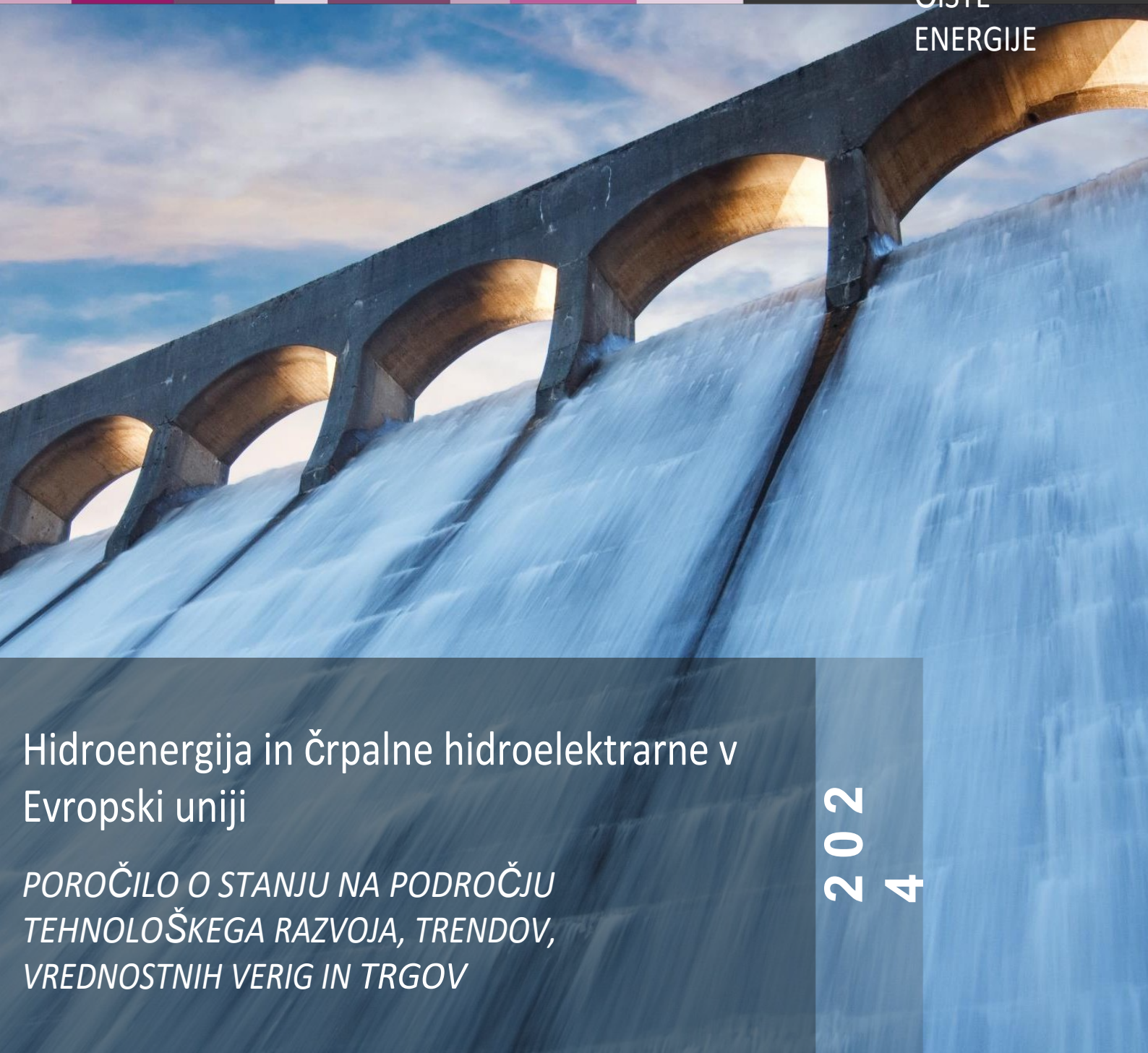




European
Commission

OBSERVATORIJ
ZA
TEHNOLOGIJO
ČISTE
ENERGIJE



Hydroenergija in črpalne hidroelektrarne v Evropski uniji

*POROČILO O STANJU NA PODROČJU
TEHNOLOŠKEGA RAZVOJA, TRENDOV,
VREDNOSTNIH VERIG IN TRGOV*

2024

Ta dokument je publikacija Skupnega raziskovalnega središča (JRC), službe Evropske komisije za znanost in znanje. Njegov namen je zagotoviti z dokazi podprto znanstveno podporo procesu oblikovanja evropskih politik. Vsebina te publikacije ne odraža nujno stališča ali mnenja Evropske komisije. Niti Evropska komisija niti katera koli oseba, ki deluje v njenem imenu, ni odgovorna za morebitno uporabo te publikacije. Za informacije o metodologiji in kakovosti podatkov, uporabljenih v tej publikaciji, katerih vir ni Eurostat ali druge službe Komisije, se morajo uporabniki obrniti na navedeni vir. Uporabljena poimenovanja in predstavitve gradiva na zemljevidih ne pomenijo, da Evropska unija izraža kakršno koli mnenje o pravnem statusu katere koli države, ozemlja, mesta ali območja ali njihovih organov ali o razmejitvi njihovih meja ali mej.

Kontaktne podatki

Ime: Emanuele Quaranta

Naslov: Via Enrico Fermi 2749, 21027, Ispra (VA), Italija

Elektronska pošta: Emanuele.quaranta@ec.europa.eu

Znanstveno vozlišče EU

<https://joint-research-centre.ec.europa.eu>

JRC139225

40067 EUR

PDFISBN 978-92-68-20966-0 ISSN 1831-9424 doi:10.2760/8354439

KJ-01-24-070 SL-N

Luxembourg: Urad za publikacije Evropske unije, 2024

© Evropska unija, 2024



Politika ponovne uporabe dokumentov Evropske komisije se izvaja s Sklepom Komisije 2011/833/EU z dne 12. decembra 2011 o ponovni uporabi dokumentov Komisije (UL L 330, 14.12.2011, str. 39). Če ni drugače navedeno, je ponovna uporaba tega dokumenta dovoljena pod licenco Creative Commons Priznanje avtorstva 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). To pomeni, da je ponovna uporaba dovoljena pod pogojem, da se ustrezno navede avtorstvo in označijo morebitne spremembe.

Za vsako uporabo ali reprodukcijo fotografij ali drugega gradiva, ki ni v lasti Evropske unije, je treba za dovoljenje zaprositi neposredno imetnike avtorskih pravic.

- Ilustracija na naslovnici, © Fotolia

Kako citirati to poročilo: Quaranta, E., Georgakaki, A., Letout, S., Mountraki, A., Ince, E. in Gea Bermudez, J., *Opazovalnica za tehnologijo čiste energije: Poročilo o stanju na področju tehnološkega razvoja, trendov, vrednostnih verig in trgov*, Urad za publikacije Evropske unije, Luxembourg, 2024, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/8354439>, JRC139225.

Vsebina

Povzetek	1
Predgovor	2
Zahvala	3
Povzetek	4
1 Uvod	8
1.1 Tehnologija hidroenergije.....	8
1.1.1 Vrste hidroelektrarn in opredelitve pojmov.....	8
1.1.2 Sestavni deli hidroelektrarne.....	9
1.2 Politično ozadje.....	11
1.3 Povezava z drugimi tehnologijami CETO	14
1.4 Metodologija in viri podatkov	14
2 Najsodobnejše tehnologije, prihodnji razvoj in trendi.....	16
2.1 Stopnja tehnološke pripravljenosti (TRL).....	16
2.2 Število elektrarn, inštalirana zmogljivost in proizvodnja	18
2.2.1 Število pregrad in jezov	18
2.2.2 Instalirana električna moč in letna proizvodnja.....	18
2.2.3 Poudarek na črpalni hidroelektrarni	25
2.2.4 Shranjevanje energije v sistemih PSH in RSHP	26
2.3 Prihodnji trendi, trajnostni potencial in skrite priložnosti	29
2.3.1 Uvod	29
2.3.2 POTEnCIA's CETO 2024 Scenario projections	30
2.3.3 Tekoči projekti.....	32
2.3.4 Trajnostni potencial za hidroenergijo in PSH.....	33
2.3.5 Vloga Evropske investicijske banke v hidroenergetskem sektorju.....	39
2.4 Stroški tehnologije Sedanji in potencialni prihodnji trendi.....	40
2.5 Javno financiranje R&I.....	43
2.6 Zasebno financiranje raziskav in razvoja	45
2.7 Trendi patentiranja.....	50
2.8 Trend znanstvenih objav.....	53
2.9 Ocena razvoja projektov R&I.....	55
3 Analiza vrednostne verige.....	59
3.1 Obrat.....	59
3.2 Bruto dodana vrednost	59
3.3 Okoljska, socialna in gospodarska trajnost	61
3.3.1 Trajnostni kazalniki in orodja za ocenjevanje	61
3.3.2 Dodatni premisleki.....	62
3.3.3 Izzivi, povezani z rezervoarji z večnamensko rabo.....	64
3.3.4 Sektor hidroenergije za ženske in mlade	65

3.4	Vloga podjetij EU's Companies	68
3.5	Zaposlovanje	68
3.6	Energetska intenzivnost / Produktivnost dela / Proizvodnja	70
4	Tržni položaj EU in globalna konkurenčnost	73
4.1	Global & EU market leaders: role of EU's companies	73
4.2	Trgovina (uvoz/izvoz) in trgovinska bilanca	74
4.3	Učinkovitost in odvisnost virov v povezavi s konkurenčnostjo EU	78
5	Sklepi	80
	Dodatek 1: Trajnostni kazalniki	82
	Reference	84
	Seznam kratic in opredelitev pojmov	94
	Seznam slik	96
	Seznam tabel	98
	Priloga 1 Zbirna tabela virov podatkov za kazalnike CETO	99
	Priloga 2: podrobnosti o naložbah	100
	Priloga 3: podrobnosti o patentih	101
	Priloga 4: Modeli in scenariji: POTEnCIA in POLES	102
4.1.1	Pregled modela	102
4.1.2	Scenarij POTEnCIA CETO 2024	103
4.2	Model POLES-JRC	104
4.2.1	Pregled modela	104
4.2.2	POLES-JRC Opis modela	105
4.2.3	Globalni scenarij CETO 2°C 2024	106
4.3	Razlike za scenarije CETO 2024 - POLES-JRC proti POTEnCIA	107
	Priloga 5: Potencial PSH	108

Povzetek

Novosti v sektorju obnovljivih in čistih virov energije so nastale zaradi energetske krize, ki jo je povzročila vojna proti Ukrajini, in nekaterih najhujših suš, ki jih je Evropa doživela leta 2022. Regionalne cene električne energije so se zvišale na višje ravni, kot so bile zabeležene leta 2020. To je povzročilo dolgotrajne razprave po vsej Evropi o nestanovitnosti cen in zanesljivosti oskrbe. Da bi okrepila odpornost trga z električno energijo, je EU iskala načine za optimizacijo trga z električno energijo, da bi se spopadla z nestanovitnostjo cen, nadalje pospešila naložbe v obnovljive vire energije ter povečala prožnost in odpornost elektroenergetskega sistema. To je vključevalo načrt REPowerEU iz maja 2022, ki si je prizadeval za diverzifikacijo oskrbe z energijo in zmanjšanje odvisnosti od uvoženih fosilnih goriv, varčevanje z energijo ter pospešitev uvajanja obnovljivih virov energije.

