji trajno poplavljuju određena područja i zahtijevaju raseljavanje lokalnog stanovništva iz njihovih domova.

- Privremene ili trajne promjene načina zapošljavanja, življenja i drugih aktivnosti

Na području na kojem se razvija hidroenergetski projekt može se očekivati povećana gospodarska aktivnost tijekom gradnje. To može rezultirati izravnim ili neizravnim zapošljavanjem lokalnog stanovništva u pružanju potrebnih usluga za vrijeme projekta. Međutim, kada se projekt završi, manji broj visoko kvalificiranih ljudi je potreban da bi se osigurao rad elektrane, a zahtjevi za robom i uslugama su uglavnom tehnički. To će vjerojatno smanjiti gospodarsku aktivnost i prihode lokalnog stanovništva.

- Gubitak ili oštećenje kulturne baštine

²⁵ EIB (2019): Environmental, Climate and Social Guidelines on Hydropower Development. Dostupno na: https://www.eib.org/attachments/eib_guidelines_on_hydropower_development_en.pdf (23. kolovoza 2020.)

Zajedno s drugim infrastrukturnim projektima, razvoj hidroenergije potencijalno može narušiti materijalnu i nematerijalnu kulturnu baštinu. Za nove projekte ovaj je rizik, s obzirom na mogući negativni utjecaj na prethodno netaknutim područjima, još i veći.

- Problemi vezani za zdravlje i sigurnost

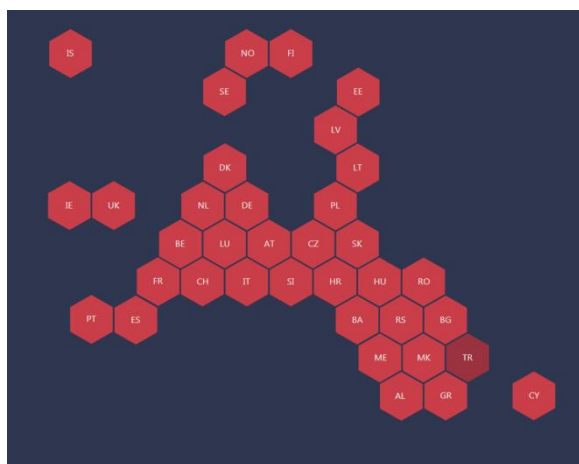
Hidroenergetski projekti mogu stvoriti zdravstvene i sigurnosne rizike za zajednicu. Negativni utjecaj na kvalitetu vode može predstavljati izravan rizik za ljudsko zdravlje kao posljedica onečišćenja ili drugih utjecaja koji mogu utjecati na kvalitetu vode. Loša kvaliteta vode, vektorske bolesti ili bolesti koje se prenose vodom mogu povećati ranjivost u lokalnoj zajednici tijekom gradnje i kroz operativnu fazu.

- Utjecaj na usluge ekosustava izmjenom prirodnog toka rijeke, povećanom sedimentacijom i promjenom mikrokline koja može utjecati na produktivnost poljoprivrede

4. VAŽNOST HIDROELEKTRANA ZA ELEKTROENERGETSKI SUSTAV REPUBLIKE HRVATSKE

Hrvatski EES koji svojom veličinom spada među manje u EU sastoji se od objekata i postrojenja za proizvodnju električne energije, prijenosne i distribucijske mreže i potrošača električne energije na području RH. Hrvatski je EES zbog sigurnosti opskrbe električnom energijom povezan i sa drugim elektroenergetskim sustavima iz susjednih zemalja i sa ostalim sustavima država članica ENTSO-e (eng. „European Network of Transmission System Operators for Electricity“). Hrvatska je sa susjednim zemljama povezana s naponskim razinama 400 kV, 220 kV i 110 kV. Dobra povezanost sa sustavima susjednih zemalja omogućuje uvoz, izvoz i tranzit električne energije te svrstava RH u vrlo važnu poveznicu srednjoeuropskih i jugoistočnih sustava. Od proizvodnih postrojenja na 400 kV mrežu priključena je samo RHE Velebit, koja bitno doprinosi normalnom funkcioniranju prijenosa električne energije o čemu će više biti riječ u narednim poglavljima. Hrvatska je sa dalekovodima snage 400 kV povezana sa: Bosnom i Hercegovinom (Ernestinovo – Ugljevik i Konjsko – Mostar), Srbijom (Ernestinovo – Sremska Mitrovica 2), Mađarskom (Žerjavinec – Hévíz i Ernestinovo – Pécs) i Slovenijom (Tumbri – Krško i Melina – Divača) ²⁶

Slika 6. Zemlje članice ENTSO-e



Izvor: <https://www.entsoe.eu/about/inside-entsoe/members/> (preuzeto 28. kolovoza 2020.)

²⁶ HOPS, Godišnje izvješće o sigurnosti opskrbe za 2019. godinu, <https://www.hops.hr/godisnji-izvjestaji> (28. kolovoza 2020.)

4.1. Proizvodni kapaciteti i proizvodnja električne energije u Hrvatskoj

Ukupna instalirana snaga elektrana na prijenosnoj mreži RH iznosi 4817 MW, od čega najviše HE 2127 MW, zatim TE 2019 MW i na kraju VE s priključnom snagom 671 MW. Na distribucijskoj mreži ukupna priključna snaga iznosi 391,28 MW, od čega energija sunca 84,94 MW, vjetra 65,95 MW, biomase 82,48 MW, vode 75,62 MW, geotermalne 10 MW i ostalih izvora energije 72,39 MW. Ukupna priključna snaga elektrana priključenih na prijenosnu i distribucijsku mrežu u 2019. godini iznosi 5.208 MW, a ukupna proizvodnja električne energije elektrana priključenih na prijenosnu i distribucijsku mrežu u 2019. godini iznosi 12.005 GWh. U NE Krško je u 2019. godini proizvedeno 2.766 GWh.

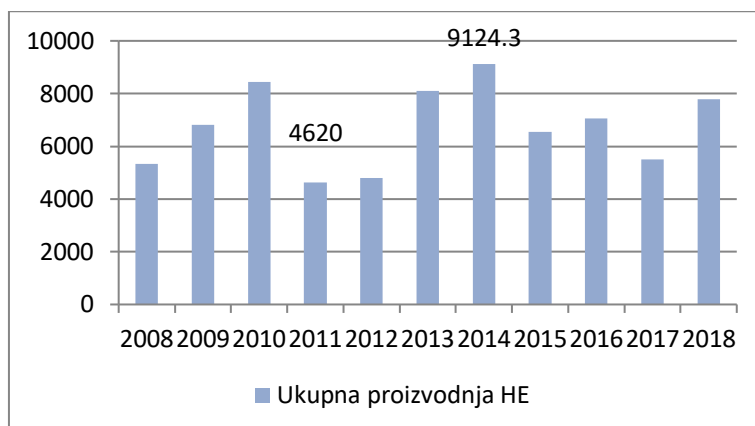
Tablica 1. Ukupna priključna snaga elektrana na prijenosnoj i distribucijskoj mreži u 2019. godini

Prijenosna mreža	Priključna snaga (MW)	Proizvedena električna energija u 2019. godini (GWh)
Hidroelektrane	2127	5606
Termoelektrane	2019	3709
Vjetroelektrane	671	1343
Ukupno	4817	10658
Distribucijska mreža	Priključna snaga (MW)	Proizvedena električna energija u 2019. godini (GWh)
Sunce	84,84	83,08
Vjetar	65,95	124,03
Biomasa	82,48	431,8
Voda	75,62	265
Geotermalna	10	73,26
Ostalo	72,39	370,25
Ukupno	391,28	1347,42

Izvor: izrada autora prema godišnjim izvještajima za 2019. HOPS-a i HEP-ODS-a (preuzeto 3. rujna 2020.)

Na sljedećem grafu bit će prikazana ukupna proizvodnja električne energije u HE, u razdoblju od 2008. – 2018. godine.

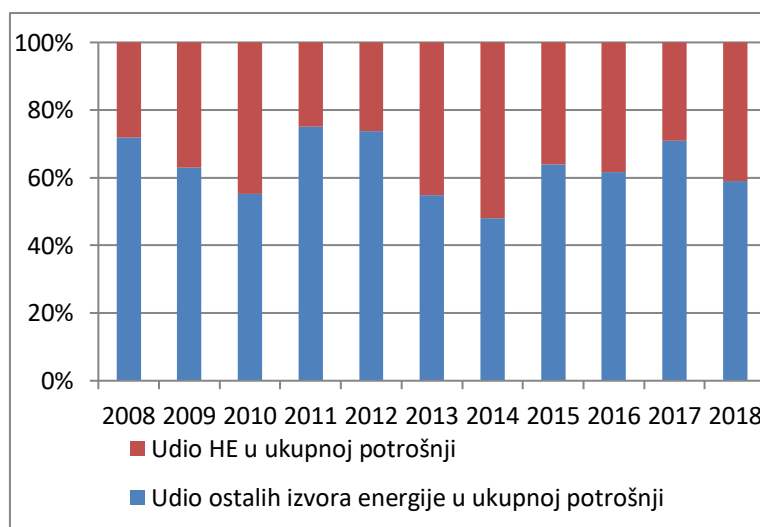
Graf 4. Ukupna proizvodnja električne energije u HE u razdoblju od 2008. do 2018. godine (GWh)



Izvor: Izvor: izračun autora na temelju podataka publikacija EIHP (2008-2018)

Na grafu 4. jasno se može vidjeti da proizvodnja električne energije uvelike ovisi o hidrološkim prilikama. Najbolja hidrološka godina u promatranom razdoblju bila je 2014. kada je u hidroelektranama proizvedeno 9124,3 GWh električne energije, a najlošija hidrološka godina je bila 2011. kada je u hidroelektranama proizvedeno samo 4620 GWh. Proizvodnja je bila manja za približno 49% u 2011. god. u odnosu na 2014. god. Hidroelektrane su ovisne o hidrološkim prilikama u velikoj mjeri, a navedeno za posljedicu ima povećanje nabave električne energije i proizvodnju u TE u slučaju loše hidrološke godine i obratno.

Graf 5. Udio proizvodnje HE u ukupnoj potrošnji za razdoblje od 2008. - 2018. godine



Izvor: Izvor: izračun autora na temelju podataka publikacija EIHP (2008-2018)

HE u promatranom razdoblju imaju udio u ukupnoj potrošnji električne energije između 25-55%. Prosječni udio iznosi 37% i ovisi o hidrološkim prilikama. Očigledno je da su hidroelektrane važan izvor električne energije u RH ali je vidljiva i velika ovisnost o hidrološkim prilikama

Tablica 2. Velike HE u hrvatskom EES-u

Postrojenje	Instalirana snaga (MW)
Proizvodno područje HE Sjever	
HE Varaždin	94
HE Čakovec	77
HE Dubrava	79
Proizvodno područje HE Jug	
RHE Velebit	276/-240
HE Đale	40,8
HE Kraljevac	46,4
HE Orlovac	237
HE Zakučac	538
HE Peruća	61,4
HE Golubić	6,54
HE Miljacka	24
Proizvodno područje HE Zapad	
HE Rijeka	36,8
HE Vinodol	94,5
HE Senj	216
HE Sklope	22,5
HE Gojak	55,5
HE Lešće	41,2
HE Dubrovnik	
HE Dubrovnik	136

Izvor: izrada autora prema <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/1528>

(preuzeto 3. rujna 2020.)

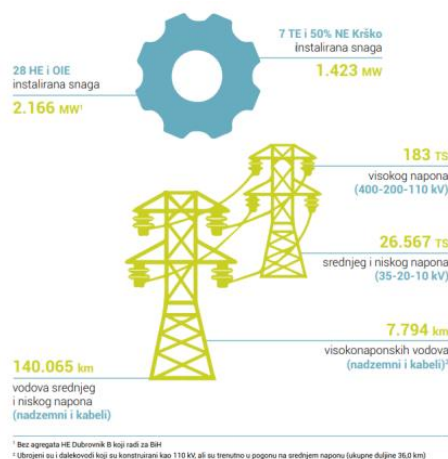
U hrvatskom elektroenergetskom sustavu nalazi se 18 velikih hidroelektrana koje su sve u vlasništvu HEP grupe. U odnosu na instaliranu snagu u Hrvatskoj je 30% velikih i 70% malih izgrađenih hidroelektrana. Prema načinu proizvodnje 60% je derivacijskih a 31% pribranskih izgrađenih hidroelektrana, dok je za 9% nepoznat podatak. S obzirom na način korištenja vode 66% je protočnih, 19,5% akumulacijskih, 1,8% crpnih, 3,7% reverzibilnih izgrađenih hidroelektrana, dok za 9% je nepoznat podatak. Osim velikih hidropostrojenja HEP grupa u vlasništvu ima i više malih hidroelektrana, od čega su neke samostalne, a neke u izgrađene na

već postojećim branama velikih hidroelektrana. Male hidroelektrane u vlasništvu HEP grupe su: HE Jaruga (5,6 MW), MHE Golubić (7,5 MW), MHE Ozalj 1 (3,54 MW), MHE Ozalj 2 (2,2 MW), HE Zeleni Vir (2 MW), MHE Krčić (0,36 MW), HE Zavrelje (2,1 MW), MHE Pranjčevići (1,31 MW), ABM HE Varaždin (0,64 MW), MHE Dubrava 1 (1,1 MW), MHE Dubrava 2 i 3 (0,68 MW), MHE Čakovec 1 (1,1 MW), MHE Čakovec 2 (0,34 MW) i CHE Fužine (6,5 MW).²⁸

4.2. Utjecaj hidroloških prilika na poslovne rezultate Hrvatske elektroprivrede

Proizvodni portfelj HEP-a na koncu 2019. god. sastojao se od 28 HE i OIE ukupne instalirane snage 2.166 GW, 7 TE i 50% NE Krško ukupne instalirane snage 1.423 GW. U 2019. god. HEP grupa je provela akviziciju prve veće neintegrirane solarne elektrane Kaštelir u Istri te je započela izgradnja prve HEP-ove vjetroelektrane Korlat koja će biti prva vjetroelektrana u RH koja nema ugovor s HROTE-om o zajamčenom otkupu električne energije po poticajnoj cijeni. Na sljedećoj slici je prikazan proizvodni portfelj HEP grupe te prijenosna i distribucijska mreža u vlasništvu HOPS-a.