V tem okviru je Evropska komisija leta 2022 ustanovila Opazovalni center za tehnologijo čiste energije (CETO), da bi pomagala pri obravnavi zapletenosti in večplastnosti prehoda v podnebno nevtralno družbo v Evropi. The EU's ambitious energy and climate policies create a necessity^a, da bi se celovito spopadla s povezanimi izzivi in pri tem priznala pomembno vlogo naprednih tehnologij in inovacij. Hidroenergija je vključena v CETO in je tema tega dokumenta, ki posodablja izdajo iz leta 2023^a.

Energetska kriza je poudarila ključno vlogo hidroenergije pri zagotavljanju stabilnosti omrežja in dislocirane proizvodnje. Črpalne hidroelektrarne zagotavljajo več kot 90 % skladiščenja energije, hidroelektrarne, opremljene z rezervoarjem, pa lahko zagotavljajo tudi skladiščenje vode in energije ter večnamenske storitve. Vendar lahko jezovi v sladkovodnih in obalnih vodnih sistemih povzročijo okoljsko škodo. Ker so evropske reke močno razdrobljene, je to povzročilo oviranje migracij rib; zato so za doseganje dobrega stanja površinskih voda potrebni omilitveni ukrepi, s katerimi se bo mogoče spopasti tudi s škodljivim vplivom hidroelektrarn na vodno okolje. Trajnostna hidroenergija mora doseči dobro ravnovesje med proizvodnjo električne energije in storitvami električnega omrežja, vplivi na ekosisteme in koristni za družbo, kar podpira doseganje ciljev zelenega dogovora ter ciljev obnovljivih virov energije in vodne/okoljske politike.

V tem poročilu je poudarjeno, da v Evropski uniji obstaja več možnosti za trajnostno hidroenergijo, kot so: [posodobitev](#) obstoječega hidroenergetskega parka, [integracija in hibridizacija](#) hidroenergije z drugimi energetske tehnologijami ([plavajoča fotovoltaika](#), [pridobivanje toplote iz generatorjev](#), [baterije](#)), izkoriščanje [skrite hidroenergije](#) v vodovodnih in kanalizacijskih distribucijskih omrežjih, hidroenergija v obstoječih in neodstranljivih [ovirah](#) (npr. vodni mlini) ter [hidrokinetične turbine](#). Možne so tudi nove trajnostne rešitve za shranjevanje vode in energije, npr. novi črpalno-akumulacijski hidroenergetski sistemi, ustvarjeni s [povezovanjem rezervoarjev](#) ali izkoriščanjem [opuščenih odprtih rudnikov](#). Tudi [digitalizacija](#) se pojavlja kot ustrezna strategija za ublažitev vplivov ob rekah in optimizacijo proizvodnje hidroenergije ob upoštevanju vremenskih, tehničnih, tržnih in okoljskih dejavnikov. Večnamenski rezervoarji so potencialna rešitev za spopadanje s podnebnimi spremembami, povečanim povpraševanjem po vodi ter zagotavljanje prožne energije in skladiščenja, vendar so povezani tudi s stroški in izzivi.

Iz poročila je razvidno, da ima evropski hidroenergetski sektor vodilno vlogo na svetovni ravni, saj ima največji delež izvoza in izumov visoke vrednosti. EU je zelo dejavna na področju znanstvenih publikacij, glavna konkurentka pa je Kitajska. Zato je hidroenergetika ključni sektor za krepitev konkurenčnosti EU v svetu, ki je vse bolj poln izzivov (npr. energetska kriza, podnebne spremembe, zeleni in digitalni prehod ter konkurenčnost gospodarstev v vzponu). Poročilo spremlja tudi gibanje naložb, glavne raziskovalne projekte, ki jih financira EU, in kritično obravnava nekatere socialno-ekonomske in trajnostne kazalnike ter jih primerja s kazalniki drugih tehnologij čiste energije. Obravnavani so tudi izzivi, zlasti okoljski in politični, da bi spodbudili prihodnje raziskave in razprave ter osvetlili trenutno stanje teh tehnologij.

^a https://setis.ec.europa.eu/hydropower-and-pumped-hydropower-storage-european-union-0_en

Predgovor

Evropska komisija je leta 2022 ustanovila opazovalnico za tehnologijo čiste energije (CETO), da bi pomagala celovito obravnavati zapletenost in večplastnost prehoda v podnebno nevtralno družbo v Evropi. The EU's ambitious energy and climate policies create a necessity to tackle the related izzive ter pri tem priznala pomembno vlogo naprednih tehnologij in inovacij v tem procesu.

CETO je skupna pobuda Skupnega raziskovalnega središča (JRC) Evropske komisije, ki vodi observatorij, ter generalnih direktorats za raziskave in inovacije (R&I) ter za energijo (ENER) na področju politike. Njegovi splošni cilji so:

- spremlja raziskovalne in inovacijske dejavnosti EU na področju tehnologij čiste energije, ki so potrebne za izvajanje evropskega zelenega posla.
- oceniti konkurenčnost sektorja čiste energije v EU in njegov položaj na svetovnem energetske trgu.
- graditi na obstoječih študijah Komisije, ustreznih informacijah in znanju služb in agencij Komisije ter observatoriju za nizkoogljično energijo (2015-2020).
- objavljanje poročil na spletni platformi SETIS za strateški načrt za energetske tehnologije ([načrt SET](#)).

CETO zagotavlja zbirko tehnično- in socialno-ekonomskih podatkov o najpomembnejših tehnologijah in njihovem vključevanju v energetske sistem. Osredotoča se zlasti na stanje in napovedi za inovativne rešitve ter trajnostno tržno uveljavitev zrelih in inovativnih tehnologij.

technologies. The project serves as primary source of data for the Commission's annual progress poročila o [konkurenčnosti tehnologij čiste energije](#). Podpira tudi izvajanje in razvoj raziskovalne in inovacijske politike EU.

Observatorij pripravlja vrsto letnih poročil, ki obravnavajo naslednje teme:

- Stanje, vrednostne verige in trg tehnologij čiste energije: zajema napredna biogoriva, baterije, bioenergijo, zajemanje in shranjevanje ogljika, koncentrirano sončno energijo in toploto, geotermalno toploto in energijo, toplotne črpalke, hidroenergijo in črpalno hidroenergijo, nove tehnologije za shranjevanje električne energije in toplote, energijo oceanov, fotovoltaike, obnovljiva goriva nebiološkega izvora (drugo), obnovljivi vodik, sončna goriva (neposredna) ter veter (na morju in kopnem).
- Vključevanje tehnoloških sistemov za čisto energijo: tehnologije, povezane s stavbami, digitalna infrastruktura za pametne energetske sisteme, industrijsko in daljinsko upravljanje toplote in hladu, samostojni sistemi, prenosne in distribucijske tehnologije, pametna mesta ter inovativni nosilci energije in oskrba v prometu.
- Analiza predvidevanj za prihodnje tehnologije čiste energije z uporabo analize šibkih signalov
- Napovedi o čisti energiji: Analiza in kritični pregled
- Modeliranje energetskega sistema za scenarije čiste energetske tehnologije
- Splošna strateška analiza tehnološkega sektorja čiste energije

Več podrobnosti je na voljo na [spletnih straneh CETO](#)

Zahvala

Avtorji so zelo hvaležni za prispevke naslednjih sodelavcev:

sodelavcem JRC Nigelu TAYLORJU (vodja projekta CETO, JRC), Giulii SERRA (ENER) in Thomasu SCHLEKERJU (RTD) za usklajevanje, podporo, pregled in pripombe.

2024 zahvale: Daniela Anghileri (GD JRC) je pregledala poročilo. Vera Kissler (GD ENER) in Diar Isid (GD ENV) sta podala pripombe in pregledala nekatera poglavja. Thomas Schleker (GD RTD) je podal nekaj pripomb. Luciano Canale iz Evropske investicijske banke je napisal poglavje 2.3.5. Zahvaljujemo se tudi: Rebeci Ellis in Matteu Bianciotto iz Mednarodnega združenja za hidroenergijo (IHA) za pregled poročila ter Adrianu Lindermuthu iz podjetja Eurelectric za splošne predloge. Barbara Fischer-Aupperle iz GWNET (Globalna ženska mreža za energetski prehod) in Eduard Doujak (TU Wien in koordinator CA21104) sta prispevala k poglavju 3.3.4. Timothy Weber z Avstralske nacionalne univerze je pripravil preglednico 9. Peter Salomon (JRC) je pregledal odstavek o poplavah v poglavju 1.2. Naslednjim zainteresiranim stranem za zagotavljanje informacij o stroških za NZIA: Adrian

Lindermuth of Eurelectric, Francesco Puddu and Matej Zaluberšek of Scotta Turboinštitut d.o.o., Peter Stettner iz podjetja Andritz Hydro, Ana Cristina Nunes iz podjetja EDP, Kale Kübra iz podjetja Voith Hydro, Janne Ala iz podjetja Kemijoki.

Avtorji se zahvaljujejo skupinam za modeliranje energetskih sistemov JRC.C.6, ki so zagotovile energetske scenarije: POTEnCIA: Wegener, M., Jaxa-Rozen, M., Salvucci R., Neuwahl, F., R., Sikora, P., in Rózsai, M.; iz POLES: Schmitz A., Schade B., Keramidas, K., Fosse, F., Dowling, P, Russ, P.

2023 zahvale: Mario Bachhiesl iz podjetja VGBE Energy ter podjetjema Voith Hydro in Uniper za pripombe na prvi del poročila. Giancarlu Giudici iz Politecnico di Milano (Italija) za pripombe k poglavju 2.7. Julianu Davidu Huntu z Mednarodnega inštituta za uporabno sistemsko analizo (Avstrija) za pregled poglavja 2.3. Colinu Sasthavu iz Urada za tehnologije vodne energije | Ministrstvo za energijo Združenih držav Amerike za pregled podatkov, povezanih z ZDA, v poglavju 2.5. Alain Kilajian z IHA je pregledal poglavje o standardu za trajnostno rabo vodne energije (poglavje 3.3). Barbara Fischer-Aupperle iz GWNET (Globalna ženska mreža za energetski prehod) in Debbie Gray iz IHA sta prispevali k poglavju 3.3.4. Kolegu Albertu Pistocchiju za pregled poročila.

2022 zahvale: recenzenti celotnega poročila Atle Harby (Norveška), Aonghus Mc. Nabola (Irska), Juan I. Pérez-Díaz (Španija), Helena M. Ramos (Portugalska), Anton J. Schleiss (Švica). Posebna zahvala sodelavcu JRC Albertu Pistocchiju za pregled poročila 2022 in za podporo pri raziskovalni dejavnosti SustHydro (Sustainable hydropower to solve the controversy between renewable hydroenergy and ecosystem protection), ki jo v JRC koordinira Emanuele Quaranta. Mednarodnemu združenju za hidroenergijo (IHA) za prispevek k posvetovanju z deležniki (Rebecca Ellis, Eddie Rich, David Samuel, Matteo Bianciotto, Alex Campbell, Anna Warren).

Avtorji

Emanuele QUARANTA, Aliko GEORGAKAKI, Simon LETOUT, Aikaterini MOUNTRAKI, Ela INCE, Juan GEA BERMUDEZ.

Povzetek

Vodna energija je trenutno največja nizkoogljčna in obnovljiva tehnologija za proizvodnjo električne energije s 1416 GW svetovne inštalirane zmogljivosti in 4185 TWh proizvedene električne energije v letu 2023. Črpalne hidroelektrarne (ČHE) po vsem svetu trenutno zagotavljajo regulacijo, rezervo vrtenja in približno 96 % skladiščenja energije v javnem sektorju (brez tradicionalnih hidroelektrarn brez črpalne zmogljivosti). V Evropski uniji (EU) je bila leta 2023 inštalirana zmogljivost hidroelektrarn 152 GW, proizvedenih pa je bilo približno 300 TWh (PSH adsorbira in je leta 2022 proizvedla približno 40 TWh), kar je drugi največji delež iz obnovljivih virov energije, takoj za vetrno energijo. Trenutno je v EU 46 GW PSH (turbinske zmogljivosti), kar je četrtnina svetovne inštalirane zmogljivosti (50,9 GW na Kitajskem). IRENA's and World Bank's analysis identified hidroenergija kot trenutno ena najcenejših oblik proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov (če pogledamo levelizirane stroške električne energije, LCOE, v življenjski dobi), kljub visokim začetnim naložbenim stroškom.