Slika 10. Proizvodni objekti, prijenosna i distribucijska mreža HEP grupe



Izvor: <https://www.hep.hr/o-hep-grupi/publikacije/godisnje-izvjesce/62> (preuzeto 3. rujna 2020.)

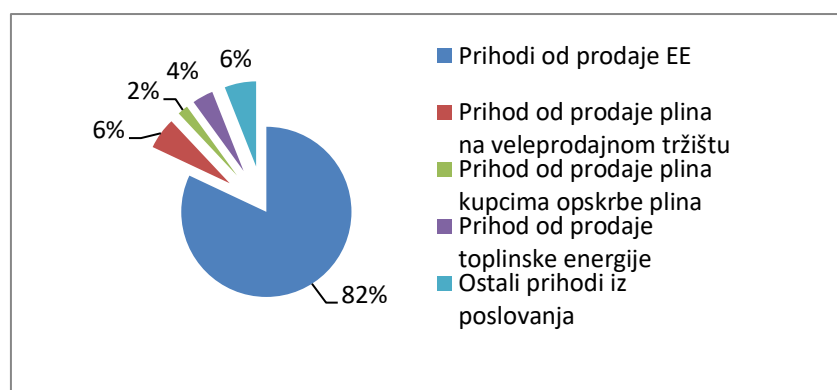
²⁸ Hrvatske vode (2019): Plan upravljanja vodnim područjima 2022.-2027., Pregled hidroenergetskog korištenja voda za potrebe izrade plana upravljanja vodnim područjima. Dostupno na:

https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/program_rada_plana_2022.-2027.pdf (14. rujna 2020.)

Prihodi od prodaje električne energije HEP grupe u 2019. god. iznosili su oko 12,5 milijardi kuna i čine 81% ukupno ostvarenih prihoda. Ostatak prihoda odnosi se na prodaju plina na veleprodajnom tržištu u iznosu od 971,9 milijuna kuna, prodaju toplinske energije u iznosu od 655,2 milijuna kuna, prodaju plina kupcima opskrbe plina u iznosu od 380,7 milijuna kuna te ostale prihode iz poslovanja u iznosu od 972,8 milijuna kuna. Na sljedećem grafu je prikazana struktura prihoda HEP-a za 2019. god. po djelatnostima. Prihodi od prodaje električne energije u Hrvatskoj povećani su za 3,6% što je rezultat rasta prosječne prodajne cijene za kupce poduzetništva HEP Elektre (zajamčena opskrba) i HEP Opskrbe te povećanja HEP-ovog udjela u prodaji kupcima poduzetništva. Istodobno, zbog smanjenja dijela tarifnih stavki od 1. siječnja 2019. god., smanjeni su prihodi od korištenja prijenosne i distribucijske mreže. Prema odlukama HERA-e, prosječno smanjenje iznosa tarifnih stavki za prijenos i distribuciju električne energije za kupce iz kategorije poduzetništvo u 2019. god., u odnosu na 2018. god., iznosi (ovisno o naponskoj razini priključenja) 10 do 15 posto. Prihodi od prodaje električne energije izvan Hrvatske povećani su zbog prodaje Elektroprivredi HZ HB (Elektroprivreda Hrvatske zajednice Herceg Bosne). U 2019. god. HEP je za opskrbu kupaca, prodaju na inozemnim tržištima, gubitke u prijenosnoj i distribucijskoj mreži te za crpni rad i vlastitu potrošnju elektrana osigurao 20,7 TWh električne energije, 4,2% više nego u 2018. god., od čega je 12,3 TWh (60%) proizvedeno u elektranama u vlasništvu i djelomičnom vlasništvu HEP grupe, a ostatak je nabavljen na tržištu i otkupljen od Hrvatskog operatora tržišta električne energije (obvezni otkup iz obnovljivih izvora i visokoučinkovitih kogeneracija u sustavu poticaja). Godinu 2019. obilježile su prosječne hidrološke okolnosti s proizvodnjom hidroelektrana od 5,8 TWh što je 1,1 TWh (15,7%) manje nego u 2018. god. (dijelom i zbog ispada HE Dubrovnik iz elektroenergetskog sustava početkom godine), dok je proizvodnja HEP-ovih termoelektrana veća za 502 GWh (15,7%). Nuklearna elektrana Krško je u 2019. god. proizvela 2,8 TWh, a HEP-ove sunčane elektrane i bioelektrane-toplane u sustavu poticaja 23 GWh. Uslijed manje proizvodnje HE i rasta prodaje, nabava električne energije na tržištu (uključujući otkup iz obnovljivih izvora i visokoučinkovitih kogeneracija) iznosila je 8,3 TWh, 1,3 TWh (18,3%) više nego u 2018. god., što je utjecalo na rast troškova nabave električne energije za 23,9%.²⁹

²⁹ Izvješće o poslovanju i održivosti HEP grupe za 2019. god. Dostupno na: <https://www.hep.hr/o-hep-grupi/publikacije/godisnje-izvjesce/62> (3. rujna 2020.)

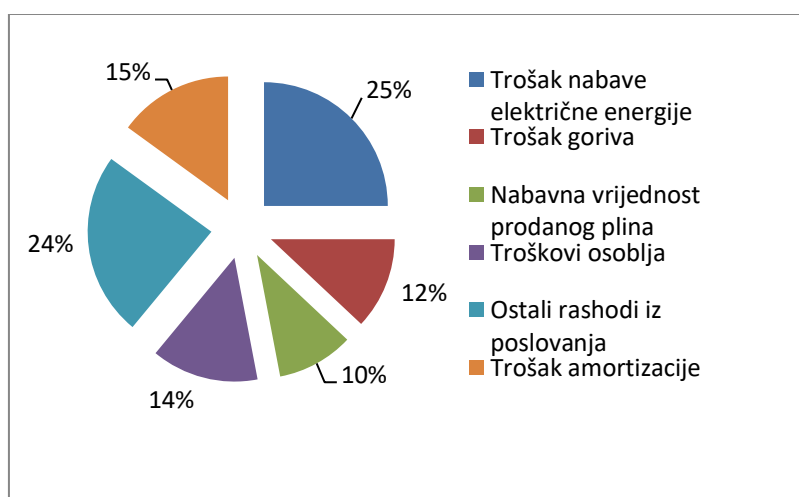
Graf 6. Struktura prihoda HEP-a za 2019. godinu po djelatnostima



Izvor: izrada autora prema <https://www.hep.hr/o-hep-grupi/publikacije/godisnje-izvjesce/62> (preuzeto 3. rujna 2020.)

Poslovni rashodi HEP grupe za 2019. god. iznose oko 13,8 milijardi kuna, od čega trošak nabave (uvoza) električne energije iznosi oko 3,5 milijardi kuna, a trošak goriva oko 1,7 milijardi kuna. Ostatak rashoda odnosi se na nabavnu vrijednost prodanog plina (1,3 milijarde kuna), troškove osoblja (1,9 milijardi kuna), trošak amortizacije (2 milijarde kuna) te ostale rashode iz poslovanja (3,3 milijarde kuna). Na sljedećem grafu prikazana je struktura rashoda HEP-a za 2019. god. Domaćim kupcima HEP je prodao 14,9 TWh električne energije (312 GWh više nego u 2018.), a 3,3 TWh električne energije (482 GWh više nego u 2018.) prodano je na susjednim tržištima.

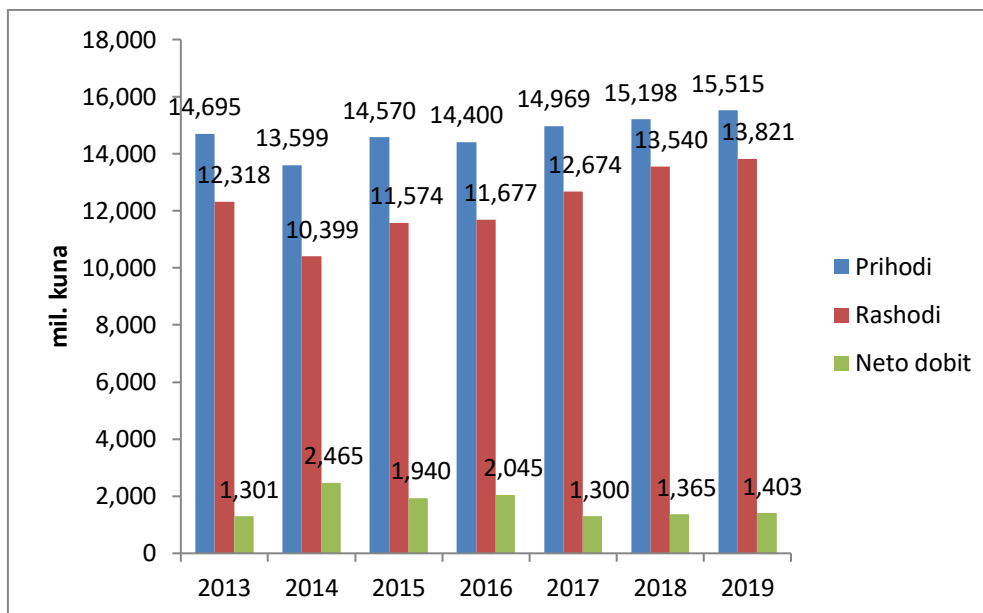
Graf 7. Struktura rashoda HEP-a za 2019. godinu



Izvor: izrada autora prema <https://www.hep.hr/o-hep-grupi/publikacije/godisnje-izvjesce/62> (preuzeto 3. rujna 2020.)

Ukupna proizvodnja električne energije iz postrojenja u sastavu HEP grupe uvelike ovisi o hidrološkim prilikama s obzirom da se više od polovice instaliranih kapaciteta odnosi na HE. U daljnjem tekstu bit će opisan utjecaj hidroloških prilika na financijski rezultat HEP grupe.

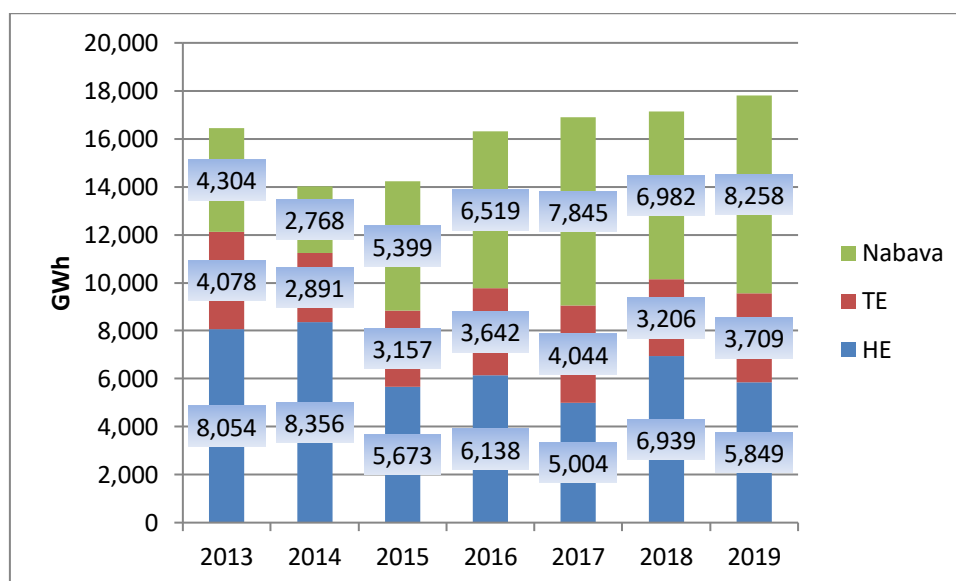
Graf 8. Ukupni prihodi i rashodi od poslovnih aktivnosti i neto dobit nakon poreza HEP grupe u razdoblju od 2013. do 2019. godine



Izvor: izrada autora na temelju Godišnjih izvješća HEP-a od 2013.-2019. Dostupno na: <https://www.hep.hr/o-hep-grupi/publikacije/godisnje-izvjesce/62> (preuzeto 5. rujna 2020.)

U promatranom razdoblju prihodi HEP grupe su se povećali sa približno 14,7 milijardi kuna u 2013. god. na 15,5 milijardi kuna u 2019. god.. Rashodi su u promatranom razdoblju porasli sa približno 12,3 milijarde kuna u 2013. na 13,8 milijardi kuna u 2019. god. S obzirom da većina proizvodnog portfelja HEP grupe otpada na HE, one imaju veliki utjecaj na financijske rezultate grupe. Kako je ranije navedeno, najveći dio prihoda grupa ostvaruje prodajom električne energije (82%), dok većina troškova otpada na nabavu električne energije i energetske goriva (37%). Na sljedećim grafovima bit će prikazana ukupna proizvodnja HE u promatranom razdoblju te će biti analizirana struktura prihoda i rashoda u najboljoj i najgoroj hidrološkoj godini u promatranom razdoblju kako bi se prikazao utjecaj hidroelektrana na rashode grupe i ukupni financijski rezultat.

Graf 9. Ukupna proizvodnja hidroelektrana, termoelektrana i nabava električne energije HEP grupe od 2013. godine do 2019. godine



Izvor: izrada autora na temelju Godišnjih izvješća HEP-a od 2013.-2019. Dostupno na: <https://www.hep.hr/o-hep-grupi/publikacije/godisnje-izvjesce/62> (preuzeto 7. rujna 2020.)

Na prethodnom grafu je vidljivo da nabava električne energije i proizvodnja električne energije u TE ovise o hidrologiji pojedine godine, tj. ukupnoj proizvodnji HE u određenoj godini. Veća proizvodnja u TE utječe na veću potražnju za gorivima, loživim uljem, prirodnim plinom ili ugljenom. Kretanje tih cijena izravno utječe na visinu rashoda HEP grupe. Napovoljnija hidrološka godina u promatranom razdoblju bila je 2014. kada je u hidroelektranama proizvedeno 8.356 GWh električne energije. 2017. god. je bila najmanje povoljna hidrološka godina kada je proizvedeno 5.004 GWh električne energije. U sljedećoj tablici će biti prikazani ukupni rashodi i struktura rashoda HEP grupe 2014. i 2017. godine.

Tablica 3. Ukupni iznos troška nabave električne energije i energetske goriva za 2014. godinu i 2017. godinu

Godina	2014.	2017.
Trošak nabave električne energije (mil. kuna)	1.200	2.786
Trošak nabave goriva (mil. kuna)	1.643	1.903
Udio u poslovnim rashodima	28%	37%

Izvor: izrada autora na temelju Godišnjih izvješća HEP-a za 2014. i 2017. godinu. Dostupno na: <https://www.hep.hr/o-hep-grupi/publikacije/godisnje-izvjesce/62> (preuzeto 7. rujna 2020.)

U tablici je očito kako su troškovi nabave električne energije i energetskog goriva dosta veći u 2017. god. koja je bila najmanje hidrološki povoljna u promatranom razdoblju. U 2014. god. proizvedeno je 8.356 GWh električne energije u HE, 2.891 GWh u TE i nabavljeno je 4.304 GWh električne energije (bez NE Krško). Troškovi nabave električne energije iznosili su približno 1,2 milijardi kuna, a troškovi nabave goriva su iznosili 1,6 milijardi kuna, što predstavlja udio od 28% ukupnih rashoda grupe. Ukupna neto dobit društva nakon poreza iznosila je približno 2,5 milijardi kuna.

U 2017. god. proizvedeno je 5.004 GWh električne energije u HE, 4.044 GWh u TE i nabavljeno je 7.845 GWh električne energije (bez NE Krško). Troškovi nabave električne energije iznosili su približno 2,79 milijardi kuna, a troškovi nabave goriva su iznosili 1,90 milijardi kuna, što predstavlja udio od 37% ukupnih rashoda grupe. Ukupna neto dobit grupe nakon poreza iznosila je približno 1,3 milijarde kuna. Najbolja hidrološka godina ujedno je i najbolja financijska godina HEP-a u promatranom razdoblju.

4.3. Važnost hidroelektrana za fleksibilnost sustava opskrbe električnom energijom sa sve većim udjelom obnovljivih izvora energije

Gospodarski rast i razvoj gospodarstva i društva danas je nezamisliv bez upotrebe različitih oblika energije kao osnovnih inputa u proizvodnom procesu i svakodnevnom životu građana. Energija je pokretač ljudskog razvoja još od prapovijesnih razdoblja civilizacije. Transformacija društava iz agrarnih gospodarstava, preko industrijske revolucije do informatičke ere bile bi nemoguće bez velikog doprinosa energije. Energija je postala neophodan strateški element koji pokreće rast i razvoj cjelokupne civilizacije. Danas je život u razvijenim zemljama nezamisliv bez mobitela, automobila, računala i ostalih modernih izuma, a za sve je njih neophodna energija. Potreba za energijom postoji tisućljećima, ali je energetska problematika danas kompleksnija i interdisciplinarnija pa ju se analizira kao zasebno znanstveno područje. Energija i gospodarski rast međusobno su korelirani. Bez energije ne bi bilo gospodarskog rasta, a zbog potrebe daljnjeg razvoja otkrivaju se i koriste novi oblici energije, dok s druge strane bez gospodarskog rasta ne bi bilo potrebe za energijom i njenim raznim oblicima.³⁰ Potrošnja energije temeljena na fosilnim izvorima da bi se osigurao ekonomski rast i razvoj, izvor je emisije stakleničkih plinova, prije svega CO₂,

³⁰ Gelo, T. (2010) Makroekonomika energetskog tržišta. Zagreb: Politička kultura, str. 11.

a uzrok je globalnog zagrijavanja. Tako je 2017. god. preko 85% potrošene energije bilo iz fosilnih goriva, od čega je oko 34% nafta, oko 28% ugljen i oko 23% prirodni plin.³¹ Cjelovita energetska politika EU sastavljena je od niza pojedinačnih strategija integriranih u cjeloviti energetske klimatski paket. Kao rezultat te cjelovite politike nameće se postupna tranzicija prema niskougljičnom razvoju i društvu. U energetske smislu, ključne će biti strategije implementacije i integracije obnovljivih izvora energije (OIE) na EU razini te dugoročna međusektorska politika energetske učinkovitosti. Republika Hrvatska, kao punopravna članica EU, dužna je osigurati tehnički i cjenovno optimalnu tranziciju, imajući u vidu maksimalnu korist za čitavo društvo, energetske, gospodarske te ekološke. Niz tehnologija koje iskorištavaju obnovljive izvore energije su danas tehnički i ekonomski u potpunosti konkurentne te smo došli u situaciju u kojoj su potrebne nove sheme integracije; kako s tehničke tako i s financijske strane. S financijske strane je potrebna razrada novih mehanizama integracije obnovljivih tehnologija, temeljenih na mrežnom paritetu, te satnim tržištima energije. S tehničke strane potrebna je razrada inovativnih mehanizama fleksibilizacije, prije svega elektroenergetskog sustava, gdje dolazi do promjene paradigme u kojoj prelazimo sa sustava u kojem proizvodnja prati potrošnju na sustav u kojem potrošnja prati varijabilnu proizvodnju.³² Glavni cilj energetske tranzicije jest kontrola i smanjenje emisije stakleničkih plinova. Mnogo je predloženih rješenja koja će dovesti ili već dovode do postavljenog cilja. To su: povećanje produktivnosti resursa, održivo gospodarenje resursima, resursno učinkovito gospodarstvo i društvo uopće, održivo gospodarenje otpadom, smanjenje degradacije okoliša i potrošnje resursa, zelena industrija, prijelaz iz linearnog u kružno gospodarstvo, kao i druga rješenja. Energetski sektor je u prijelazu na fleksibilni i održivi energetski sustav temeljen na obnovljivim izvorima energije. U energetske tranziciji značajno se mijenja i uloga potrošača kojima se otvara mogućnost aktivnog sudjelovanja u proizvodnji i korištenju energije.³³ Elektroenergetski sektor temeljen na obnovljivim izvorima energije s naglaskom na sunce i vjetar jedan je od glavnih ciljeva europske i svjetske energetske tranzicije. Problem koji se javlja implementacijom većeg broja obnovljivih izvora,

³¹Gelo, T. (2018). Energetske tranzicija i novi model energetske tržišta. Dostupno na: <http://web.efzg.hr/repec/Chapters/chapter18-17.pdf> (16. kolovoza 2020.), str. 406

³² Dostupno na: <https://het.hr/o-nama/> (16. kolovoza 2020.)

³³ Gelo, T. (2018). Energetske tranzicija i novi model energetske tržišta. Dostupno na: <http://web.efzg.hr/repec/Chapters/chapter18-17.pdf> (16. kolovoza 2020.), str. 406-408

posebice energije sunca i vjetra je velika fluktuacija u proizvodnji tokom dana, mjeseca i godine. Poteškoće povezane s integracijom promjenjivih izvora električne energije proizlaze iz činjenice da je elektroenergetska mreža dizajnirana oko koncepta velikih, kontroliranih električnih generatora. Budući da mreža ima vrlo mali skladišni kapacitet, ravnoteža između opskrbe i potražnje električne energije mora se održavati cijelo vrijeme kako bi se izbjegao „black-out“ ili neki drugi problem vezan za opskrbu. OIE predstavljaju izazov jer utječu na uobičajene metode planiranja operatera određenog sustava. Njihova snaga fluktuiraju tijekom više vremenskih horizonta, prisiljavajući operatera mreže da prilagodi svoje radne postupke dan unaprijed, sat unaprijed i u stvarnom vremenu. Uzmimo primjer solarnih panela. Solarna energija je inherentno dostupna samo tijekom dnevnog svjetla, tako da operator mreže mora prilagoditi plan unaprijed kako bi uključio generatore koji mogu brzo prilagoditi izlaznu snagu kako bi kompenzirali porast i pad solarne proizvodnje.³⁴ Kao odgovor na navedene probleme implementacije OIE javljaju se tehnologije skladištenja (pohrana) energije. Skladištenje energije važna je komponenta za integraciju OIE u EES. Skladištenje energije balansira neusklađenost između proizvodnje i potrošnje električne energije, korisnici povećavaju opskrbljenost vlastitom energijom te imaju veću kontrolu nad potrošnjom energije.³⁵ Dugoročno gledano, jedino OIE potpomognuti skladištenjem energije mogu zadovoljiti postavljene klimatske ciljeve. Postojanjem mnogih oblika OIE te skladištenja energije, postavlja se zahtjev za njihovo optimalno integriranje i uključivanje u energetske sustave. Za povećanje sigurnosti dobave energije, te učinkovitosti i sigurnosti mrežnih energetske sustava u uvjetima povećanja penetracije distribuiranih i OIE, potrebno je povećati mogućnost skladištenja, a time i fleksibilnost, kako na strani energetske postrojenja, tako i na strani potrošača.³⁶ Fleksibilnost EES-a je pojam koji se odnosi na sposobnost sustava da neprekidno pruža uslugu opskrbe električnom energijom susrećući se

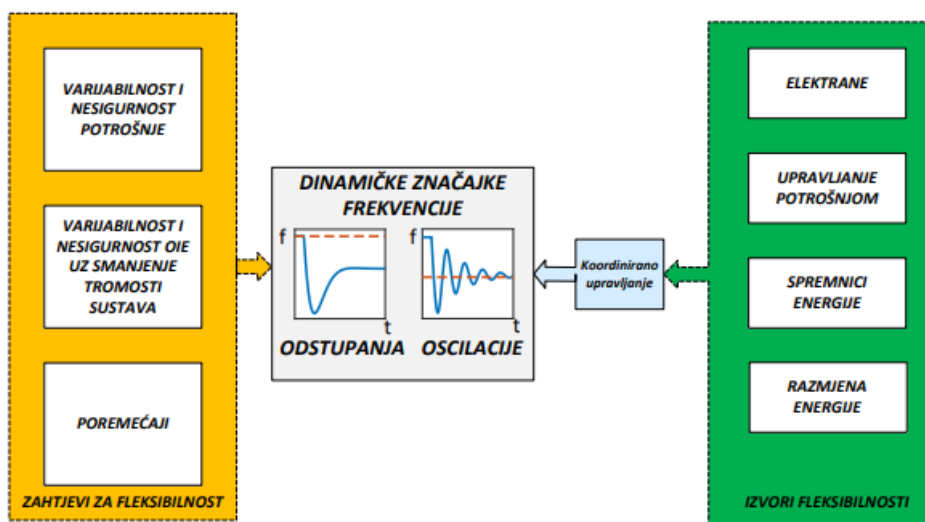
³⁴ Dostupno na: <https://blogs.scientificamerican.com/plugged-in/renewable-energy-intermittency-explained-challenges-solutions-and-opportunities/> (16. kolovoza 2020.)

³⁵ Gelo, T. (2018). Energetska tranzicija i novi model energetske tržišta. Dostupno na: <http://web.efzg.hr/repec/Chapters/chapter18-17.pdf> (16. kolovoza 2020.), str. 416

³⁶ Krajačić, Goran (2012) Uloga skladištenja energije u planiranju potpuno obnovljivih energetske sustava. = The role of energy storage in planning of a 100% renewable energy systems. Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje. Dostupno na: <http://repozitorij.fsb.hr/2084/> (16. kolovoza 2020.)

često s velikim i brzim promjenama u potražnji, bez obzira na uzrok.³⁷ Primarna, sekundarna i tercijarna regulacije frekvencije i djelatne snage zadužene su za stabiliziranje neravnoteže potrošnje i proizvodnje električne energije. OIE ne sudjeluju u pružanju pomoćnih usluga nego to čine konvencionalne sinkrone proizvodne jedinice. Dodatno povećanje instaliranih kapaciteta OIE, s obzirom da ne sudjeluju u pomoćnim uslugama, naglašava smanjenje stabilnosti EES-a. Stoga, povećanje broja OIE u sustavu povećava udio proizvodnje koja je teško predvidiva i ne sudjeluje u pomoćnim uslugama sustava povećava zahtjeve za fleksibilnosti konvencionalnih jedinica. Ograničena fleksibilnost konvencionalnih jedinica smanjuje mogućnost prihvata novih proizvodnih kapaciteta iz OIE jer se narušavaju uvjeti stabilnosti te prijete i mogućnost raspada sustava ako se ne osiguraju potrebni uvjeti za stabiliziranje EES-a.³⁸

Slika 11. Fleksibilnost elektroenergetskog sustava



Izvor: Regulacija frekvencije i radne snage te važnost konstante tromosti u elektroenergetskom sustavu s velikim udjelom vjetroelektrana. Dostupno na: <http://windlips.com/wp-content/uploads/2019/02/Power-regulation-and-grid-inertia-report.pdf> (preuzeto 17. kolovoza 2020.)

³⁷ Dostupno na: https://www.hydropower.org/sites/default/files/publications-docs/the_worlds_water_battery_-_pumped_storage_and_the_clean_energy_transition_2.pdf (16. kolovoza 2020.)

³⁸ Regulacija frekvencije i radne snage te važnost konstante tromosti u elektroenergetskom sustavu s velikim udjelom vjetroelektrana. Dostupno na: <http://windlips.com/wp-content/uploads/2019/02/Power-regulation-and-grid-inertia-report.pdf> (16. kolovoza 2020.)

4.3.1. Utjecaj implementacije OIE u EES na primjeru vjetroelektrana

Kada se govori o implementaciji OIE u EES hrvatske i utjecaju na stabilnost sustava, prvenstveno se misli na povećanu implementaciju VE, solarnih elektrana i MHE. S obzirom da je udio solarnih elektrana i MHE u proizvodnji električne energije malen, bit će analizirani utjecaji VE koji iz godine u godinu rastu i znatno utječu na planiranje rada EES-a. Vjetroelektrane utječu na EES od trenutka puštanja u pogon i tokom cijelog životnog vijeka elektrane.