Hidroenergetika je kompleksen in zahteven sektor znotraj povezave voda-energija-prehrana-ekosistem (WEFE) (SWOT v preglednici 1). Veliki vodni zbiralniki, ne le za hidroenergijo, vplivajo na hidrosfero, biosfero, litosfero, antroposfero in ozračje. Na spletni strani

crosscutting effects of hydropower, and its interactions with the Earth's spheres, make hydropower pomembne za več politik, ki imajo pogosto različne cilje. Zato je treba pri trajnostni hidroenergiji doseči dobro ravnovesje med proizvodnjo čiste električne energije ter vplivi (in koristmi) na okolje in družbo.

Hidroelektrarne so dispečerske, tiste z rezervoarjem pa lahko tudi shranjujejo priteklo vodo (tj. energijo) in jo pozneje sprostijo, medtem ko lahko PSH absorbira tudi presežek električne energije v omrežju, kar omogoča vključitev nestanovitne proizvodnje energije iz nedispečerskih virov energije (npr. vetrnih in sončnih elektrarn). Zato je hidroenergija obnovljiv in prilagodljiv vir energije, ki prispeva k prožnemu energetskega sistema ter zagotavlja stabilnost omrežja (preprečuje izpade) in pomožne storitve. Zato ima hidroenergija ključno vlogo v dolgoročnih scenarijih dekarbonizacije (tj. scenarij NZ2050) in prispeva k doseganju ciljev glede obnovljivih virov energije, določenih v Direktivi o obnovljivih virih energije (Direktiva 2009/28/ES) in REPowerEU. Poleg tega imajo lahko večnamenski hidroenergetski projekti in veliki jezovi/rezervoarji pomembne dodatne funkcije za družbo: hidroenergija, namakanje in zagotavljanje pitne vode, obvladovanje tveganja poplav in suše, rečna plovba in rekreacija. Po podatkih Mednarodne komisije za velike jezove (ICOLD 2023) je v EU 30 % velikih jezov namenjenih izključno hidroenergiji, 50 % velikih jezov pa ima hidroenergijo (vključno z večnamenskimi jezovi, kjer hidroenergija ni nujno prva uporaba). Po drugi strani so hidroenergetske pregrade, nameščene v sladkovodnih in obalnih vodnih sistemih, vir vpliva na vodno okolje. Ti vplivi so urejeni v okvirni direktivi o vodah (Direktiva

2000/60/EC), which is aimed at the preservation or recovery of the "good ecological status"^{b o} vodna telesa. Nove pregrade lahko prekinajo kontinuiteto reke (tj. migracijo rib in drugih vodnih vrst), rezervoarji povzročajo zajezitve in posledično hidrološke in morfološke spremembe, turbine hidroelektrarn pa lahko povzročijo škodo ribam. V okviru projekta AMBER je bilo leta 2020 v evropskih rekah (EU) ugotovljenih vsaj 630.000 (450.000) pregrad (vendar bi jih lahko bilo v Evropi vsaj 1,2 milijona), medtem ko je število hidroelektrarn v EU ocenjeno na nekaj manj kot 25.000. 90 % hidroelektrarn je majhnih, s kumulativno inštalirano močjo, manjšo od 10 % celotne, zato je lahko kumulativni vpliv majhnih hidroelektrarn na okolje v sladkovodnih sistemih precejšen.

V EU še vedno obstaja neizkoriščen hidroenergetski potencial, npr. nove hidroelektrarne, posodobitev obstoječih hidroelektrarn, digitalizacija obratovanja in razvoj malih hidroelektrarn v obstoječih infrastrukturah ("skrita" hidroelektrarna). Črpalne hidroelektrarne bi lahko dopolnile delovanje obstoječih rezervoarjev in jezer za izboljšanje upravljanja voda. Hibridizacija z drugimi energetskega tehnologijami, npr. plavajočo fotovoltaike na vodnih zbiralnikih, proizvodnjo vodika, hibridizacijo z baterijami in rekuperacijo odpadne toplote, je vse večja. Energija oceanov (plimovanje in valovanje)

^b Ekološko stanje opisuje strukturo in delovanje vodnih ekosistemov, povezanih s površinskimi vodami. Dobro stanje kaže na nizko stopnjo izkrivljenosti vodnega okolja zaradi človekove dejavnosti.

elektrarne uporabljajo turbine, prilagojene iz sektorja hidroelektrarn. Digitalne rešitve, kot so modeliranje napovedi, digitalni dvojčki, nadzor v realnem času in na daljavo, ki so nastajajoče strategije v podporo digitalnemu in zelenemu prehodu EU, se lahko izvajajo za spremljanje in izboljšanje kakovosti okoliškega okolja, izboljšanje splošne učinkovitosti in proizvodnje energije ter za podporo dejavnostim obratovanja in vzdrževanja.

Zgoraj omenjeni izzivi in potrebe zahtevajo odličnost na področju inženirskih znanosti, okoljskega upravljanja in novih inovativnih pristopov k načrtovanju. V tem okviru je Evropska komisija (EK) podprla in podpira več raziskovalnih projektov (v povprečju 10 milijonov EUR na leto v okviru programa Obzorje), ki imajo pomemben znanstveni in tehnični vpliv po vsem svetu. Pojavlja se več tehnologij, ki se še razvijajo (npr. turbine s spremenljivo hitrostjo, nekatera digitalna orodja, rešitve za ublažitev posledic). Nekateri od projektov programa Obzorje, ki jih financira EU, so na primer FITHYDRO (o strategijah za ublažitev, izboljšanju migracij rib in manj vplivnih tehnologijah), X-FLEX (namenjen povečanju prožnosti), HYDRO4EU (ki je namenjen predstavitvi evropske opreme in tehnologij za male hidroelektrarne v Srednji Aziji) in drugi projekti, namenjeni izkoriščanju skritih priložnosti in digitalizaciji (npr. iAMP Hydro). Projekt REHYDRO se je začel leta 2024 na področju trajnostne prenove. Drugi projekti so namenjeni združevanju glasu hidroenergetske industrije (tj. nameravane evropske tehnološke in inovacijske platforme ETIP- Hydropower), da bi Evropski komisiji zagotovili strateško svetovanje na podlagi soglasja, ki zajema analizo tržnih priložnosti, potrebe po financiranju raziskav in razvoja, varstvo biotske raznovrstnosti in ekološko kontinuiteto. Cilj projekta Pen@Hydropower je izboljšati mreženje med znanstveniki s področja hidroenergetike v Evropi. Čeprav je torej tehnična zrelost hidroenergetike dobro uveljavljena, z overall power plant's efficiencies generally exceeding 80%, and that can reach up to 90%, there in evropskem hidroenergetskem sektorju je bilo izvedenih več raziskovalnih programov.

Po številu znanstvenih objav je obseg znanja o hidroenergiji v EU drugi največji na svetu, takoj za Kitajsko. EU in Združene države Amerike (ZDA) gostita vsaka približno 28 % inovativnih podjetij na področju hidroenergetike (glede na naložbe v raziskave in razvoj). Čeprav je Kitajska glavna patentna voditeljica (deloma tudi zaradi drugačnega postopka patentiranja v tej državi), imajo EU, Japonska in Južna Koreja podobne rezultate, nekoliko boljše kot ZDA. 29 % vseh izumov visoke vrednosti na svetu (2019-2021) ima EU, k čemur največ prispevajo Nemčija, Francija, Italija in Poljska. Raziskujejo se nekatere tehnologije z nizko stopnjo pripravljenosti, za katere se pričakuje, da bodo v naslednjih desetletjih postale zrele tehnologije (npr. turbine s spremenljivo hitrostjo in turbine z zelo majhnim nabojem). Zaposlovanje v hidroenergetski industriji zajema različne elemente vrednostne verige, kot so načrtovanje projektov, proizvodnja, gradnja projektov ter obratovanje in vzdrževanje. Zaposlovanje v sektorju na splošno vključuje inženirje, geologe, ekologe, ekonomiste, tehnike in kvalificirane delavce. Prav tako zaposluje znanstvenike, ki delajo v podjetjih in akademskih raziskovalnih in razvojnih dejavnostih. Agencija IRENA ocenjuje, da vsak 1 MW inštalirane hidroelektrarne v lasti skupnosti ustvari deset delovnih mest v ekvivalentu polnega delovnega časa v vsakem letu obratovanja. To je bistveno več kot pri kateri koli drugi tehnologiji obnovljivih virov energije. Leta 2023 je bilo v EU (hidroenergija) 3500 zaposlenih v proizvodnji, 98 000 v gradbeništvu in 240 v raziskavah in razvoju, pri čemer je bilo največ zaposlenih v Avstriji, Nemčiji, Franciji in Italiji, večinoma v osrčju Alp.

Prispevek hidroelektrarn k letnemu bruto domačemu proizvodu (BDP) EU znaša približno 25 milijard EUR, če upoštevamo proizvodnjo električne energije, če pa upoštevamo več storitev, povezanih s hidroelektrarnami, se lahko ta vrednost poveča na 45 milijard EUR. Velik delež davčne vrednosti gre neposredno v lokalne in regionalne proračune ter prispeva k spodbujanju regionalnega razvoja. Približno 3 milijarde EUR dodatno predstavljajo bruto dodane vrednosti, vključno s trgovino s turbinami. Svetovni izvoz velikih turbin v obdobju 2021-2023 je znašal 2,1 milijarde EUR, pri čemer so imele države EU približno 50 % tega deleža (Kitajska je v obdobju 2021-2023 izvozila za 551 milijonov EUR). Vendar se kitajski trg močno povečuje. Realna razežnost celotnega izvoza je veliko večja, če upoštevamo vso opremo (npr. cevi). Precejšen delež naložb v hidroenergetskem sektorju se nanaša na gradbena dela in z njimi povezane svetovalne storitve, ki jih je zelo težko spremljati. Sektor vodne energije EU's je pomembno prisoten v Rusiji, Švici in na Norveškem, saj zagotavlja več kot 70 % njihovega uvoza, ter v Kanadi in ZDA,

prispeva več kot 20 % njihovega uvoza. Veliki evropski upravljavci hidroelektrarn še naprej vlagajo v številne hidroenergetske projekte zunaj Evrope. Obstaja več velikih gradbenih podjetij, ki se po vsem svetu ukvarjajo s projekti hidroelektrarn in jezov. Številna evropska inženirska in svetovalna podjetja ponujajo znanje, strokovno znanje ali svetovanje pri hidroenergetskih projektih v Evropi in zunaj nje. Zaradi tega je EU vodilna v svetu na področju hidroenergetske tehnologije (vključno s črpalnimi hidroelektrarnami). Vodilne 10 EU's hydropower operators established the hidroelektrarne v Zavezništvu, which is committed to advancing sustainable hydropower's role in achieving EU Green Dogovor in Fit za 55 ambicije. Vrednost naložb v hidroenergijo (zgodnje in poznejše naložbe) na prebivalca znaša 0,005 EUR/osebo za EU (2018-2023), medtem ko za ZDA in Kitajsko znaša 0,47 oziroma 0,018. Evropski proizvajalci hidroelektrarn za raziskave in inovacije porabijo več kot 5 % letnega prometa.