Utjecaji VE su podijeljeni u 4 skupine:³⁹

1. Lokalni utjecaji na prijenosnu i distribucijsku mrežu
 - Opterećenje elemenata okolne elektroenergetske mreže
 - Statičke varijacije napona u distribucijskoj mreži, fikeri, harmonici, nesimetrije
 - Dinamičke promjene napona, zahtjevi na zaštitu
 - Snaga kratkog spoja u priključnom čvoru

*Pitanje definiranja tehničkih uvjeta, primarno u fazi definiranja optimalnog tehničkog rješenja priključka

2. Izgradnja i rekonstrukcija okolne elektroenergetske mreže

U distribucijskoj mreži zona utjecaja je uglavnom ograničena na postojeći izvod na koji se priključuje VE. U prijenosnoj mreži zona utjecaja može biti:

- Ograničena na DV/TS gdje se VE priključuje (u načelu na područjima deficitarnim proizvodnim objektima)
- Proširena na susjedne objekte i veći dio mreže (u načelu na područjima s viškom proizvodnje i/ili u slučaju većeg broja VE na užem geografskom području)

* Pitanje financiranja troškova priključka i dugoročnog razvoja/izgradnje prijenosne mreže

3. Sistemski utjecaji – stabilnost EES-a
 - Dinamička stabilnost s obzirom na poremećaje - kvarove u prijenosnoj mreži
 - Povratni utjecaj ispada VE ili više njih uslijed propada napona u prijenosnoj mreži (*“fault ride through”*)

³⁹ Dostupno na: https://www.ieee.hr/download/repository/Problematika_vjetroelektrana-ZG_20.03.20122%5b1%5d.pdf (8. rujna 2020.)

- Ponašanje VE za vrijeme značajnijih naponskih i frekvencijskih devijacija u mreži

* Pitanje definiranja tehničkih uvjeta pogona – vođenja VE

4. Sistemski utjecaji – planiranje i vođenje EES-a

- Ograničene mogućnosti dugoročnog planiranja proizvodnje
- Ograničene mogućnosti kratkoročnog planiranja proizvodnje
- Dodatni kapaciteti potrebni za sekundarnu P/f regulaciju
- Dodatni kapaciteti potrebni za tercijarnu P/f regulaciju i energiju uravnoteženja
- Potreba za rezervnim kapacitetima klasičnih elektrana s obzirom na nemogućnost garancije snage vjetroelektrana („*capacity credit*“)
- Koordinacija na razini sustava vođenja (TSO)

* Pitanje načina osiguranja sistemskih usluga i pokrivanja pripadnih troškova

Operativno planiranje rada proizvodnih jedinica jedna je od najvažnijih komponenti u vođenju elektroenergetskog sustava, kojim se može značajno povećati njegova sigurnost, kvaliteta, pouzdanost, učinkovitost i efikasnost. Osnovni cilj planiranja proizvodnje je na optimalan način iskoristiti postojeće izvore, i to u prvom redu proizvodne izvore, ali i prijenosnu mrežu, te mogućnosti razmjene i tranzita električne energije (i ostalih sistemskih resursa) sa susjednim EES-ima. Način i metode planiranja rada EES-a ovise prvenstveno o sljedećim bitnim faktorima:⁴⁰

- Veličini EES-a,
- Strukture elektrana prema tipu i
- Veza s susjednim EES-ima i mogućnosti razmjene

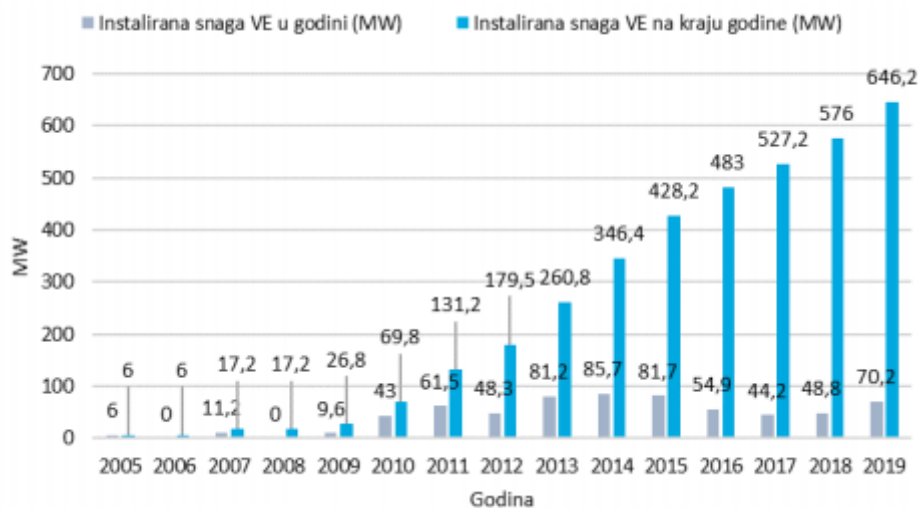
Mogućnost uklapanja VE velikih snaga u EES i usklađivanje njihova rada s ostalim klasičnim proizvodnim objektima/elektranama (TE i HE) te razmjenom električne energije sa inozemstvom uvjetovana je, sa tehničkog gledišta, s tri osnovna elementa:⁴¹

⁴⁰ Dostupno na: https://www.ieee.hr/download/repository/Problematika_vjetroelektrana-ZG_20.03.20122%5b1%5d.pdf (8. rujna 2020.)

⁴¹ Ibid.

- Prvi se odnosi na stanje prijenosne mreže (110 kV, 220 kV i 400 kV) (sadašnje stanje i njen razvoj) koja će omogućiti siguran plasman i prijenos proizvedene električne energije iz postojećih i novih elektrana do potrošača/ drugih mreža.
- Drugi element vezan je za sistemski utjecaj na planiranje i pogon EES-a s relativno visokim udjelom VE(rezervacija sekundarne i tercijarne snage, angažiranje rezerve za regulaciju, uravnoteženje, regulacija napona i jalove snage, rješavanje poremećaja u sustavu)
- Treći bitan elemenat odnosi se na probleme vezane za dinamičku stabilnost rada elektroenergetskog sustava s visokim udjelom VE.

Slika 12. Vremenska dinamika izgradnje VE u Hrvatskoj



Izvor: <https://www.hops.hr/page-file/YCfOmb3Pb46bSAjQ096q81/reports-wpp/HOPS%20%20Godi%C5%A1nji%20izvje%C5%A1taj%20o%20proizvodnji%20VE%20u%20HR%20za%202019.pdf> (preuzeto 8. rujna 2020.)

U normalnom pogonu, odstupanje potrošnje i proizvodnje iz OIE najviše utječu na potrebe za uravnoteženjem sustava. U RH na odstupanje proizvodnje OIE najviše utječu vjetroelektrane jer su one dominantan izvor energije iz OIE. Kako bi se minimalizirala ukupna potreba za uravnoteženjem sustava zbog VE, vrlo je bitno s kolikom preciznošću se mjeri odstupanje planirane i ostvarene proizvodnje električne energije u VE. Pogreška u prognozi proizvodnje

električne energije u VE utječe na potrebu za osiguravanjem energije uravnoteženja i troškove uravnoteženja.⁴²

U Hrvatskoj je prognoza proizvodnje VE započela 2011. god. i za nju je bio zadužen HOPS. Izmjenama zakonskih okvira, od 2019. god. prognoza proizvodnje u VE postaje odgovornost Hrvatskog operatora tržišta energije (HROTE). Vremenski horizont prognoza proizvodnje VE i SE iznosi 240 sati unaprijed, uz satno osvježavanje podataka s obzirom na nove meteorološke prognoze i podatke o proizvodnji u VE u realnom vremenu. Za HROTE je najrelevantnije osvježavanje prognoze za sljedeći dan koje se izrađuje prije zatvaranja trgovanja na Hrvatskoj burzi električne energije d.o.o. (CROPEX). Prilikom planiranja proizvodnje VE svi projekti s istim priključnim mjestom su tretirani kao jedna VE. Korišteni pokazatelji kvalitete prognoze su MAE (eng: Mean absolute error) i RMSE (eng: Root mean square error) koji prikazuje odstupanje planova proizvodnje u odnosu na ukupnu instaliranu snagu svih postrojenja. Formula izračuna MAE i RMSE:

Slika 13. Formula izračuna MAE i RMSE

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{\text{plan } i} - P_{\text{ostvarenje } i}}{P_{\text{instalirano}}} \right|$$
$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_{\text{plan } i} - P_{\text{ostvarenje } i}}{P_{\text{instalirano}}} \right)^2}$$

Izvor: http://files.hrote.hr/files/EKO_BG/DOKUMENTI/EKO_bilancna_grupa_godisnji_izvještaj_za_2019.pdf (preuzeto 9.rujna 2020.)

Oba pokazatelja (MAE i RMSE) prikazuju odstupanje planova proizvodnje od ostvarene proizvodnje električne energije u odnosu na instaliranu snagu svih prognoziranih postrojenja. Osnovna razlika između MAE i RMSE jest u činjenici da RMSE daje veću težinu u konačnom izračunu većim greškama prognoze u pojedinim satima, a za isti promatrani set podataka RMSE je uvijek veći ili jednak od MAE. Na slici 13. prikazani su pokazatelji kvalitete prognoze vjetroelektrana za dan unaprijed te iznosi pozitivne i negativne greške u pojedinom mjesecu. Svi navedeni pokazatelji kvalitete prognoze odnose se na osvježavanje prognoze prije 12 sati za sljedeći dan.

⁴² Regulacija frekvencije i radne snage te važnost konstante tromosti u elektroenergetskom sustavu s velikim udjelom vjetroelektrana. Dostupno na: <http://windlips.com/wp-content/uploads/2019/02/Power-regulation-and-grid-inertia-report.pdf> (16. kolovoza 2020.)

Slika 14. Prikaz osnovnih pokazatelja kvalitete prognoze rada vjetroelektrana za dan unaprijed

	MAE	RMSE	Pozitivna greška [MWh]	Negativna greška [MWh]	Instalirana snaga vjetroelektrana [MW]	Ukupna proizvodnja [MWh]
siječanj 2019.	6,89%	9,09%	8.251	-20.787	566,1	158.730
veljača 2019.	5,42%	7,14%	10.462	-10.145	566,1	148.547
ožujak 2019.	5,49%	7,34%	11.474	-11.601	566,1	154.095
travanj 2019.	5,50%	7,29%	10.284	-12.144	566,1	122.322
svibanj 2019.	4,79%	6,48%	10.883	-9.309	566,1	123.818
lipanj 2019.	4,49%	5,89%	8.968	-9.326	566,1	75.108
srpanj 2019.	4,47%	6,28%	8.108	-10.703	566,1	79.119
kolovoz 2019.	4,13%	6,29%	11.098	-6.288	566,1	72.621
rujan 2019.	4,03%	5,79%	9.527	-7.265	578,4	90.939
listopad 2019.	2,87%	4,39%	3.355	-9.205	586,5	66.298
studenj 2019.	5,85%	8,14%	10.572	-15.671	622,6	167.651
prosinac 2019.	5,41%	7,14%	7.685	-17.865	634,6	175.665
2019. godina	4,94%	6,87%	110.667	-140.309		1.434.915

Izvor: http://files.hrote.hr/files/EKO_BG/DOKUMENTI/EKO_bilancna_grupa_godisnji_izvještaj_za_2019.pdf (preuzeto 9. rujna 2020.)

Postignuta kvaliteta prognoze proizvodnje VE za dan unaprijed u 2019. godini iznosila je 4,94% MAE (28,7 MWh/h) uz maksimalnu pozitivnu pogrešku (ostvarenje veće od plana) od +213 MWh/h te uz maksimalnu negativnu pogrešku (ostvarenje manje od plana) od -220 MWh/h. Dan s najvećim odstupanjem vjetroelektrana bio je 3. siječnja 2019., s prosječnim satnim odstupanjem od 92 MWh/h. Navedenog dana puhala je orkanska bura koja je uzrokovala gašenje velikog broja vjetroagregata iz sigurnosnih razloga što nije prepoznato prognozama proizvodnje VE. Osim navedenog dana, olujna i orkanska bura uzrokovala je veći broj gašenja vjetroagregata 25. i 26. siječnja, 23. veljače, 12. i 26. ožujka, 14. svibnja te 10. i 11. prosinca, što je glavni uzrok većoj negativnoj greški u planiranju proizvodnje VE u 2019. god. U danima s olujnom i orkanskom burom uvelike u radu pomaže komunikacija s povlaštenim proizvođačima čija su postrojenja vjetroelektrane u kojoj nas informiraju o stanju na samoj lokaciji vjetroelektrane. Osim planiranja proizvodnje EKO bilančne grupe za dan unaprijed, HROTE je u 2019. god. proizvodnju EKO bilančne grupe planirao unutar dana isporuke na način da se više puta unutar dana isporuke radio novi plan proizvodnje VE za razdoblje od 2 i više sati unaprijed. Ukupna suma svih pozitivnih pogreški prognoze satne

proizvodnje u cjelokupnom promatranom razdoblju iznosi 110,67 GWh, dok ukupna suma svih negativnih pogreški iznosi -140,31 GWh.⁴³

Slika 15. Prikaz osnovnih pokazatelja kvalitete prognoze vjetroelektrana unutar dana isporuke

	MAE	RMSE	Pozitivna greška [MWh]	Negativna greška [MWh]	Instalirana snaga sunačnih elektrana [MW]	Ukupna proizvodnja [MWh]
siječanj 2019.	1,50%	4,00%	158	-436	53,4	2.022
veljača 2019.	1,54%	3,24%	301	-251	53,4	4.454
ožujak 2019.	2,45%	4,43%	763	-209	53,4	6.756
travanj 2019.	2,34%	4,14%	754	-146	53,4	6.956
svibanj 2019.	2,97%	4,81%	1.039	-142	53,4	6.846
lipanj 2019.	3,60%	5,49%	1.287	-98	53,4	9.950
srpanj 2019.	3,62%	5,90%	1.200	-240	53,4	9.595
kolovoz 2019.	3,23%	5,60%	1.129	-154	53,4	9.207
rujan 2019.	2,08%	3,72%	548	-250	53,4	6.702
listopad 2019.	1,45%	2,99%	408	-170	53,4	5.399
studeni 2019.	1,41%	3,15%	198	-346	53,4	2.171
prosinac 2019.	1,36%	3,56%	93	-449	53,4	1.957
2019. godina	2,30%	4,37%	7.877	-2.892		72.016