Zaradi številnih prednosti hidroenergije (prilagodljivost, izvozna zmogljivost, raziskave in razvoj, patentiranje, zaposlovanje, večnamenskost, če je to dovoljeno z dovoljenjem) se lahko hidroenergija šteje za pomemben sektor za ohranjanje konkurenčnosti EU v svetu. Vendar je izzivov, ki ovirajo uvajanje hidroelektrarn in omejujejo njihovo delovanje, več, najpomembnejši so finančni, regulativni in okoljski, zmanjševanje prihodkov od zagotavljanja pomožnih storitev pa ne zadostuje za pokrivanje fiksnih naložb in upravnih stroškov. Ti izzivi bi morali biti katalizator za celovitejši dialog med zainteresiranimi stranmi (npr. industrijo, akademijo, združenji, državljani in vladnimi institucijami). Hidroenergetski projekti imajo daljši časovni okvir pred razvojem, gradnjo in obratovanjem kot druge tehnologije obnovljivih virov energije, zato so naložbena tveganja za velike hidroenergetske sisteme večja, kar zahteva posebne instrumente politike in spodbude ter dolgoročno politično perspektivo in vizijo. Da bi dosegli široko sprejemljivost in pridobili koristi infrastrukture je treba zasnovati kot večnamenske projekte, ki jih izvajajo multidisciplinarne skupine s kompleksnim sistemskim pristopom. Vendar se je politika obnovljivih virov energije v zadnjih dveh desetletjih osredotočala predvsem na širitev vetrne in sončne fotovoltaične tehnologije (in zniževanje njihovih stroškov). Pri razvoju katere koli tehnologije obnovljivih virov energije je treba objektivno upoštevati kratkoročne in dolgoročne koristi in vplive, da bi ublažili morebitna nasprotja med različnimi cilji (npr. energetske in okoljske cilji) in zainteresiranimi stranmi, izčrpavanje virov (npr. vode, mineralov in materialov) ter zagotovili trajnostno rast v okviru povezave WEFE in ob upoštevanju podnebnih sprememb.

To poročilo posodablja izdajo iz leta 2023.

Preglednica 1. Analiza SWOT družbe CETO za konkurenčnost hidroenergetskega sektorja (s poudarkom na EU).

<p>Moč</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zrela tehnologija, visoka učinkovitost - Velika prožnost, ki zagotavlja oskrbo v času največjega povpraševanja. - Stabilizator mreže - Dolga življenjska doba - Zmogljivost rezervoarjev za shranjevanje (vode in energije) - Večnamenske koristi rezervoarjev in jezov - Najnižji kazalnik tanjšanja ozonskega plašča, najvišje razmerje povrnjene energije na vloženo energijo med tehnologijami za proizvodnjo električne energije, najnižji pritisk na mineralne vire in eden najnižjih vodnih odtisov med gradnjo in proizvodnjo na GWh. - EU je vodilna na področju znanstvenih raziskav, tehnoloških inovacij, izvoza - Vodne turbine in generatorji so običajno veliko večji in težji od drugih proizvodnih tehnologij, zato imajo lahko pomembno vlogo pri stabilnosti frekvence v omrežju. 	<p>Slabost</p> <ul style="list-style-type: none"> - Okoljski in socialni vplivi, povezani z gradnjo novih pregrad (in jezov) ter zmanjševanjem obstoječih, zahtevajo pomembne in drage omilitvene ukrepe (npr. habitati, migracije rib, hidropeaking, hidromorfološke spremembe). V rezervoarjih: sedimentacija, zajezitev, izhlapevanje, emisije ogljika in metana se lahko pojavijo v posebnih okoliščinah. - Omejene možnosti za povečanje zmogljivosti velikih hidroelektrarn - Dolga gradbena obdobja in velike naložbene potrebe/tveganja velikih elektrarn - Dodatne ugodnosti niso vse plačane
<p>Priložnosti</p> <ul style="list-style-type: none"> - Skriti potencial v obstoječih objektih v vodnem sektorju (npr. infrastruktura vodovodnega omrežja). - privlačno za elektrifikacijo podeželja in decentralizirano elektrifikacijo v državah v razvoju - Vključevanje nestalnih obnovljivih virov energije s črpalnimi hidroelektrarnami - V EU je potrebna posodobitev hidroenergetske infrastrukture, ki lahko prinese dodatne koristi - Še vedno obstaja nekaj možnosti za povečanje črpalne hidroenergije (povezovanje obstoječih rezervoarjev, opuščeni rudniki). - Možnost hibridizacije z drugimi energetske tehnologijami - Novi rezervoarji na visoki nadmorski višini z uporabo novih jezer, ki so nastala zaradi umikanja ledenikov - Izvozni potencial elektromehanske opreme - Novi rezervoarji lahko pomagajo pri blaženju podnebnih sprememb v sušnih obdobjih ali z blaženjem poplav. dogodki 	<p>Grožnje</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bistvene negotovosti v dolgih postopkih odobritve - Podnebne spremembe lahko povečajo ali zmanjšajo razpoložljivost vode in njeno letno porazdelitev. - Zmanjšanje proizvodnje zaradi višjih zahtev glede izpustov okoljskega pretoka - Izguba prostornine rezervoarjas' zaradi sedimentacije - V EU je treba izboljšati tržna pravila in nadomestiti dodatne koristi - Izguba znanja zaradi nizke privlačnosti tradicionalnih inženirskih področij za mlade strokovnjake - Zmerna ozaveščenost javnosti o prednostih hidroenergije

1 Uvod

1.1 Tehnologija hidroenergije

1.1.1 Vrste hidroelektrarn in opredelitve pojmov

Tradicionalna hidroenergija je obnovljiv vir energije, ki hidravlično (vodno) moč (potencialno in kinetično) s pomočjo vrteče se turbine pretvarja v mehansko moč, s priključitvijo na električni generator pa v električno energijo (slika 1). Vodna energija ne uporablja goriv, zato je čisti vir energije. Vendar pa lahko pri postavitvi novih pregrad na sladkovodnih rekah nastanejo vplivi (za več podrobnosti glej oddelek 3.3). Vodna energija (ali hidroenergija) je najstarejša tehnologija obnovljivih virov energije, ki se uporablja že tisočletja (začenši z vodnimi kolesi, glej razdelek 2.1). Danes je vodna energija največja tehnologija za proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov s 1416 GW svetovne inštalirane zmogljivosti (glej razdelek 2.2).

Hidroelektrarne so lahko štirih glavnih vrst (slika 2):

1. Hidroelektrarne z akumulacijo vode (RSHP) (pogosto imenovane hidroelektrarne z akumulacijo vode ali jezovne hidroelektrarne v nekaterih raziskavah JRC) so naprave, ki shranjujejo vodo v rezervoarjih za jezovi in ki lahko uravnavajo pretok, ki se sprošča po toku, ter s tem proizvodnjo električne energije; rezervoarji so lahko umetni ali pa se uporabljajo obstoječa jezera. Ne morejo črpati vode.
2. Projekti, ki izkoriščajo naravni tok vodnih teles in imajo omejeno zmogljivost skladiščenja (če je zmogljivost skladiščenja nižja od povprečnega dnevnega dotoka, se RSHP pogosto šteje za projekt ROR);
3. Črpalna hidroelektrarna (ČHE) je poleg ČHE glavna tehnologija za shranjevanje vode in energije v energetskih sistemih, ki ima tudi črpalno zmogljivost. Sestavljene so iz dveh ali več vodnih teles (običajno dveh rezervoarjev ali reke kot spodnjega rezervoarja), ki sta povezani s sistemom turbin in črpalk. Sistem PSH črpa vodo v zgornji rezervoar v obdobjih nizkega povpraševanja po električni energiji (in/ali nizkih cen električne energije) in jo uporablja za proizvodnjo električne energije s spuščanjem vode v spodnji rezervoar prek turbin. Zaprte postaje PSH (ki jih Eurostat imenuje čiste PSH) sestavljajo rezervoarji, ki niso povezani z naravnimi vodotoki in ne uporabljajo naravnih (rečnih) dotokov, razen padavin in nekaterih vključitev podzemne vode. Postaje PSH z odprto zanko (znane tudi kot črpalne naprave, ki jih Eurostat imenuje mešane PSH) poleg dežja, potokov in podzemne vode uporabljajo tudi naravne pritoke iz rek. Črpalne hidroelektrarne predstavljajo več kot 90 % svetovnih zmogljivosti za shranjevanje energije, pri čemer niso upoštevane črpalne hidroelektrarne RSHP ;¹
4. Skrita hidroenergija v vodni infrastrukturi: sistemi preusmerjanja, ki izkoriščajo razpoložljivo energijo v transportnih sistemih za oskrbo, transport in čiščenje vode in odpadne vode.

Tradicionalna hidroenergija vključuje RSHP in ROR, medtem ko čista hidroenergija vključuje RSHP, ROR in energijo, proizvedeno v mešanih PSH iz naravnega dotoka.

Glede na velikost se hidroelektrarne delijo na velike in male, pri čemer je značilna mejna vrednost 10 MW (inštalirana moč, obstajajo pa tudi razlike). V okviru male hidroelektrarne se mini, mikro in piko hidroelektrarne nanašajo na inštalirano moč pod 1 MW, 100 kW oziroma 5 kW.

Vendar so ti pragovi večinoma regulativni ali upravni, saj hidroelektrarne obstajajo v razponu od nekaj deset do več tisoč MW, zato ni nujno, da so vplivi povezani z velikostjo elektrarne.

Voda se pretaka z višjih nadmorskih višin na nižje, višinska razlika pa se imenuje bruto hidravlična višina. Višinska razlika ustvarja moč vode, ki je lahko v obliki potencialne moči (tlak in gladina vode) in kinetične moči (hitrost toka vode). Hidroenergijo lahko glede na višino vodne gladine razvrstimo na visoko vodno gladino, srednjo vodno gladino, nizko vodno gladino in zelo nizko vodno gladino.

Čeprav jasna opredelitev ne obstaja, je smiselno opredeliti zelo nizko nadmorsko višino, ko je nadmorska višina pod 5 m (2,5 m v določenem primeru s²), nizko nadmorsko višino pod 50 m, srednjo nadmorsko višino med 50 m in 250 m ter visoko nadmorsko višino nad 250 m (glej npr. Andaroodi in Schleiss, 2006).³

1.1.2 Sestavni deli hidroelektrarne

Sektor hidroenergetike je precej zapleten, saj vključuje elektromehansko opremo (turbino, generator, motorne generatorje in črpalko za PSH), menjalnik/prevod (za male hidroelektrarne), usmerjevalne lopatice ali vratca za nadzor pretoka do turbine, vlečne cevi in spiralno ohišje ali razdelilne cevi, gradbene objekte (npr. jezovi, jez, predori, prelivne komore, elektrarna, pregrade, ribji prehodi, prelivi in kanali) ter nadzorna in instrumentalna oprema za spremljanje stanja sestavnih delov (slika 1). Delovanje elektrarne je odvisno od hidroloških, okoljskih in tržnih razmer.

Praviloma predstavlja elektromehanska oprema običajno eno tretjino stroškov naložbe (za ROR približno 50 %, za PSH in RSHP z višjimi vodostaji približno 20-25 %, za podrobnosti glej oddelek 2.4), medtem ko gradbeni inženirski objekti predstavljajo preostali dve tretjini, včasih tudi 75-80 % stroškov (glej več podrobnosti v oddelku 2.4). Precejšen delež naložb v hidroenergetičnem sektorju se torej nanaša na gradbena dela ter s tem povezane svetovalne in načrtovalne storitve, ki jih je zelo težko spremljati. Zato se hidroturbinska elektrarna na splošno obravnava kot barometer/posredna vrednost za spremljanje razvoja v hidroenergetičnem sektorju (npr. izvoz/uvoz, inštalirana zmogljivost) in s tem povezanih tržnih kazalnikov, obravnavanih v tem poročilu. To pomeni, da je dejanska vrednost obravnavanih kazalnikov konkurenčnosti v večini primerov lahko podcenjena.