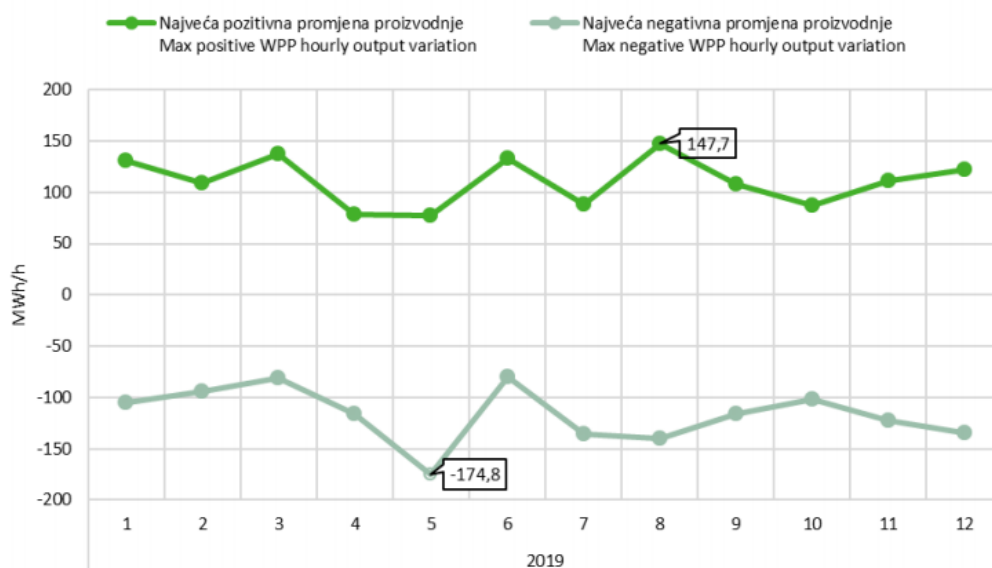
Izvor: http://files.hrote.hr/files/EKO_BG/DOKUMENTI/EKO_bilancna_grupa_godisnji_izvjestaj_za_2019.pdf (preuzeto 9. rujna 2020.)

Svi navedeni pokazatelji kvalitete prognoze odnose se na replan proizvodnje vjetroelektrana unutar dana isporuke koji je najavljen HOPS-u te temeljem kojega je HROTE nastupao na unutardnevnom tržištu CROPEX-a. Postignuta kvaliteta prognoze vjetroelektrana unutar dana isporuke u 2019. godini iznosila je 3,88% MAE. Na slici je prikazana maksimalna pozitivna i maksimalna negativna promjena satne proizvodnje VE u pojedinom mjesecu za 2019. godinu. Drugim riječima, prikazana je razlika ostvarene prosječne proizvodnje VE u dva uzastopna sata. Najveća pozitivna satna promjena proizvodnje VE iznosila je 147,7 MW, dok je najveća negativna satna promjena proizvodnje VE iznosila -174,8 MW. Prosječna pozitivna satna promjena proizvodnje u promatranom razdoblju iznosila je 110,8 MW, a prosječna negativna -116,73 MW.⁴⁴

⁴³ HROTE (2020): Izvještaj o radu EKO bilancne grupe u 2019. godini. Dostupno na: http://files.hrote.hr/files/EKO_BG/DOKUMENTI/EKO_bilancna_grupa_godisnji_izvjestaj_za_2019.pdf (9. rujna 2020.)

⁴⁴ HOPS (2019): Godišnji izvještaj o proizvodnji vjetroelektrana u hrvatskoj. Dostupno na: <https://www.hops.hr/page-file/YCfOmb3Pb46bSAjQ096q81/reports-wpp/HOPS%20%20Godi%20%20C5%A1nji%20izvje%20%20A1taj%20%20proizvodnji%20VE%20u%20HR%20za%202019.pdf> (8. rujna 2020.)

Slika 16. Maksimalna pozitivna i maksimalna negativna promjena satne proizvodnje VE u mjesecu



Izvor: <https://www.hops.hr/page-file/YCfOmb3Pb46bSAjQ096q81/reports-wpp/HOPS%20Godi%C5%A1nji%20izvje%C5%A1taj%20o%20proizvodnji%20VE%20u%20HR%20za%202019.pdf> (preuzeto 8. rujna 2020.)

Najveći broj satnih promjena proizvodnje VE događa se u rasponu od -30 MW/h do +30 MW/h, 7361 sati ili 84,03 % vremena godišnje. Apsolutna vrijednost promjene proizvodnje VE iznad 50 MWh/h (dakle i pozitivne i negativne promjene) pojavile su se u 212 sati, odnosno 2,42% vremena godišnje.⁴⁵ Navedeni podaci su važni za planiranje i vođenje EES-a jer suma pogreški prognoze satne proizvodnje VE predstavlja potrebnu energiju uravnoteženja, a veća pogreška u prognozi VE podrazumijeva veću potrebnu regulacijsku snagu i energiju uravnoteženja, odnosno veće troškove u toj domeni. Budući da VE u hrvatskom EES-u ne sudjeluju u primarnoj i sekundarnoj regulaciji frekvencije, to znači da tu zadaću u cijelosti moraju obavljati konvencionalne elektrane. Tijekom pogona nužno je konvencionalnim elektranama osigurati dovoljne regulacijske pričuve u slučaju odstupanja proizvodnje VE od planirane vrijednosti u trajanju duljem od 15 min, uobičajeno 1 h. Proizvodnja električne energije iz VE ovisi o brzini i smjeru vjetra te je izrazito nepredvidiva, čime je uvećan zahtjev da se prilagođava pogon klasičnih elektrana za osiguranje ravnoteže potražnje i proizvodnje električne energije u sustavu. Suma pozitivnih pogreški prognoze

⁴⁵ ibid.

(prognoza veća od ostvarenja) određuje potrebnu negativnu energiju uravnoteženja u elektroenergetskom sustavu, a suma negativnih pogreški prognoze predstavlja pozitivnu energiju uravnoteženja⁴⁶. Ukupna suma svih pozitivnih pogreški prognoze satne proizvodnje u cjelokupnom promatranom razdoblju iznosi 110,67 GWh, dok ukupna suma svih negativnih pogreški iznosi -140,31 GWh. Prema financijskom izvještaju HOPS-a, troškovi nabavke energije uravnoteženja u 2019. godini su iznosili 127,33 milijuna kuna, a troškovi pomoćnih usluga su iznosili 325,34 milijuna kuna.

Prema studiji iz 2016. godine koju je napravio Energetski institut Hrvoje Požar za 5 scenarija integracije VE (744 MW, 1000 MW, 1200 MW, 1500 MW i 2000 MW) izvedena je simulacija troškova uravnoteženja u ovisnosti o greški prognoze proizvodnje VE (8%, 10%, 12% i postojeća u to vrijeme razina 9,81%). Sa povećanjem integracije VE najviše se povećava zahtjev na rezervu snage tercijarne regulacije dok je porast energije za uravnoteženje (aktivacija) manji. U sljedećoj tablici bit će prikazana godišnja usporedba troškova uravnoteženja u ovisnosti o greški proizvodnje VE od 8%.

Tablica 4. Usporedba godišnjih troškova uravnoteženja za 5 scenarija integracije VE

Scenarij	744 MW	1000 MW	1200 MW	1500 MW	2000 MW
Povećanje tercijarne rezervne snage	±223 MWh/h	±316 MWh/h	±385 MWh/h	±488 MWh/h	±666 MWh/h
Ukupni troškovi uravnoteženja	44 mil. €	54 mil. €	63 mil. €	75 mil. €	96 mil. €

Izvor: izrada autora prema <https://www.hops.hr/page->

[file/EmAh2un804ADLAFyW6W1B6/vjetroelektrane/Mogu%C4%87nosti_prihvata_obnovljivi_hrvatski_elektroenergetski_sustav_-_sa%C5%BEetak.pdf](https://www.hops.hr/page-file/EmAh2un804ADLAFyW6W1B6/vjetroelektrane/Mogu%C4%87nosti_prihvata_obnovljivi_hrvatski_elektroenergetski_sustav_-_sa%C5%BEetak.pdf) (preuzeto 12. rujna 2020.)

HEP Proizvodnja s obzirom na veliki udio hidroelektrana u proizvodnom portfelju ima dovoljan regulacijski kapacitet za potrebe vođenja EES-a. Ugovor o pružanju pomoćnih usluga i usluga uravnoteženja sklapaju HEP Proizvodnja i HOPS u skladu s mrežnim pravilima, zakonskim regulativama i tehničkim pravilima ENTSO-e. Usluge se ugovaraju pojedinačno i prema reguliranoj cijeni. Preostali dio raspoloživih regulacijskih kapaciteta

⁴⁶Regulacija frekvencije i radne snage te važnost konstante tromosti u elektroenergetskom sustavu s velikim udjelom vjetroelektrana. Dostupno na: <http://windlips.com/wp-content/uploads/2019/02/Power-regulation-and-grid-inertia-report.pdf> (8. rujna 2020.)

HEP Proizvodnja nudi inozemnim operatorima mreže za potrebe sustava u europskoj interkonekciji. Pomoćne usluge prema mrežnim pravilima su:⁴⁷

1. Održavanje frekvencije
 - Primarna regulacija
 - Sekundarna regulacija frekvencije i snage razmjene
 - Tercijarna regulacija frekvencije i snage razmjene
2. Regulacija napona i jalove snage
3. Samostalno pokretanje elektrana (crni start)
4. Otočni pogon

Tablica 5. Hidroelektrane koje pružaju pomoćne usluge u 2019. godini

Naziv HE	Vrsta pomoćnih usluga
CS Buško Blato	TR
HE Čakovec	TR
HE Dubrava	TR
HE Dubrovnik	ASR, TR, CS, OP
HE Đale	TR
HE Gojak	TR, CS, OP
HE Kraljevac	TR
HE Lešće	TR
HE Orlovac	TR
HE Peruća	TR, CS, OP
HE Rijeka	TR, CS, OP
HE Senj	ASR, TR, CS, OP
HE Sklope	TR
HE Varaždin	TR, CS, OP
HE Vinodol	ASR, TR, CS, OP
HE Zakućac	ASR, TR, CS, OP
RHE Velebit	TR, KOMP

ASR - rezerva snage za aFRR, TR - rezerva snage za mFRR, KOMP - kompenzacijski rad za potrebe regulacije napona i jalove snage, CS - raspoloživost pokretanja proizvodne jedinice bez vanjskog napajanja, OP - raspoloživost proizvodne jedinice za otočni pogon

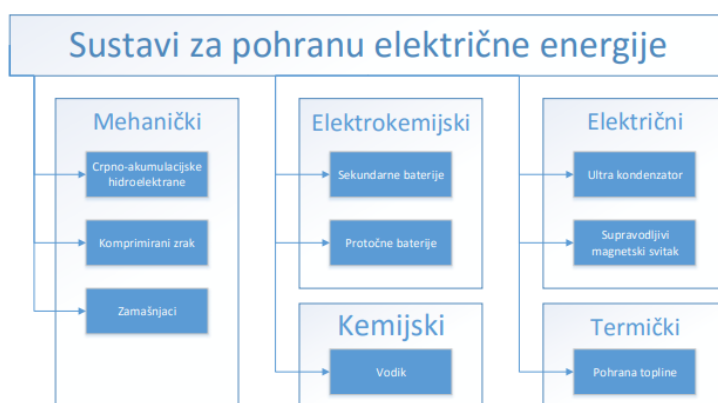
Izvor: <https://www.hops.hr/page-file/8HYAVJTB4qoLqAlf0Eq1H0/godisnji-izvjestaji/HOPS%20%20Godi%20%20C5%A1nji%20izvje%20%20C5%A1taj%20o%20kvaliteti%20opskrbe%20elektri%20%20C4%8Dnom%20energijom%202019.pdf> (preuzeto 12. rujna 2020.)

⁴⁷ Dostupno na: <https://www.hep.hr/proizvodnja/proizvodi-i-usluge/pomocne-usluge-ees/1575> (7. rujna 2020.)

4.3.2. Utjecaj reverzibilnih hidroelektrana na fleksibilnost elektroenergetskog sustava

Kako je navedeno u prethodnim, skladištenje energije je jedna od ključnih tehnologija koja će doprinjeti energetskej tranziciji i implementaciji dodatnih kapaciteta OIE i osigurati fleksibilnost i stabilnost EES-a. Reverzibilne hidroelektrane su u 2020. godini zaslužne za 94% ukupne pohranjene energije u svijetu i prema procjenama IHA-e spremaju 9000 GWh na svjetskoj razini s ukupno instaliranim kapacitetima približno 160 GW.