Vodne turbine so lahko treh glavnih vrst: akcijske/impulzne, reakcijske in gravitacijske:

- Akcijske/impulzne turbine izkoriščajo kinetično energijo vodnega curka ali kinetično energijo vodnega toka/reke. V prvem primeru se najpogosteje uporabljajo Peltonove turbine, turbine Turgo in turbine s križnim tokom/Banki; največji izkoristek turbin se običajno giblje med 80 % in 95 %, odvisno od velikosti in vrste. V drugem primeru se najpogosteje uporabljajo hidrokinetične turbine (ki se uporabljajo tudi kot turbine za plimovanje) in pretočna/plavajoča vodna kolesa (pred kratkim je bila uvedena in izboljšana turbina Vortex, ki deluje tudi kot reakcijski tip), z največjim izkoristkom (običajno izraženim s koeficientom moči c_p) do 30 %.
- Reakcijske turbine izkoriščajo kinetično in tlačno energijo, odvisno od hitrosti reakcije, najbolj uporabljene vrste pa so Francisova (vključno s črpalko kot turbino[°]), Kaplanova (vključno z Bulb, Straflo) in Deriazova turbina. Največji izkoristek turbin se običajno giblje med 80 % in 95 %, odvisno od velikosti in vrste.
- Pri gravitacijskih turbinah (vodna kolesa in Arhimedovi ali hidrodinamični vijaki) količina vode ostane v vedrih stroja in se sprošča navzdol po toku, kar povzroča hidrostatični tlak na lopatice vedra's . Zato teža vode ustvarja vrtenje stroja, pri čemer je največja hidravlična učinkovitost stroja običajno med 70 % in 90 %.

Učinkovitost električnega generatorja, ki ga poganja turbina, je običajno >92 %. Izgube moči v vodnih poteh med odvzemom vode in turbino običajno predstavljajo 5-10 % bruto moči, odvisno od zasnove, pretoka in dolžine vodne poti. Splošni izkoristek hidroelektrarne z visoko in srednjo gladino je na splošno > 80 % in lahko pri optimalni obratovalni točki preseže 90 %, kar je 5-krat več kot pri fotovoltaiki in 3-krat več kot pri vetrnih elektrarnah, medtem ko je pri sistemu z zelo nizko gladino na splošno med 60 % in 80 %.

Eden glavnih elementov gradbenih objektov je jez, ki je zasnovan za zadrževanje vode iz reke.

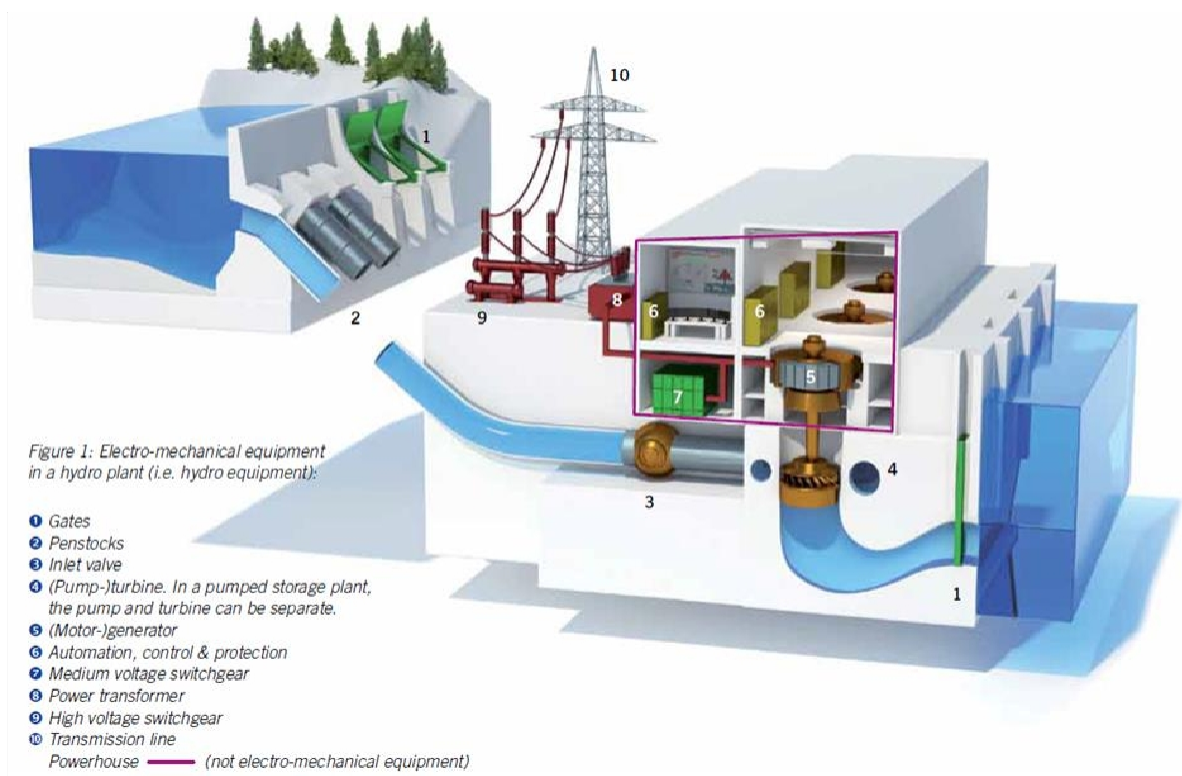
Poznamo dve vrsti jezov:

[°] Črpalke PAT se uporabljajo v obratnem načinu, tj. kot turbine. Običajno so nameščene v vodovodnih omrežjih za rekuperacijo energije (na splošno mikrohavrlična energija) in nadomeščajo ventile za uravnavanje tlaka, uporabljajo pa se tudi v PSH kot reverzibilne črpalke/turbine.

- preusmerjevalni jezovi, ki s sistemi preusmerjanja ohranjajo stalno gladino vode in preprečujejo spreminjanje rečnega režima. Prevodni jezovi, imenovani tudi jezovi, se uporabljajo za ROR, vodne poti in rekreacijske dejavnosti;
- zadrževalni jezovi, ki ustvarijo oviro za shranjevanje vode v rezervoarju, s čimer spremenijo rečni režim in ohranjajo gladino vode na spremenljivi ravni. Zadrževalni jezovi se lahko gradijo za dve vrsti rezervoarjev:
 - a. rezervoarji za oskrbo, v katerih se iz reke črpa voda za druge namene, kot so namakanje, plovba, pitna voda, industrijska raba;
 - b. regulacijski rezervoar, katerega glavna naloga je uravnavanje pretoka vode. Voda se shranjuje in spušča v reko iz več razlogov, kot so namakanje, zaščita pred poplavami, preprečevanje suše, proizvodnja energije, nadomestilo za neredne izpuste vode elektrarn v zgornjem toku ali druge namene.

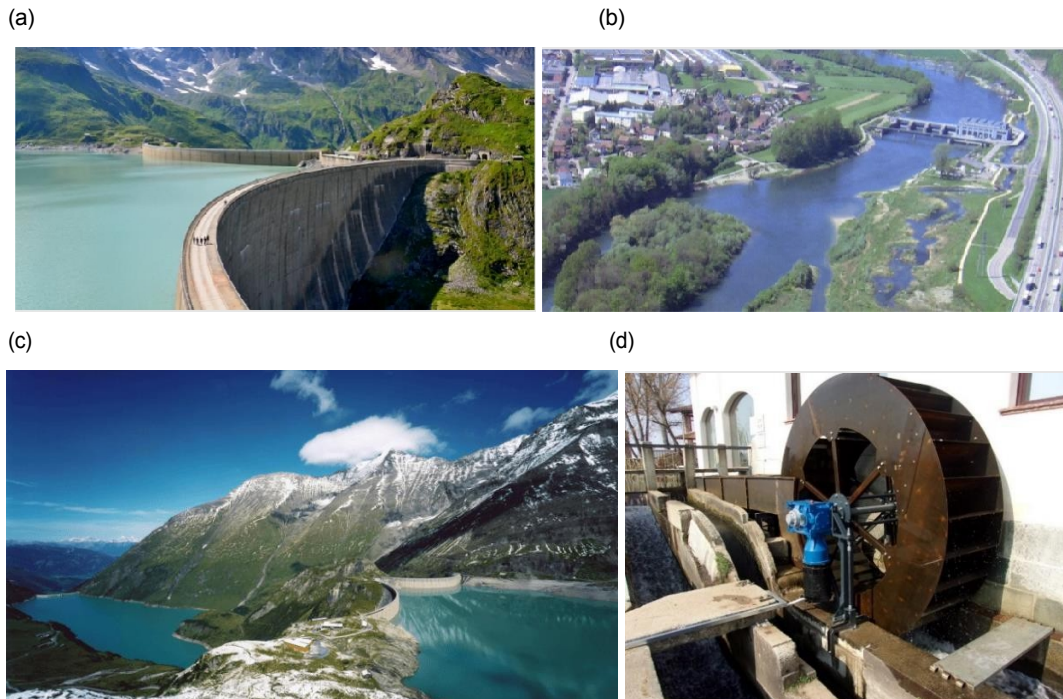
Jez je sestavljen iz telesa, ki leži na temelju, zgrajenem na rečni strugi in bregovih doline. Pobočji jezui se imenujeta gorvodno in dolvodno, medtem ko je greben del med njima. Glede na gradbeni material obstajata dve glavni družini jezov, in sicer nasipni in betonski jezovi. Nasipni jezovi so narejeni iz zemlje ali kamnitega nasipa ali kombinacije zemlje in kamnitega nasipa, medtem ko so betonski jezovi zgrajeni iz običajnega betona ali iz valjčno zgoščenega betona .¹¹

Slika 1. Skica hidroelektrarne z rezervoarjem, s poudarkom na elektrarni.



Vir: Hydropower Europe .¹¹

Slika 2. (a) RSHP (jez Mooserboden, Avstrija), (b) elektrarna ROR (Ruppoldingen v Švici, s stransko reko za migracijo rib), (c) elektrarna PSH z dvema rezervoarjema (Limberg II in Kopswerk II, Avstrija), (d) mikroelektrarna z vodnim kolesom v odvodnem kanalu.



Vir: (a) poročilo IEA Hydro v Prilogi XIII, (b) vljudno ATEL, (c) vljudno Voith Hydro, (d) vljudno Gatta srl, Italija).

1.2 Politično ozadje

Sektor hidroenergije je v središču več direktiv EU, zato je zaradi svoje medsektorske pomembnosti v središču več programov, razprav in izzivov v okviru povezave WEFE in zelenega dogovora. Glavne evropske direktive, ki obravnavajo hidroenergijo, so naslednje direktive, povezane z okoljem, energijo in podnebjem.