Slika 17. Podjela sustava za pohranu električne energije prema obliku energije koja se koristi



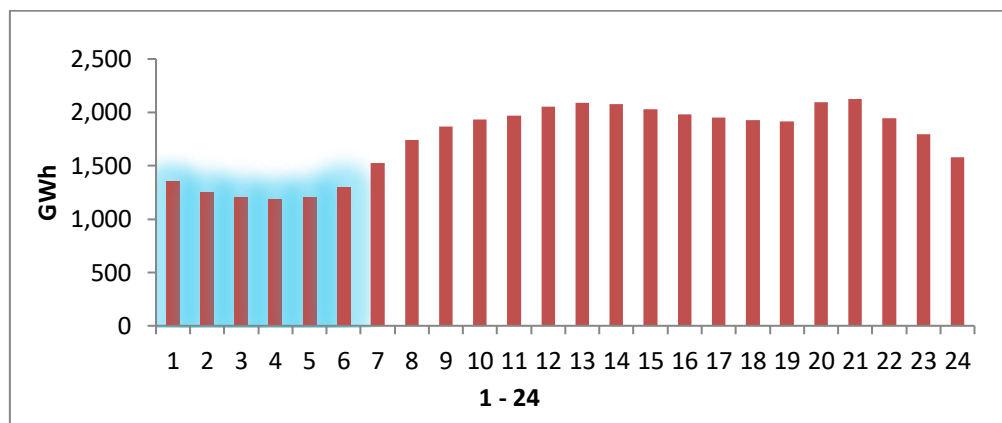
Izvor: Kosić, D. (2016) Sustavi pohrane električne energije. Diplomski rad. Osijek: Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija. Dostupno na: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/etfos:1092/preview> (28. kolovoza 2020.), str. 4

RHE za razliku od drugih sustava pohrane imaju duže vrijeme pražnjenja, mogućnost pohrane velikih količina energije, imaju dug životni vijek i ne ovise o dostupnosti ograničenih resursa. RHE su idealan dodatak modernim EES-ima jer mogu smanjiti utjecaj varijabilnosti i sezonalnosti proizvodnje u solarnim i vjetroelektranama na cjelokupni sustav. Osim pohrane viška energije iz mreže, RHE imaju mogućnost pružanja pomoćnih usluga sustavu poput regulacije frekvencije i napona, tercijarne regulacije, mogućnost samostalnog pokretanja (crni start) i kompenzacijskog režima rada.⁴⁸ Od proizvodnih postrojenja na 400 kV mrežu RH priključena je jedino RHE Velebit. Priključak generatora uglavnom na 220 kV i 110 kV naponske razine nije povoljan za osiguravanje zadovoljavajućeg naponskog profila zbog nedostatne podrške jalovom snagom na 400 kV mreži. U cilju saniranja povišenih

⁴⁸ Dostupno na: <https://www.hydropower.org/pumped-storage> (7. rujna 2020.)

naponskih prilika u 400 kV mreži koja predstavlja kičmu našeg elektroenergetskog sustava, koristi se RHE Velebit u kompenzacijskom režimu rada uz određenu financijsku naknadu od strane HOPS-a što se ugovara kao pomoćna usluga.⁴⁹

Graf 10. Dnevni dijagram opterećenja na prijenosnoj mreži na dan 15.09.2020.



Izvor: izrada autora prema <https://www.hep.hr/ods/opskrbljivaci/pravila-primjene-nadomjesnih-krivulja-opterecenja/dnevni-dijagram-opterecenja/627> (preuzeto 16. rujna 2020.)

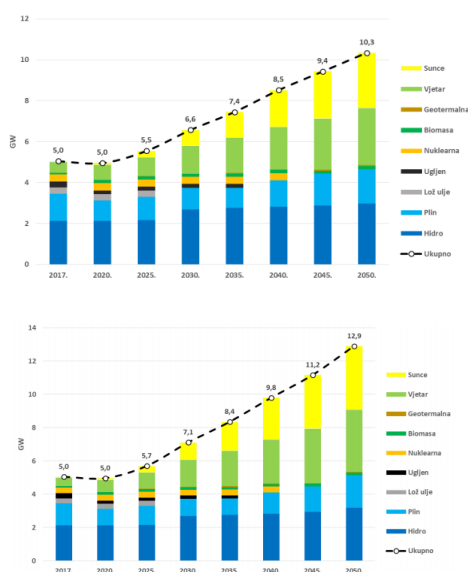
Na grafu 7. je prikazan dnevni dijagram opterećenja na prijenosnoj mreži u RH na dan 15.9.2020. godine iz kojeg se jasno može vidjeti u kojem dijelu dana dolazi do većeg, a u kojem dijelu dana dolazi do manjeg opterećenja sustava. U razdobljima niske potražnje za električnom energijom u EES-u pojedine zemlje (uglavnom noću i neradnim danima), voda se pumpa u gornje jezero dok se pri većoj potražnji za električnom energijom voda preko turbine pušta iz gornje u donju akumulaciju kako bi se proizvela željena električna energija. Radni dani i vikendi razlikuju se po iznosu ukupne potrebne energije, maksimalnom opterećenju i trajanju varijabilnog opterećenja. U radnom danu navedene veličine su veće jer tvornice koje su najveći potrošači energije tada ne rade. Kod određivanja konstantnog opterećenja u neradnom danu uzima se da je ono jednako konstantnom opterećenju u radnome danu. To pojednostavljuje proračune, a ne utječe na tjednu krivulju trajanja. Za energetske-ekonomske analize nije podoban dnevni dijagram opterećenja jer ga je teško izraziti matematičkim jednadžbama pa se iz tog razloga umjesto dijagrama opterećenja

⁴⁹ HOPS (2017): Desetogodišnji plan razvoja prijenosne mreže 2020.-2029. s detaljnom razradom za početno trogodišnje i jednogodišnje razdoblje. Dostupno na: <https://www.hops.hr/92136ad3-dfa8-4674-b6aa-3c7a0d41654c> (preuzeto 16. rujna 2020.)

napravi krivulja opterećenja koja se može lakše matematički izraziti. Krivulja trajanja opterećenja dobiva se na taj način da se opterećenja koja su se pojavila u promatranom vremenskom intervalu poredaju po padajućim vrijednostima od maksimalnog do minimalnog opterećenja.⁵⁰ Iz navedenog slijedi da je osnovna pretpostavka za profitabilnost ovih postrojenja razlika između najniže i najviše cijene električne energije na tržištu.

Važnost HE, RHE te drugih načina pohrane energije je prepoznata u RH. U Strategiji energetskog razvoja RH do 2030. godine s pogledom na 2050. godinu stoji da se planira izgradnja različitih spremnika energije kao što su RHE i baterije, kako bi se negativne posljedice varijabilnosti OIE na EES svele na minimum. U oba scenarija planira se izgradnja baterija snage 100 MW (2030. god.) i 400 MW (2050. god.). Povećanje ukupne instalirane snage proizvodnih kapaciteta prema S1 (12.901 MW) je veće nego prema S2 (10.337 MW), a za posljedicu ima i smanjenje očekivane instalirane snage u HE i RHE za 196 MW.⁵¹

Slika 18. Snaga elektrana do 2050. godine prema scenariju S2 i S1



Izvor: Narodne novine (2020) Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu. Zagreb: Narodne novine d.d., 25/2020. Dostupno na:

https://www.sabor.hr/sites/default/files/uploads/sabor/2019-10-31/111602/STRATEGIJA_ENERG_RAZVOJ_2030.pdf (preuzeto 16. rujna 2020.)

⁵⁰ Udovičić, B. (2005): Elektroenergetski sustav, Zagreb: Kigen, str: 46

⁵¹ Narodne novine (2020) Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu. Zagreb: Narodne novine d.d., 25/2020

5. NEISKORIŠTENI HIDROPOTENCIJAL HRVATSKE

Hydroenergetski potencijal se dijeli na nekoliko kategorija: teoretski, tehnički iskoristivi, ekonomski opravdani, ekološki prihvatljivi, te do sada iskorišteni. Ovaj teoretski potencijal računa se kao totalni energetska potencijal riječnih tokova koji odgovaraju prosječnoj godišnjoj mogućoj proizvodnji, uzimajući u obzir ukupni pad pojedinog vodotoka u odnosu na razinu mora. Bolji podatak od teoretskog potencijala jest tehnički iskoristivi potencijal hidroenergije koji u sebe uključuje neraspoloživost riječnih tokova, napose onih blizu ušća. Tehnički potencijal manji je od polovice teoretskog potencijala. Treći je stupanj ekonomski potencijal koji sadrži sve hidroenergetske izvore koji se smatraju ekonomičnima u usporedbi s alternativnim izvorima električne energije u vrijeme odabira za gradnju. Ekološki prihvatljivi hidroenergetski potencijal uzima u obzir neka ograničenja koja nameće zakonska regulativa koja se tiče zaštite prirode i okoliša. Taj potencijal je još manji nego što je ekonomski opravdani hidroenergetski potencijal. I konačno, postoji hidroenergetski potencijal koji se već koristi, a to su izgrađene HE. On je po svom iznosu najmanji od svih navedenih kategorija hidroenergetskog potencijala. Međutim, treba istaknuti da navedena klasifikacija (teoretski, tehnički i ekonomski hidropotencijal, ekološki i izgrađeni), odnosno vrijednosti navedenih hidropotencijala nisu konstantne veličine, nego se s vremenom mijenjaju u ovisnosti o novim istraživanjima, razvoju tehnologija, i napokon, o cijenama alternativnih raspoloživih izvora za gradnju.

5.1. Hidroenergetski potencijal i projekti u planu izgradnje u RH

Ukupni prirodni (bruto) potencijal u RH iznosi približno 21,3 TWh. Danas je u Hrvatskoj iskorišteno oko 49% tehnički iskoristivog potencijala, a s obzirom da je ukupni tehnički potencijal u RH približno 12,4 TWh, to znači da je približno 6,2 TWh trenutno raspoloživo. Od navedenog raspoloživog hidropotencijala, približno 10% se odnosi na potencijal za izgradnju MHE.

Tablica 6. Hidroenergetski potencijal vodotoka u Hrvatskoj

Vodotok	Prirodni (bruto) potencijal [TWh]	Tehnički (neto) potencijal [TWh]	Iskorišteni potencijal [%]
Drava (hrvatski dio)	4	2,6	47,3
Sava (hrvatski dio)	3,8	1	0
Kupa (s pritokama)	3,03	2	17,5
Una (hrvatski dio)	0,2	0,1	0
Rječina	0,56	0,18	66,7
Mirna	0,08	0,04	0
Raša	0,04	0,02	0
Lika i Gacka	2	1,4	71,4
Ličanka-Lokvarka	0,2	0,15	86,7
Krka	1,02	0,66	24,2
Zrmanja	0,2	0,1	0
Cetina	5,7	3,7	74,3
Trebišnjica*	0,5	0,5	77,8
UKUPNO	21,33	12,45	49,3

* U HE Dubrovnik se koriste vode rijeke Trebišnjice.

** Rijeka Ombla nije prikazana u tablici jer koristi prirodnu podzemnu retenciju.

Izvor: EIHP (2019): Bijela knjiga, Analize i podloge za izradu Strategije energetskog razvoja dostupno na: <https://mzoe.gov.hr/vijesti/nacrt-prijedloga-strategije-energetskog-razvoja-republike-hrvatske-do-2030-s-pogledom-na-2050-i-konacne-verzije-bijele-knjige/5490> (preuzeto 12. kolovoza 2020.)

Tehnički iskoristivi potencijal za izgradnju velikih hidroelektrana iznosi ukupno 1.694 MW s godišnjom proizvodnjom električne energije oko 4,74 TWh, ovisno o hidrološkim prilikama. S obzirom da se dio hidropotencijala RH nalazi na graničnim rijekama, procjenjuje se da RH pripada oko 1.370 GW, s ukupnom proizvodnjom oko 3,83 TWh (ovisno o hidrološkim prilikama). Hidropotencijal koji se odnosi na izgradnju RHE procjenjuje se na 2.276 MW, s ukupnom godišnjom proizvodnjom oko 1 TWh. U sljedećim tablicama će biti prikazan tehnički potencijal malih i velikih vodotoka te potencijal vodotoka za izgradnju RHE.

Tablica 7. Potencijal vodotoka za izgradnju projekata velikih hidroelektrana

Vodotok	(MW)	Moguća proizvodnja (GWh/god)
Lika i Gacka	394	402
Drava	326,2	1 556,4
Trebišnjica	304	150,9
Sava	193,4	1 036,5
Kupa	136	398,4
Ombla	68	220
Mura	64,7	347,6
Krka	53,1	181,7
Mrežnica	44,2	138,7
Korana	43,2	92,1
Zrmanja	29,8	91,2
Čikola	19	78,3
Rječina	18,1	48,6
UKUPNO	1 693,7	4 742,4

Izvor: EIHP (2019): Bijela knjiga, Analize i podloge za izradu Strategije energetskeg razvoja

dostupno na: <https://mzoe.gov.hr/vijesti/nacrt-prijedloga-strategije-energetskog-razvoja-republike-hrvatske-do-2030-s-pogledom-na-2050-i-konacne-verzije-bijele-knjige/5490>

(preuzeto 12. kolovoza 2020.)

Tablica 8. Potencijal vodotoka za izgradnju projekata crpnih hidroelektrana

Vodotok	Instalirana snaga [MW]	Moguća proizvodnja [GWh/god]
Cetina	1 940	402
Vuka	186	332
Lokvarka i Ličanka	150	280
UKUPNO	2276	1014

Izvor: EIHP (2019): Bijela knjiga, Analize i podloge za izradu Strategije energetskeg razvoja

dostupno na: <https://mzoe.gov.hr/vijesti/nacrt-prijedloga-strategije-energetskog-razvoja-republike-hrvatske-do-2030-s-pogledom-na-2050-i-konacne-verzije-bijele-knjige/5490>

(preuzeto 12. kolovoza 2020.)

Tehnički hidropotencijal vodotoka za izgradnju MHE iznosi ukupno oko 149 MW, s mogućom proizvodnjom električne energije približno 515 GWh. Dio potencijala MHE također se nalazi na graničnim rijekama pa se procjenjuje da RH pripada oko 135 MW odnosno oko 470 GWh.

Tablica 9. Potencijal vodotoka za izgradnju projekata malih hidroelektrana

Vodotok	Instalirana snaga [MW]	Moguća proizvodnja [GWh/god]
Dobra	19,07	69,7
Mrežnica	22,69	77,13
Korana	15,53	47,78
Kupa	30,88	101,4
Dubračina	5,7	9,3
Gacka	1,8	6
Zrmanja	8,8	23,9
Krčić	15,9	74,1
Cetina	6,73	44,7
Ljuta	3,3	9,8
Suvaja (Ričina)	6,5	8,5
Ričica	4	11,6
Orljava	0,75	2,79
Kupčina	0,106	0,64
Vitunjčica	0,02	0,07
Butišnica	0,048	0,22
Jadro	0,125	0,53
Ruda	0,149	0,87
Glina	0,58	2,5
Subocka	0,091	0,213
Rječina	0,01	0,04
Lika	1,56	4,7
Bednja	0,862	4,47
Krupa	2,82	10,97
Čabranka	0,052	0,2
Una	0,16	0,5
Curak	0,5	1,7
Kamačnik	0,22	0,6
UKUPNO	149,03	514,92

Izvor: EIHP (2019): Bijela knjiga, Analize i podloge za izradu Strategije energetskog razvoja dostupno na: <https://mzoe.gov.hr/vijesti/nacrt-prijedloga-strategije-energetskog-razvoja-republike-hrvatske-do-2030-s-pogledom-na-2050-i-konacne-verzije-bijele-knjige/5490> (preuzeto 12. kolovoza 2020.)

Iako je iz prethodnih tablica očito da RH raspolaže velikim hidropotencijalom koji se može iskoristiti za izgradnju HE, bitno je napomenuti da razna ograničenja iz područja prostornog planiranja i zaštićenih područja ne ulaze u navedenu analizu, što znači da je dostupni potencijal za izgradnju HE dosta manji od ukupnog tehničkog potencijala.

Projekti u planu izgradnje, a odnose se na velike HE prikazani su u sljedećoj tablici. Podaci o navedenim projektima preuzeti su iz Programa iskorištenja slobodnog hidropotencijala u RH koji je izradila Hrvatska komora inženjera građevinarstva objavljenog 2012. god.

Tablica 10. Projekti velikih hidroelektrana u planu izgradnje

Objekt	Instalirani protok (m ³ /s)	Instalirana snaga (MW)	Prosječna proizvodnja (GWh/godišnje)
HE Ombla	60	68	225
HE Podsused	500	41	202
HE Prečko	500	20	109
HE Zagreb	500	20	109
HE Drenje	500	39	190
HE Dubrovnik II	120	304	318
VES Brodarci	150	9,34	50,56
VHS Osijek	1200	68,4	201
HE Molve 1	960	52	258
HE Molve 2	960	56	272
HE Krčić	20	8,8	38
HE Konavle	16	6,18	15,5
HE Zrmanja	50	15,5	48
HE Žegar	15	8,6	22
HE Ervenik	12	14,2	41
CAHE Vinodol	60	390	712
RHE Korita	135	600	1570/2250

Izvor: Hrvatska komora inženjera građevinarstva (2012): Program iskorištenja slobodnog hidropotencijala u RH. Dostupno na:

http://digarhiv.gov.hr/arhiva/1238/88784/www.hkig.hr/fdsak3jnFsk1Kfa/izdvojeno/Program_iskoristenja_slobodnog_hidropotencijala_u_Republici_Hrvatskoj.pdf (14. kolovoza 2020.)

Osim navedenih projekata koji su prikazani u Programu iskorištenja slobodnog hidropotencijala u RH objavljenog 2012. godine od strane Hrvatske komore inženjera građevinarstva ističe se i privatni projekt RHE Vrdovo koji planira izgraditi poduzeće Vis Viva. U hidroelektrani se planira ugraditi dva reverzibilna agregata s Francis turbinom/pumpom i sinkronim generatorom/motorom snage 270/245 MW. Agregati mogu raditi kao pumpe u smjeru pumpanja vode iz akumulacijskog jezera Hidroelektrane (HE) Peruća u gornji bazen Ravno Vrdovo (pumpni režim rada, te kao generatori kada se vodu iz

gornjeg bazena na Ravnom Vrdovu pušta kroz turbinu (generatorski režim rada).⁵² Prema ocijeni MZOE, RHE Vrdovo se uklapa u strategiju razvoja elektroenergetskog sustava i doprinosi ispunjenju zadanih ciljeva korištenja OIE i smanjenja emisija stakleničkih plinova u Republici Hrvatskoj. Za navedeni projekt ishođena je prethodna elektroenergetska suglasnost. Izrađene su studije utjecaja na okoliš te je ishođeno Rješenje o prihvatljivosti zahvata na okoliš. U tijeku je ishođenje Lokacijske dozvole sa posebnim uvjetima.⁵³

5.2. Glavni izazovi iskorištavanju preostalog hidropotencijala u RH

Glavni izazovi iskorištavanju preostalog hidropotencijala u Europi pa tako i u RH predstavljaju mjere zaštite okoliša i riječne ekologije koje su trenutno na snazi. Osim toga, većina prigodnih mjesta za izgradnju hidroelektrana u Europi i RH je iskorištena pa iskorištavanje preostalog hidropotencijala iz tog razloga može biti dosta skuplje i zahtjevnije s obzirom na kompliciranije građevinske radove koji su potrebni. Osim navedenih ograničenja, štetni utjecaji izgradnje hidroelektrana sve više dolaze u prvi plan, posebice ulaskom RH u mrežu Natura 2000, u kojoj se nalaze lokacije većine otprije razvijenih projekata, a i većina hidroelektrana koje su danas u pogonu. Navedeni izazovi bitno utječu na zainteresiranost investitora, pogotovo privatnih, za sudjelovanje u projektima izgradnje hidroelektrana. Moguće ograničenje u daljnjem korištenju hidropotencijala predstavljaju i klimatske promjene. Utjecaj klimatskih promjena na riječne tokove može predstavljati još jedno od ograničenja u daljnjem korištenju hidropotencijala.

5.3. Utjecaj izgradnje hidroenergetskog sustava Senj 2 na gospodarstvo RH

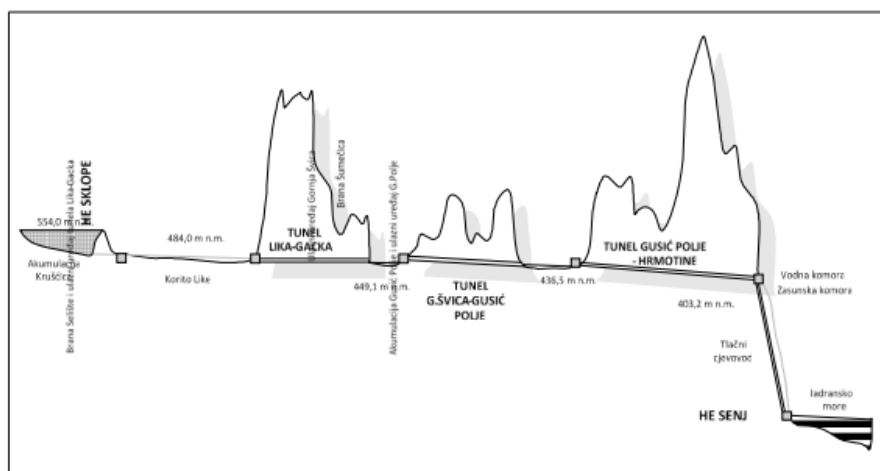
Realizacijom projekta HEP grupa ima namjeru iskoristiti preostali hidropotencijal na slivovima Like i Gacke nadogradnjom već postojećeg HES Senj. Trenutno HES Senj koristi vodu za namirenje potreba za električnom energijom uglavnom u temeljnom režimu. Realizacijom projekta nastoji se, uz izgradnju velike akumulacije, prebaciti proizvodnju u

⁵² Dostupno na: <http://www.vis-viva-energija.com/rhe-vrdovo/> (12. rujna 2020.)

⁵³ Godišnje izvješće o radu MZOE za 2018. godnu. Dostupno na: <https://mzoe.gov.hr/pristup-informacijama/strategije-planovi-i-ostali-dokumenti/godisnje-izvjesce-o-radu-ministarstva/1072> (12. rujna 2020.)

vršni dio, gledajući dnevni dijagram opterećenja. S obzirom na plan korištenja vode u vršnom režimu, očekuje se povećan kapacitet regulacijske snage čime će se povećati fleksibilnost elektroenergetskog sustava u cjelini. Postojeći sustav izgrađen je 60-ih godina prošlog stoljeća, a sastoji se od HE Sklope (22,5 MW) i HE Senj (216 MW). Prosječna godišnja proizvodnja u postojećem sustavu predstavlja oko 20% ukupne proizvodnje električne energije iz HEP-ovih HE te oko 10% proizvodnje kada se u obzir uzme cijeli proizvodni portfelj HEP grupe. Nadogradnjom postojećeg sustava, osim povećanja proizvodnje električne energije, očekuje se i dodatna zaštita od poplava u Kosinjskom polju, veća sigurnost vodoopskrbe hrvatskog primorja i poboljšanje infrastrukture (cestovne i komunalne). Postojeći sustav danas pruža razne pomoćne usluge, a nadogradnjom bi se povećala pouzdanost pružanja istih i omogućio bi se veći prihvat energije iz varijabilnih OIE kroz pružanje usluga energije uravnoteženja. Izgradnjom druge faze projekta predviđa se da će dodatni kapacitet biti 412 MW, a dodatna godišnja proizvodnja električne energije 320 GWh većinom vršne energije. Ukupni instalirani kapacitet na slivu iznosio bi 656 MW, a prosječna godišnja proizvodnja 1,5 TWh.⁵⁴

Slika 19. HES Senj danas



Izvor: https://mzoe.gov.hr/UserDocsImages/ARHIVA%20DOKUMENATA/ARHIVA%20--%20PUO/2017/studija_o_utjecaju_na_okolis_26.pdf (preuzeto 13. rujna 2020.)

⁵⁴ Dostupno na: <https://www.hep.hr/projekti/hidroenergetski-sustav-senj-2/247> (12. rujna 2020.)

Tijekom izgradnje HES Kosinja trajno će se prenamijeniti oko 1055 ha kopnenog staništa koji sa svim životnim zajednicama koje obitavaju na tom području ima svoju prirodnu vrijednost. S druge strane, izgradnjom sustava HES Kosinj ostvaruju se sljedeće koristi:⁵⁵

- dodatna instalirana snaga u EES-u i povećanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora
- lokalnoj upravi se osigurava dodatan izvor prihoda na duže vrijeme kao naknadu za korištenje zemljišta i voda
- očekuje se smanjenje opsega i štete od poplava trajnim rješavanjem problema plavljenja na prostoru Lipovog polja
- doprinosi se povećanju poljoprivredne proizvodnje na području Lipovog polja, povećanjem količine akumulirane vode koja se može koristiti za navodnjavanje
- stvaraju se uvjeti za razvoj sportskih i rekreacijskih prostora na području uz jezera Kosinj i Kruščica čime se doprinosi razvoju turizma
- povećanje zaposlenosti na ovom području, povećava se cijena zemljišta, povećavaju se prihodi lokalne uprave od poreza i naknada
- otvaraju se nova radna mjesta na objektima u vlasništvu HEP-a i Hrvatskih voda
- stvara se mogućnost za gradnju novog tunela od bazena Gusić polje do Hrmatina i gradnja nove HE Senj 2 čime se povećava sigurnost vodoopskrbe Sjevernog primorja koja danas ovisi o pogonskoj sigurnosti tunela postojeće HE Senj čija je starost preko 50 godina.

S obzirom da se u budućnosti očekuje izgradnja višenamjenskih hidroenergetskih postrojenja koja osim proizvodnje električne energije mogu riješiti i razne druge problem vezane uz obranu od poplava, navodnjavanje i sigurnost vodoopskrbe, uloga države u pripremi i realizaciji takvih projekata bit će nužna. Država bi u navedenim projektima mogla sudjelovati na razne načine poput: usklađivanja načina zaštite, uređenja i korištenja državnog prostora, usklađivanjem suprostavljenih interesa kod višenamjenskih projekata, osiguranjem sredstava potrebnih za pokretanje projekata, poboljšanjem investicijske klime, poticanjem promjene stava javnosti o višenamjenskim projektima, osiguranjem uvjeta za privlačenje investicija,

⁵⁵ Elektroprojekt (2016): Studija o utjecaju na okoliš HES Kosinj Dostupno na:

https://mzoe.gov.hr/UserDocsImages/ARHIVA%20DOKUMENATA/ARHIVA%20---%20PUO/2017/studija_o_utjecaju_na_okolis_26.pdf (13. rujna 2020.)

osiguranjem pristupa infrastrukturi i zemljištu, osiguranjem povoljnih koncesijskih uvjeta, prilagodbom komunalne i prometne infrastrukture itd. S obzirom na ulaganja financijskih sredstava države u takve projekte, bitno je istaknuti i načine na koje država može naplatiti svoje sudjelovanje kako bi opravdala ulaganje. Država se reguliranjem svog vlasničkog udjela može uključiti u raspodjelu dobiti (prihodi od prodaje električne energije i prihodi od korištenja za druge namjene). Pružanjem komunalnih usluga i ustupanjem zemljišta na korištenje država može ostvariti prihode od koncesijskih naknada za korištenje voda i naknada za pružanje komunalnih usluga. Ostvarivanjem neizravnih koristi države kod višenamjenskih projekata poput poboljšanja vodoopskrbe i navodnjavanja (koristi za turizam i poljoprivredu), obranom od poplava (izbjegnute štetne posljedice za društvo), smanjenjem zagađenja okoliša (trgovina emisijama štetnih plinova), poboljšanjem kvalitete komunalnih usluga, poboljšanjem prometne infrastrukture, otvaranjem prilika građevinarima za izlazak na vanjska tržišta i naposljetku smanjenjem utjecaja kriza na gospodarstvo (povećanjem energetske neovisnosti).

6. ZAKLJUČAK

Hidroelektrane su danas daleko najveći i najpouzdaniji izvor električne energije u usporedbi s ostalim obnovljivim izvorima energije. Osim visoke pouzdanosti i veće profitabilnosti u odnosu na druge obnovljive izvore energije, hidroelektrane imaju i najduži životni vijek od navedenih tehnologija. Hidroelektrane uz proizvodnju velikih količina električne energije, mogu imati različite pozitivne utjecaje u kontekstu gospodarenja vodama. Zaštita ljudi od poplava i navodnjavanje su najistaknutije dodatne prednosti realizacije višenamjenskih projekata hidroelektrana. Kada bi se te stvari riješavale odvojeno to bi dovelo do većih troškova, a vjerojatno bi se financirale bespovratnim sredstvima države i moguće je da bi došlo do neusuglašene gradnje. Višenamjenskim korištenjem došlo bi do rasterećenja proračuna i gospodarenju vodama bi se pristupilo na održiv način, društvo bi lakše prihvaćalo takve projekte, a omjer prednosti naspram troškova i negativnih utjecaja bi bio dosta veći.