- **Okolje.**

V Evropski uniji morajo hidroelektrarne izpolnjevati zahteve več okoljskih direktiv: direktive o presoji vplivov na okolje (EIA), direktive o habitatih in pticah (HD/BD) ter okvirne direktive o vodah (WFD)^d. Te direktive od razvijalcev zahtevajo, da opredelijo in ocenijo pomembne okoljske vplive in tveganja, ki izhajajo iz takšnih projektov, ter predlagajo ustrezne ukrepe za preprečevanje in ublažitev takšnih vplivov in tveganj. Pristojni organi izdajo dovoljenja, ki vsebujejo potrebne preventivne in blažilne ukrepe. Če je verjetno, da bodo projekti negativno vplivali na omrežje Natura 2000

^d Evropska okvirna direktiva o vodah (Direktiva 2000/60/ES) se osredotoča na ohranjanje ali obnovo the "good ecological status" of the aquatic environment. Hydropower is strictly connected with aquatic ecosystems, due to vplivi, ki jih lahko povzročijo. Leta 2022 je Evropska komisija objavila delegirani akt EU o taksonomiji za podnebje, kar je spodbudilo pozive k razjasnitvi in doslednosti naložbenih meril za hidroelektrarne. Manj kot 10 % ovir v EU's rivers are for hydropower.

območij^e ali vodnih teles, je treba za projekte/plane izvesti postopek presoje za podrobno preučitev učinkov na podlagi člena 6(3) Direktive o habitatih oziroma člena 4(7) Okvirne direktive o vodah. Pristojni organi lahko take projekte še vedno odobrijo, če se izvajajo izravnalni ukrepi za odpravo znatnega poslabšanja ali škode in če projekti služijo prevladujočemu javnemu interesu. Pristojni organi morajo še vedno ustrezno opredeliti in oceniti vplive hidroenergetskih projektov ter sprejeti potrebne ukrepe za preprečitev, ublažitev ali nadomestitev pomembnih negativnih vplivov. Ko države članice (DČ) zaprosijo za sofinanciranje EU v okviru Sklada za oživitev in odpornost (RRF), morajo izpolnjevati merila za preprečitev znatne škode (DNSH). Uredba o vzpostavitvi instrumenta za oživitev in odpornost (RRF) določa, da noben ukrep, vključen v načrt za oživitev in odpornost (RRP), ne sme povzročiti znatne škode okoljskim ciljem v smislu člena 17 (v zvezi z načelo DNSH) Uredbe o taksonomiji. Nova strategija EU za biotsko raznovrstnost, sprejeta leta 2020, in zakon o obnovi narave vključujeta cilje za obnovo sladkovodnih ekosistemov, ki so pomembni tudi za dejavnosti proizvodnje vodne energije. Cilji strategije za biotsko raznovrstnost vključujejo obnovo vsaj 25 000 km rek v prosto tekoče reke do leta 2030 ter obnovo degradiranih ekosistemov, kot so poplavna območja in mokrišča. Poleg tega je treba redno pregledovati dovoljenja za odvzem vode in zajezitve, da bi do leta 2027 dosegli dobro stanje ali potencial vseh površinskih voda in dobro stanje vseh podzemnih voda v skladu z okvirno direktivo o vodah. Druge politike EU, ki so pomembne za načrtovanje, delovanje in blažitev vplivov hidroenergetskih načrtov, so uredba EU o jeguljah, uredba EU o invazivnih tujerodnih vrstah in direktiva o strateški okoljski presoji (SEA). Uredba EU o jeguljah (1100/2007) zahteva uvedbo ukrepov za obnovitev staleža evropske jegulje (ki je vrsta, na katero vpliva prisotnost hidroelektrarn), določitev in opredelitev povodij za jegulje ter pripravo načrtov za upravljanje jegulj, da se zmanjša smrtnost zaradi antropogenih dejavnosti in izboljša uhajanje srebrne jegulje v morje .⁴

- Obnovljivi viri energije.

Direktiva o obnovljivih virih energije (Direktiva 2023/2413/ES) spodbuja prehod na obnovljive vire energije, ki je določen tudi v direktivi REPowerEU in ciljih zelenega posla ter omogoča postopno odpravo odvisnosti od ruske oskrbe: Leta 2030 mora biti v EU 42,5 % bruto končne porabe energije proizvedene iz obnovljivih virov. Vključena je tudi hidroenergija, da se zagotovi, da je morebitni škodljivi vpliv na zadevno vodno telo ali vodna telesa utemeljen in da se izvajajo vsi ustrezni omilitveni ukrepi. Evropska komisija je hidroenergetsko tehnologijo vključila kot čisto tehnologijo v okviru Zakona o industriji z ničelno neto vrednostjo (Net Zero Industry Act - NZIA).

- Shranjevanje in prilagodljivost.

To achieve the Union's climate and energy targets, the energy system is undergoing a temeljita preobrazba, za katero so značilni izboljšana energetska učinkovitost, množična in hitra uporaba spremenljive proizvodnje energije iz obnovljivih virov, več akterjev, bolj decentralizirani, digitalizirani in medsebojno povezani sistemi ter večja elektrifikacija gospodarstva. Takšna preobrazba sistema zahteva večjo prožnost in zmogljivost shranjevanja in prenosov, ki sta ključna za prilagajanje spreminjajočim se potrebam omrežja ter obvladovanje spremenljivosti in negotovosti povpraševanja in ponudbe v vseh ustreznih časovnih okvirih (Priporočilo Komisije z dne 14. 3. 2023 o skladiščenju energije kot podpora dekarboniziranemu in varnemu energetskega sistema EU).

Za zmanjšanje tveganja zaradi uvožene prožnosti je v členu. d) Uredbe (EU) 2019/941

^e Natura 2000 je omrežje zavarovanih območij, ki zajema najdragocenejše in najbolj ogrožene vrste in habitate v Evropi. Je največje usklajeno omrežje zavarovanih območij na svetu, ki se razprostira v vseh 27 državah članicah EU, tako na kopnem kot na morju. Območja znotraj omrežja Natura 2000 so določena na podlagi direktiv o pticah in habitatih.

Evropskega parlamenta in Sveta z dne 5. junija 2019 o pripravljenosti na tveganja v elektroenergetskem sektorju zahteva, da mora vsaka država povečati prožnost nacionalnega sistema, zlasti z uporabo domačih virov energije, odzivanjem na povpraševanje in shranjevanjem energije ter javnim naročanjem prožnosti predvsem na podlagi čezmejne izmenjave.⁵

Vodna energija ima pri tem ključno vlogo, saj je najbolj prilagodljiva tehnologija obnovljivih virov energije in sektor z največjo zmogljivostjo shranjevanja vodne energije. Hidroenergija trenutno zagotavlja več kot 95 % skladiščenja energije v EU. V EU se nahaja četrtna svetovne zmogljivosti turbin PSH. Vodna energija je tudi prožna in dislocirana energetska tehnologija z odzivnim časom reda sekund na dolgoročno zmogljivost shranjevanja energije na letni časovni skali.

Januarja 2024 sta Evropski parlament in Svet dosegla začasni dogovor o reformi zasnove trga z električno energijo, ki je zdaj začel veljati. Cilj te pobude je ustvariti varovalni mehanizem med kratkoročnimi trgi in računi potrošnikov za električno energijo s spodbujanjem dolgoročnih pogodb za energijo. Spodbuja uporabo dolgoročnih instrumentov, kot so pogodbe o nakupu električne energije in mehanizmi za nadomestilo za zmogljivost, čeprav dvostranske pogodbe^f ne bodo na voljo za hidroelektrarne v rezervoarjih in PSH, tako da bodo še naprej v celoti izpostavljene tržnim signalom.

- Poplave.

Za obvladovanje poplav, ki so najpogostejše in najdražje naravne nesreče v Evropi, je bila leta 2007 uvedena Direktiva o poplavah (Direktiva 2007/60/ES), katere cilj je zmanjšati in obvladovati tveganja, ki jih poplave predstavljajo za zdravje ljudi, okolje, kulturno dediščino in gospodarske dejavnosti. Direktiva o poplavah od vseh držav EU zahteva, da (1) ocenijo vsa območja, kjer bi lahko prišlo do večjih poplav, (2) kartirajo obseg poplav ter ogrožena sredstva in ljudi na teh območjih ter (3) sprejmejo ustrezne in usklajene ukrepe za zmanjšanje te poplavne ogroženosti. Na večino evropskih rečnih sistemov močno vplivajo številni pritiski vzdolž rečnega koridorja in/ali imajo bistveno spremenjene razmere na območjih poplavljanja. Pregrade na rekah so lahko vir vpliva, vendar lahko zmogljivost shranjevanja vode v rezervoarjih ublaži poplave in suše, če je ta storitev vključena/opredeljena v dovoljenju. Poleg tega je Evropska komisija nedavno sprožila pobudo za povečanje odpornosti voda na podnebne spremembe, da bi oblikovala inovativne načine za zagotovitev, da so sistemi upravljanja voda dovolj trdni za odzivanje na izzive, ki jih podnebne spremembe že povzročajo.

Grožnje in priložnosti v okviru trenutnih družbenih, energetskih, geopolitičnih in podnebnih razmer so obravnavane v izdaji poročila za leto 2022 in v knjigi Quaranta (2023)⁶ ter v poglavju knjige Quaranta (2024)⁷, s poudarkom na sanitarni nevarnosti COVID-19, odnosu z Rusijo in drugimi zunanjimi akterji (Kitajska, ZDA, Švica, Norveška), podnebnih spremembah in čezmejnih hidroenergetskih projektih EU. Vloga hidroenergije pri doseganju ciljev prejšnjih direktiv je pogosto zapletena in jo je treba uravnovežiti. Obstaja obetavna priložnost za uravnoveženje, da se uskladijo trenja med podnebno, energetsko in okoljsko zakonodajo ter hkrati izboljša ekološka trajnost proizvodnje hidroenergije.⁸

^f Proizvajalec proda električno energijo na trgu, nato pa poravna razliko med tržno ceno in izklicno ceno, ki je bila vnaprej dogovorjena z javnim subjektom. Morebitni presežni prihodki se razdelijo končnim odjemalcem, pri čemer so države članice nekoliko prilagodljive.

1.3 Povezava z drugimi tehnologijami CETO

Hidroelektrarne imajo velik potencial hibridizacije z drugimi tehnologijami za proizvodnjo električne energije in lahko delujejo kot integrirana enota⁹. Hibridne elektrarne lahko zasedajo eno samo lokacijo ali sestavljajo mikroomrežje, razporejeno po ozemlju. V hibridni elektrarni se lahko uporablja ista električna infrastruktura, s čimer se znižajo skupni stroški. Hidroelektrarne se lahko kombinirajo s sončno ali vetrno energijo za povečanje stabilnosti in zanesljivosti proizvodnje električne energije¹⁰. V hibridni elektrarni lahko fotovoltaični paneli ali vetrne turbine proizvajajo energijo, ko sta sonce ali veter razpoložljiva¹¹. PV-sisteme je mogoče namestiti kot plavajočo rešitev na vodne rezervoarje¹², s čimer se zmanjša raba zemljišč za PV, optimizira splošna učinkovitost in zmanjša izhlapevanje⁸². Odpadna toplota se lahko pridobiva iz hladilnega sistema turbine/generatorja^{13,14}. Vodno energijo bi lahko kombinirali tudi z baterijami (npr. za hitro reakcijo pri primarni regulaciji³⁴) ali z vodikovimi elektrolizerji, če je potrebno manjše povpraševanje v omrežju in vode ni mogoče shraniti^{15,16, 171}. Pri tehnologijah za pridobivanje energije iz oceanov (plimovanje in valovanje) se uporablja več tehnologij, ki izhajajo iz hidroenergetskega sektorja¹⁷. Prednosti hidroelektrarn ne smemo ocenjevati le z vidika letne proizvodnje energije, temveč predvsem z vidika zagotovljene prožnosti, pomožnih storitev, shranjevanja vode in energije ter stabilizacije omrežja za podporo spremenljivi proizvodnji energije, kar večinoma pomeni ekonomsko in tehnično breme za upravljavce hidroelektrarn¹⁸. Opozoriti je treba, da lahko povečanje prožnosti za kratkoročne storitve izravnave povzroči nekatere vplive, npr. hidroelektrarne. Obstajajo nekateri omilitveni ukrepi, kot so regulacijski rezervoarji v spodnjem toku, povezava z baterijami ali uvedba okoljskih pragov za hitrost izpustov vode. Vendar pa je treba opozoriti tudi na to, da je ta zahteva po prožnosti neposredna posledica vključevanja zelo nestanovitnih virov energije v omrežje.