Hidroelektrane u kontekstu vođenja elektroenergetskog sustava, također imaju veliku ulogu. Operatori u modernim elektroenergetskim sustavima sa sve većom penetracijom obnovljivih izvora (sunce i vjetar prvenstveno), nailaze na mnoge poteškoće prilikom integracije istih u sustav bez negativnih posljedica na sigurnost opskrbe. Hidroelektrane u RH predstavljaju više od 50% instaliranih kapaciteta s dobrim omjerom protočnih i akumulacijskih hidroelektrana, a s obzirom na svoje karakteristike mogu odgovoriti izazovima koje integracija interinentnih OIE donosi sa sobom. Hidroelektrane pružaju pomoćne usluge i usluge uravnoteženja elektroenergetskog sustava koje će prema procjenama u budućnosti značajno porasti. Potrebno je osigurati dodatne kapacitete, kako bi se integracijom dodatnih interinentnih obnovljivih izvora energije postigli ciljeve očuvanja okoliša i dekarbonizacije energetskega sektora.

Najveći proizvođač električne energije iz hidroelektrana u RH je HEP grupa, s obzirom da su sve velike hidroelektrane u njenom vlasništvu. Proizvodnja električne energije u hidroelektranama za HEP grupu od inozemne je važnosti jer udio hidroelektrana u ukupnim proizvodnim kapacitetima premašuje 50%. Najveći dio prihoda koji grupa ostvaruje odnosi se na prihode od prodaje električne energije, a proizvedena količina unutar grupe izravno ovisi o hidrološkim prilikama. Kada gledamo rashode HEP grupe, najveći udio u rashodima otpada na nabavu energetskega goriva i nabavu električne energije. S obzirom da je proizvodnja

električne energije u termoelektranama i nabavka energije na tržištu u pravilu skuplja, više ili manje energije proizvedene u hidroelektranama izravno utječu na poslovne rezultate HEP grupe. Ukupna proizvodnja električne energije u hidroelektranama varira ovisno o hidrološkim prilikama, a isto se može reći i za financijske rezultate HEP grupe.

Uz pružanje pomoćnih usluga i usluga uravnoteženja, ključnih za integraciju ostalih obnovljivih izvora energije, hidroelektrane imaju sposobnost pohrane viškova energije u reverzibilnim hidroelektranama. Skladištenje energije je jedna od ključnih tehnologija koja će doprinjeti energetske tranziciji i implementaciji dodatnih kapaciteta OIE i osigurati fleksibilnost i stabilnost elektroenergetskog sustava. Pohranjena energija se može koristiti u vrijeme vršnih opterećenja i tako omogućiti smanjenje korištenja termoelektrana i uvoz električne energije. Izgradnja reverzibilnih hidroelektrana je bila zapostavljeno jedno vrijeme jer je profitabilnost poslovanja bila ispod zadovoljavajuće. Porastom udjela varijabilnih OIE, reverzibilne hidroelektrane opet dobivaju na važnosti, što dokazuje veliki broj projekata koji su u razvoju u zadnje vrijeme.

S obzirom da RH ima veliki neiskorišteni hidropotencijal i dugu tradiciju gradnje hidroenergetskih postrojenja, višenamjenski projekti, postojeći i oni koji će se razvijati u budućnosti, trebali bi ponovno ući u fokus energetske razvoja RH. Angažiranje domaćih stručnjaka koji rade na razvoju projekata i domaćih poduzeća koji bi sudjelovali u izgradnji objekta imali bi bitan doprinos industrijskom rastu i ukupnom gospodarskom razvoju. Hidroelektrane su 85-90% domaći proizvod, a ostatak se odnosi na elektromehaničku opremu koja se uvozi. Navedeno bi imalo pozitivan utjecaj na građevinski sektor, metaloprerađivačku i elektroindustriju RH. Prilikom izgradnje novih postrojenja treba maksimalno uključiti lokalnu zajednicu, težiti višenamjenskim projektima i veliku pozornost posvetiti zaštiti okoliša i društva od mogućih negativnih posljedica izgradnje. S obzirom na očekivano povećanje kapaciteta varijabilnih obnovljivih izvora energije, dodatni kapaciteti reverzibilnih i akumulacijskih hidroelektrana bi bili jako korisni za elektroenergetski sustav u cjelosti.

LITERATURA

1. EIB (2019): Environmental, Climate and Social Guidelines on Hydropower Development. Dostupno na: https://www.eib.org/attachments/eib_guidelines_on_hydropower_development_en.pdf
2. EIHP (2019): Analize i podloge za izradu Strategije energetskeg razvoja Republike Hrvatske, Bijela knjiga. Dostupno na: <https://mzoe.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA%20ZA%20ENERGETIKU/Strategije.%20planovi%20i%20programi/BIJELA%20KNJIGA%20--%20Analiza%20i%20podloge%20za%20izradu%20Strategije%20energetskeg%20razvoja%20Republike%20Hrvatske.pdf>
3. EIHP: Mogućnosti prihvata OIE u hrvatski elektroenergetski sustav. Dostupno na: https://www.hops.hr/page-file/EmAh2un804ADLafyW6W1B6/vjetroelektrane/Mogu%C4%87nosti_prihvata_obnovljivih_izvora_energije_u_hrvatski_elektroenergetski_sustav_-_sa%C5%BEetak.pdf
4. Elektroprojekt (2016): Studija o utjecaju na okoliš HES Kosinj. Dostupno na: https://mzoe.gov.hr/UserDocsImages/ARHIVA%20DOKUMENATA/ARHIVA%20--%20PUO/2017/studija_o_utjecaju_na_okolis_26.pdf
5. Europska komisija (2018): Guidance on The requirements for hydropower in relation to Natura 2000. Dostupno na: <https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/docs/Hydro%20final%20May%202018.final.pdf>
6. Hrvatske vode (2019): Plan upravljanja vodnim područjima 2022.-2027., Pregled hidroenergetskog korištenja voda za potrebe izrade plana upravljanja vodnim područjima. Dostupno na: https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/program_rada_plana_2022.-2027.pdf
7. Gelo, T. (2010) Makroekonomika energetskeg tržišta. Zagreb: Politička kultura
8. Gelo, T. (2018). Energetska tranzicija i novi model energetskeg tržišta. Dostupno na: <http://web.efzg.hr/repec/Chapters/chapter18-17.pdf>
9. Gelo, T. (2019) Determinante tržišta električne energije (nastavni material za kolegij tržište električne energije), Zagreb, Sveučilište u Zagrebu Ekonomski fakultet

10. IHA (2020) Hydropower status report: sector insights and trends. Dostupno na: https://www.hydropower.org/sites/default/files/publications-docs/2020_hydropower_status_report.pdf
11. HEP ODS: Godišnje izvješće za 2019. godinu. <https://www.hep.hr/ods/ot-nama/publikacije-229/godisnja-izvjesca-230/230>
12. HEP: Izvješće o poslovanju i održivosti HEP grupe od 2013. – 2019. godine Dostupno na: <https://www.hep.hr/o-hep-grupi/publikacije/godisnje-izvjesce/62>
13. HOPS: Godišnje izvješće o sigurnosti opskrbe za 2019. godinu, <https://www.hops.hr/godisnji-izvjestaji>
14. HROTE: Izvještaj o radu EKO bilančne grupe u 2019. godini. Dostupno na: http://files.hrote.hr/files/EKO_BG/DOKUMENTI/EKO_bilancna_grupa_godisnji_izvijestaj_za_2019.pdf
15. Hrvatska komora inženjera građevinarstva (2012): Program iskorištenja slobodnog hidropotencijala. Dostupno na: http://digarhiv.gov.hr/arhiva/1238/88784/www.hkig.hr/fdsak3jnFsk1Kfa/izdvojeno/Program_iskoristenja_slobodnog_hidropotencijala_u_Republici_Hrvatskoj.pdf
16. Kalea, M. (2007) Električna energija. Zagreb: Kigen d.o.o.
17. Kalea, M. (2014) Dan HEP-a, uz 119 godina elektroprivredne djelatnosti u Hrvatskoj. HEP Vjesnik [online], ljetni dvobroj 277-278/317-318. Dostupno na: <https://www.hep.hr/UserDocsImages//dokumenti/vjesnik/2014//278.pdf>
18. Kosić, D. (2016) Sustavi pohrane električne energije. Diplomski rad. Osijek: Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija. Dostupno na: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/etfos:1092/preview>
19. Krajačić, Goran (2012) Uloga skladištenja energije u planiranju potpuno obnovljivih energetske sustava. = The role of energy storage in planning of a 100% renewable energy systems. Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje. Dostupno na: <http://repozitorij.fsb.hr/2084/>
20. Stojić, P. (1995) Hidroenergetika. Split: Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu
21. Udovičić, B. (1983) Elektronenergetika. Zagreb: Školska knjiga
22. Udovičić, B. (1993) Energetika. Zagreb: Školska knjiga

23. WINDLIPS: Regulacija frekvencije i radne snage te važnost konstante tromosti u elektroenergetskom sustavu s velikim udjelom vjetroelektrana Dostupno na: <http://windlips.com/wp-content/uploads/2019/02/Power-regulation-and-grid-inertia-report.pdf>

Korištene internet stranice:

1. <https://ec.europa.eu>
2. <https://www.energy.gov>
3. <https://www.irena.org>
4. <https://www.hydropower.org>
5. <https://mzoe.gov.hr>
6. <http://windlips.com>
7. <https://www.hep.hr>
8. <https://www.hops.hr>
9. <https://www.eib.org>
10. <http://www.hrote.hr>
11. <https://www.hera.hr/>
12. <http://www.vis-viva-energija.com/>
13. <https://www.evwind.es/>
14. <https://www.eib.org>
15. <http://bioteka.hr>
16. <http://digarhiv.gov.hr>
17. <https://www.entsoe.eu>
18. <https://www.ieee.hr>
19. <https://www.menea.hr>

POPIS SLIKA

Slika 1. Opća shema hidroelektrane	6
Slika 2. Pojednostavljeni prikaz protočne hidroelektrane	8
Slika 3. Pojednostavljeni prikaz akumulacijske hidroelektrane	9
Slika 4. Pojednostavljeni prikaz reverzibilne hidroelektrane	10
Slika 5. Instalirani kapaciteti hidroelektrana u svijetu od 1900. - 2017. godine	13
Slika 6. Zemlje članice ENTSO-e	24
Slika 7. Prijenosna mreža RH	25
Slika 8. Potrošnja na mreži prijenosa Republike Hrvatske za 2019. godinu	25
Slika 9. Karta hrvatske s distribucijskim područjima HEP ODS-a	26

Slika 10. Proizvodni objekti, prijenosna i distribucijska mreža HEP grupe	30
Slika 11. Fleksibilnost elektroenergetskog sustava.....	38
Slika 12. Vremenska dinamika izgradnje VE u Hrvatskoj.....	41
Slika 13. Formula izračuna MAE i RMSE	42
Slika 14. Prikaz osnovnih pokazatelja kvalitete prognoze rada vjetroelektrana za dan unaprijed.....	43
Slika 15. Prikaz osnovnih pokazatelja kvalitete prognoze vjetroelektrana unutar dana isporuke.....	44
Slika 16. Maksimalna pozitivna i maksimalna negativna promjena satne proizvodnje VE u mjesecu	45
Slika 17. Podjela sustava za pohranu električne energije prema obliku energije koja se koristi	48
Slika 18. Snaga elektrana do 2050. godine prema scenariju S2 i S1	50
Slika 19. HES Senj danas.....	57

POPIS TABLICA

Tablica 1. Ukupna priključna snaga elektrana na prijenosnoj i distribucijskoj mreži u 2019. godini	27
Tablica 2. Velike HE u hrvatskom EES-u.....	29
Tablica 3. Ukupni iznos troška nabave električne energije i energetske goriva za 2014. godinu i 2017. godinu.....	34
Tablica 4. Usporedba godišnjih troškova uravnoteženja za 5 scenarija integracije VE	46
Tablica 5. Hidroelektrane koje pružaju pomoćne usluge u 2019. godini	47
Tablica 6. Hidroenergetski potencijal vodotoka u Hrvatskoj	52
Tablica 7. Potencijal vodotoka za izgradnju projekata velikih hidroelektrana.....	53
Tablica 8. Potencijal vodotoka za izgradnju projekata crpnih hidroelektrana	53

Tablica 9. Potencijal vodotoka za izgradnju projekata malih hidroelektrana	54
Tablica 10. Projekti velikih hidroelektrana u planu izgradnje	55

POPIS GRAFIKONA

Graf 1. Države s najvećim dodatnim instaliranim kapacitetima u 2019.god. (MW)	14
Graf 2. Ukupni investicijski troškovi po kWh instalirane snage u hidroelektranama od 2010. do 2019. godine u svijetu	17
Graf 3. LCOE hidroelektrana od 2010. do 2019. godine u USD/KWh	19
Graf 4. Ukupna proizvodnja električne energije u HE u razdoblju od 2008. do 2018. godine (GWh).....	28
Graf 5. Udio proizvodnje HE u ukupnoj potrošnji za razdoblje od 2008. - 2018. godine	28
Graf 6. Struktura prihoda HEP-a za 2019. godinu po djelatnostima	32
Graf 7. Struktura rashoda HEP-a za 2019. godinu.....	32
Graf 8. Ukupni prihodi i rashodi od poslovnih aktivnosti i neto dobit nakon poreza HEP grupe u razdoblju od 2013. do 2019. godine.....	33
Graf 9. Ukupna proizvodnja hidroelektrana, termoelektrana i nabava električne energije HEP grupe od 2013. godine do 2019. godine	34
Graf 10. Dnevni dijagram opterećenja na prijenosnoj mreži na dan 15.09.2020.	49