1.4 Metodologija in viri podatkov

Poročilo je bilo napisano po metodologiji CETO, ki obravnava tri glavne vidike:

- a) Stanje tehnološke zrelosti, razvoj in trendi
- b) Analiza vrednostne verige
- c) Svetovni trgi in položaj EU

Poglavje o stanju tehnologije ter prihodnjem razvoju in trendih temelji na:

- stopnja tehnološke pripravljenosti
- Instalirana zmogljivost in proizvodnja električne energije
- Stroški tehnologije
- Javno in zasebno financiranje R&I
- Trendi patentiranja
- Trendi znanstvenih objav
- Učinek raziskav in inovacij EU

Analiza vrednostne verige prikazuje stanje tehnologije glede na:

- Obrat
- Bruto dodana vrednost
- Okoljska in družbeno-ekonomska trajnost
- Podjetja iz EU
- Zaposlovanje
- Energetska intenzivnost in produktivnost dela
- Proizvodnja v EU

Položaj EU in globalna konkurenčnost analizira položaj EU na svetovnem trgu glede na:

- Vodilni na svetovnem trgu in trgu EU
- Trgovina, uvoz in izvoz
- Učinkovitost in odvisnost od virov V

poročilu so uporabljeni naslednji viri informacij:

- Dokumenti, ki so jih objavili Evropska komisija in mednarodne organizacije
- Informacije iz raziskovalnih projektov, ki jih financira EU
- podatkovne zbirke EU in mednarodne podatkovne zbirke
- Trgovinski podatki EU, trgovinska poročila, poročila o tržnih raziskavah in drugo
- Lastni pregled in zbiranje podatkov JRC
- Stakeholders' input
- Znanstvene publikacije

Priloga 1 vsebuje povzetek kazalnikov za vsak vidik, skupaj z glavnimi viri podatkov in vrzelmi.

2 Najsodobnejše tehnologije, prihodnji razvoj in trendi

2.1 Stopnja tehnološke pripravljenosti (TRL)

Danes je hidroenergija uveljavljen sektor ter največji in najbolj prilagodljiv obnovljivi vir električne energije z dobro poznanimi in zanesljivimi tehnologijami in metodologijami gradnje (oddelek 1.1). Kljub temu se dejavnosti raziskav in razvoja nenehno nadaljujejo in raziskujejo se nove tehnologije. Nekatere od teh tehnologij bi lahko v prihodnjem desetletju postale uveljavljene tehnologije s¹⁹. Kougias et al., (2019)¹⁹ in Oladosu et al., (2021)²⁰ pregledali nastajajoče hidroenergetske tehnologije. Njihov potencial za implementacijo v obstoječih hidroenergetskih objektih je bil ocenjen v Quaranta et al., (2021)³⁴. Inovativni materiali so obravnavani v Quaranta in Davies (2021)⁹⁴, okoljsko izboljšane turbine pa v Quaranta et al. (2021)¹²⁷. Fry in drugi, (2022)²¹, v projektu ETIP Hydropower, ki ga financira EK, so ocenili, da je treba v okviru shem financiranja vložiti od 190 do 324 milijonov EUR v naslednje teme: prilagodljivost, optimizacija delovanja in vzdrževanja, odpornost elektromehanske opreme, odpornost infrastrukture in delovanja, okoljsko združljive rešitve in blaženje vplivov globalnega segrevanja. Poleg tega mora elektromehanska oprema hidroelektrarn doseči višjo stopnjo digitalizacije, da bi se odzvala na vse večje potrebe po prožnosti⁹ obratovanja. Digitalizacija je potrebna za optimizacijo delovanja, napovedovanje in odkrivanje morebitnih prihodnjih okvar, lažje obratovanje in vzdrževanje, zmanjšanje obratovalnih stroškov ter povečanje odpornosti proti fizičnim in kibernetičnim grožnjam. Prihodnji izziv je, kako v obstoječe in delujoče postaje, ki trenutno uporabljajo zastarele sisteme, vključiti sodobne dosežke IT sektorja. Pomemben izziv je tudi operativno odločanje, ki vključuje načrtovanje življenjske dobe in vzdrževanja ter napovedi priliva v realnem času z delovanjem na liberaliziranih trgih električne energije, zlasti v zvezi z obstoječimi elektrarnami. Digitalne rešitve se lahko izvajajo tudi za ublažitev vplivov na okolje.¹⁰⁶

Vodna energija se je začela pred več kot 2000 leti. Vodno kolo je bilo prvi pretvornik vodne energije v zgodovini človeštva, ki se je uporabljalo za dvigovanje vode in mehanske dejavnosti, npr. za mletje žita in žaganje lesa. V prvi polovici 19. stoletja so bila vodna kolesa razširjena v industrijskih državah po vsem svetu, zlasti v Evropi^h. Leta 1826 je v Franciji delovalo vsaj 66.000 vodnih koles, leta 1850 pa v Angliji 25.000-30.000. V Nemčiji so leta 1882 našli 58.000 mlinov, še leta 1925 pa je bilo licenciranih 33.500 vodnih koles z močjo od 0,75 do 75 kW. Na Poljskem je konec 18. stoletja delovalo skoraj 10.500 vodnih mlinov. Za primerjavo: leta 1840 je v Združenih državah Amerike delovalo 55.000 vodnih koles, na Japonskem pa so vodna kolesa še leta 1886 predstavljala 56 % celotne proizvodnje električne energijeⁱ. V okviru raziskovalnega projekta RestorHydro, ki ga je financirala EU, je bilo v Evropi opredeljenih 65.000 zgodovinskih lokacij z nizko vodno energijo (27.000 je starih vodnih mlinov), vendar je bilo v okviru projekta ocenjeno, da naj bi do pred enim stoletjem obstajalo 350.000 mikrohidravličnih lokacij²². Na začetku 20th stoletja je razvoj sodobne hidroenergije, ki izkorišča močnejše lokacije, in motorjev na gorivo pomenil zaton vodnih koles in mlinov.

Med letoma 1940 in 1970 se je po vsem svetu zgodil pomemben razvoj hidroenergetike, ki je bil odziv na povečane potrebe po električni energiji zaradi naraščajočega prebivalstva in gospodarstva. Od leta 1970 se je razvoj hidroelektrarn v Evropi upočasnil, saj so bila najprimernejša območja že izkoriščena, poleg tega pa se je povečala skrb za okolje. Vodna kolesa so bila pred nekaj desetletji ponovno uvedena na trg kot stroškovno učinkoviti pretvorniki mikrohidravlične energije na lokacijah z majhnim naklonom.²³

Danes se najpogosteje uporabljajo Peltonova turbina (visoki pretoki, nizki pretoki), Francisova turbina (srednji in visoki pretoki, srednji pretoki) in Kaplan-Bulbova turbina (nizki pretoki, visoki pretoki). Francisove in Kaplanove turbine z nizkimi pretoki se lahko uporabljajo tudi kot pretvorniki z zelo nizkimi pretoki. Reverzibilne enostopenjske Francisove-

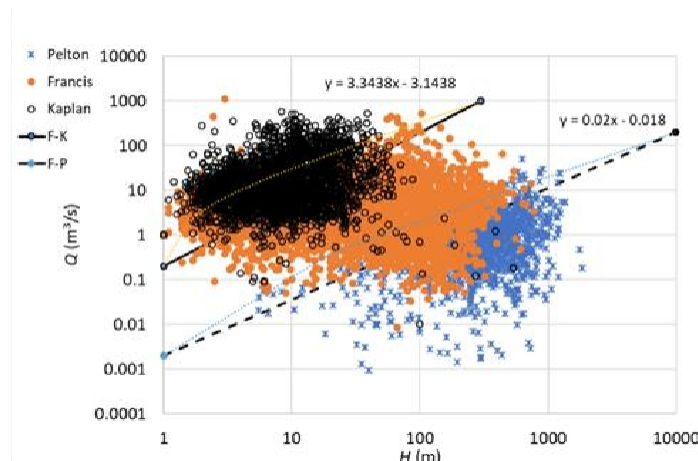
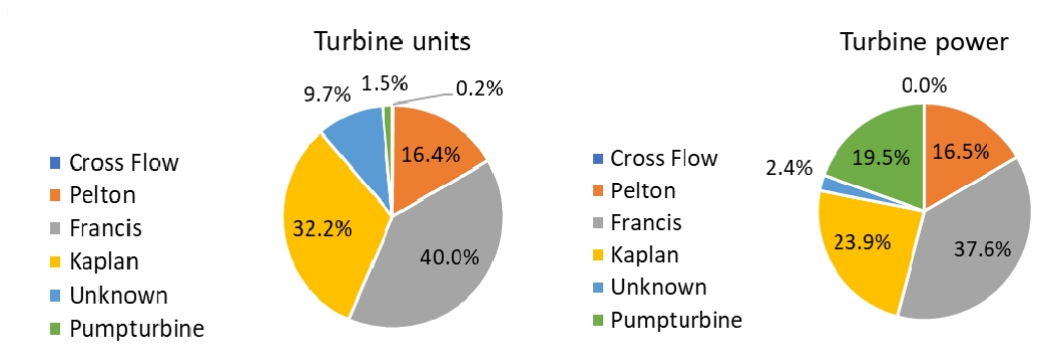
⁹ Sposobnost sistema, da se odzove na spremembe v proizvodnji in/ali obremenitvi, se imenuje prožnost sistema.

^h Če ni navedeno, Evropa vključuje EU, Albanijo, Andoro, Belorusijo, Bosno in Hercegovino, Ferske otoke, Grenlandijo, Islandijo, Kosovo, Lihtenštajn, Makedonijo, Moldavijo, Monako, Črna gora, Norveško, San Marino, Srbijo, Švico, Turčijo, Ukrajino in Združeno kraljestvo.

ⁱ ni določeno, ali gre za mehansko ali električno energijo.

črpalke/turbine so bile razvite v zgodnjih štiridesetih letih prejšnjega stoletja in so se razširile v napravah PSH z višinami do 700 m. Delež hidravličnih turbin in njihovo hidravlično območje v EU je prikazano na sliki 3. Zanimarjiv delež predstavljajo nekonvencionalne turbine, npr. vodna kolesa, Arhimedovi vijaki, vrtnične turbine in turbine z zelo nizko gladino (VLH), katerih območje delovanja je opisano v Quaranta et al (2021)². Instalirana zmogljivost Arhimedovih vijakov je običajno manjša od 100 kW, leta 2012 pa je bilo po vsem svetu naštetih približno 400 naprav, od tega 71 (2,5 MW) v Evropi (Lashofer et al., 2012²⁴). Turbine VLH običajno delujejo pod 500 kW, njihova skupna inštalirana zmogljivost v Evropi pa je približno 30 MW (MJ2 Technologies, 2023). Vodna kolesa so na splošno pod 30 kW, njihova povprečna moč v EU pa je 13 kW (Quaranta et al., 2022b⁶⁵). V EU obratuje 12 naprav z vrtničnimi turbinami s skupno močjo 78,1 kW (v Avstriji, Nemčiji in Belgiji)²⁵. V Evropski uniji + Združenem kraljestvu (EU28) je po podatkih podatkovne zbirke Voith Hydro (osebno sporočilo Markusa Wirtha) nameščenih 24 turbin Banki s skupno močjo 10,4 MW in največjim vzgonom 170 m (posodobljeno do leta 2020).

Slika 3. Delež tipov turbin v EU glede na podatkovno zbirko Voith Hydro in njihovo območje delovanja (od leta 2020)³⁴. Deriaz, Girard sta bila vključena v tip Francis (Voith Hydro ter Quaranta in Muntean (2023)¹⁴). Na spodnji sliki F-K pomeni mejo med razponom Francisovih in Kaplanovih turbin, F-P pa Francisove in Peltonove turbine.



Vir: Voith Hydro

2.2 Število elektrarn, inštalirana zmogljivost in proizvodnja

2.2.1 Število pregrad in jezov

Po podatkih Mednarodne komisije za velike jezove (ICOLD) je na svetu več kot 59.000 velikih in majhnih jezov, v katerih je ob polni zmogljivosti shranjenih 8919 milijard m³. V EU je po registru jezov ICOLD 2023 4491 velikih jezov, 33 % pa jih je namenjenih večnamenski uporabi. V EU je po registru ICOLD 2023 46 % jezov za en namen namenjenih hidroenergiji (v njih je shranjenih 83 % prostornine jezov za en namen), 23 % jezov za več namenov ima hidroenergijo kot prvo uporabo (34 % ima kot prvo uporabo oskrbo z vodo), 6 % vseh jezov ima hidroenergijo kot drugo uporabo in 3,5 % kot tretja ali četrta uporaba. Na splošno je 48 % rezervoarjev v EU namenjenih za hidroenergijo. Približno 285 milijard m³ vode: 124 milijard m³ je v rezervoarjih za hidroelektrarne za enkratno uporabo, 111 milijard m³ pa v večnamenskih rezervoarjih, opremljenih s hidroelektrarnami.

V podatkovni zbirki AMBER²⁶ je bilo na evropskih rekah prešteti vsaj 630 000 pregrad (450 000 v EU), pri čemer je manj kot 10 % opredeljenih kot jezovi (drugi vključujejo npr. jezove, rampe in druge prečne pregrade brez zmogljivosti shranjevanja). Po some JRC's estimates based on

podatki h UNIDO, Voith Hydro in podatkovne zbirke JRC o hidroenergiji je v EU manj kot 30 000 hidroelektrarn (vključno s tistimi v umetnih kanalih, ceveh in infrastrukturah), zato se za hidroenergijo uporablja manj kot 10 % pregrad. 90 % hidroelektrarn ima manj kot 10 MW inštalirane moči, vendar prispevajo h kumulativni instalirani moči 10 %. Več informacij o malih hidroelektrarnah v Evropi je na voljo v poročilu UNIDO:²⁷.

V letih 1996-2019 je bilo v Evropi skupaj odstranjenih 342 jezov, od katerih je približno 95 % tako imenovanih nizkih jezov: 54,7 % jih je visokih do 2,5 m, 40,6 % je visokih 2,5-7,5 m, 2,3 % je jezov visokih 7,5-15 m, 2,0 % pa jih je višjih od 15 m²⁸. Po podatkih organizacije Dam Removal Europe (DRE) je bilo v Evropi odstranjenih več kot 6 000 pregrad; leta 2022 je bilo odstranjenih 325 pregrad, 71 % jih je bilo nižjih od 2 m, v Angliji, na Finskem, v Franciji, na Norveškem, v Španiji in na Švedskem pa je bilo odstranjenih vsaj 10 hidroenergetskih jezov. V letu 2023 je organizacija DRE poročala o odstranitvi najmanj 487 pregrad. Pri odstranjevanju pregrad je bila vodilna Francija, sledile so ji Španija, Švedska in Danska. Med odstranjenimi pregradami je bilo 46 % jezov in 36 % prepustov. Naslednja najpogostejša vrsta odstranjenih pregrad so bili jezovi (12 %), sledili so jim rampe, zapornice in brodovi. 78 % odstranjenih pregrad je bilo nižjih od 2 m, 20 % je bilo visokih od 2 do 5 m, 2 % pa več kot 5 m. Z odstranitvijo pregrad je bilo ponovno povezanih več kot 4300 km rek²⁹. Novo sprejeti Zakon o obnovi narave od držav članic zahteva, da naredijo popis umetnih ovir in določijo ovire, ki jih je treba odstraniti.

2.2.2 Instalirana električna moč in letna proizvodnja

Leta 2023 je svetovna inštalirana moč hidroelektrarn, priključenih na omrežje, dosegla 1416 GW, vključno s 179 GW črpalnih hidroelektrarn (PSH), z letno proizvodnjo 4185 TWh, kar je manj kot 4408 TWh leta 2022^{30,31}. Vodna energija zagotavlja tudi 1,8 GW storitev elektrifikacije z vodno energijo zunaj omrežja, predvsem v Afriki, Južni Ameriki in Aziji.³²

Po podatkih Xu et al., (2015)³³, ima Evropa tehnični potencial vodne energije (torej potencial, ki ga je mogoče izkoristiti z obstoječo tehnologijo, neodvisno od ekonomskih dejavnikov) 1121 TWh na leto (v nadaljnjem besedilu: TWh/leto) in je s trenutno proizvodnjo 569 TWh/leto in instalirano zmogljivostjo 258 GW razvila približno polovico razpoložljivega tehničnega potenciala, kar je največji delež na svetovni ravni. V Evropi je še vedno neizkoriščen tehnični potencial, ki ga je treba raziskati z novimi tehnologijami¹⁹ in s prenovo obstoječih elektrarn s³⁴ (oddelek 2.3).

V tem poglavju sta obravnavani inštalirana moč in letna proizvodnja energije, pri čemer sta upoštevani tradicionalna hidroenergija in PSH. Opozoriti je treba, da je tradicionalna hidroenergija uvrščena med tehnologije obnovljivih virov energije, PSH pa med tehnologije shranjevanja energije. Vendar pa je mešani PSH,

¹ višji od 15 m ali med 5 in 15 m in z zmogljivostjo shranjevanja večjo od 3 Mm.³

kjer je rečni dotok in je na splošno letna proizvodnja energije večja od energije, porabljene za črpanje, se lahko prav tako uvrstijo med tehnologije za pridobivanje obnovljive energije, če se upošteva neto proizvodnja energije (proizvodnja energije minus energija, porabljena za črpanje).

Nameščena moč

Medtem ko so bili v prejšnjih razdelkih uporabljeni podatki IHA (2024), bodo odslej uporabljeni podatki Eurostata, saj so bolj osredotočeni na EU, čeprav so omejeni na leto 2022. Po podatkih Eurostata je bila leta 2022 v EU inštalirana zmogljivost hidroelektrarn 152,7 GW, večinoma v alpskem okolju (slika 4 in slika 5). V primerjavi z letom 2011 to pomeni +7 GW inštalirane zmogljivosti. Od skupne inštalirane zmogljivosti 105,8 GW predstavljajo tradicionalne vodne elektrarne, kar pomeni hidroelektrarne, ki služijo izključno proizvodnji električne energije (vključno z večnamenskimi storitvami). Nadaljnjih 22,6 GW se nanaša na zaprte črpalne hidroelektrarne. Preostalih 24,2 GW je mešanih hidroelektrarn, kar pomeni tipične hidroelektrarne, povezane z rekami^{35,36}. V preglednici 2, razvrščeni glede na vrsto elektrarne in inštalirane moči z analizo več podatkovnih zbirk (JRC³⁴, Voith Hydro in UNIDO), posodobljenih do leta 2022.^k

Instalirana hidroenergija na prebivalca znaša 0,34 kW/osebo v EU, 0,31 kW/osebo v ZDA in 0,30 kW/osebo na Kitajskem. EU je vodilna tudi v sektorju malih hidroelektrarn (Wagner et al., 2019)³⁷ in na področju raziskav in razvoja (Manzano-Agugliaro et al., 2017).³⁸

Preglednica 2. Instalirana moč turbin (v % glede na skupno 152 GW) na ravni EU, razvrščena glede na vrsto hidroelektrarne (RoR, RSHP, PSH) in razred inštalirane moči P (MW). For PSH the turbine's installed se upošteva zmogljivost.

P (MW)	Delež (%) v skupni moči			
	RoR	RSHP	PSH	Skupaj
$P > 10$	16.8	44.5	28.4	90.3
$1 < P \leq 10$	4.6	2.8	0.0	7.7
$P \leq 1$	2.1	0.0	0.0	1.9
Skupaj	23.9	47.7	28.4	100 %

Vir: kombinacija podatkov iz baze podatkov o hidroenergiji JRC, baze podatkov Voith in baze podatkov UNIDO. (leto 2022)

Letna proizvodnja energije

V zadnjem desetletju se je letna proizvodnja energije iz tradicionalnih hidroelektrarn in PSH (brez električne energije, adsorbirane za črpanje) v EU gibala med 307 in 398 TWh/leto, odvisno od hidroloških razmer, povprečna vrednost pa je bila 363 TWh/leto. Letna proizvodnja je leta 2021 znašala 375 TWh, vključno z energijo iz PSH (in brez črpanja, ki leta 2022 znaša 43 TWh, ter 42 TWh proizvodnje), vendar se je kljub povečanju skupne inštalirane zmogljivosti zmanjšala na 307 TWh leta 2022, predvsem zaradi povečanja drugih obnovljivih virov energije in zaradi pomanjkanja vode v več regijah. Čiste hidroelektrarne (ROR in RSHP) so proizvedle 266 TWh^l. Leta 2022 se je obratovanje zaprtih RHE povečalo za 15 %, tako pri proizvodnji kot pri črpanju. Za dodatne podrobnosti o PSH glejte poglavje 2.2.3.

^k Skupna inštalirana zmogljivost in skupna inštalirana zmogljivost ROR sta višji (+3 GW, +15 GW) kot iz drugih virov (npr. Eurostat), saj je težko natančno slediti sestavi hidroenergetskega parka, verjetno pa se nekatere hidroelektrarne z majhnimi ribniki v podatkovni zbirki SRS štejejo za ROR.

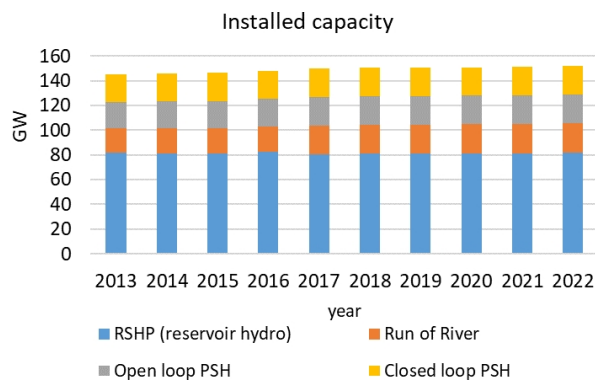
^l Čista hidroenergija vključuje ROR in RSHP. Obnovljiva hidroenergija vključuje tudi proizvodnjo hidroenergije v mešanih hidroelektrarnah, vendar le proizvodnjo, povezano z rečnim pritokom (torej brez vode, ki se po črpanju vrtniči).

Faktor zmogljivosti

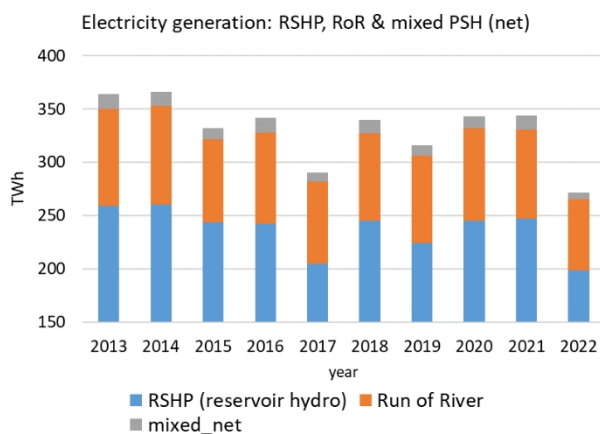
Produktivnost hidroelektram v EU ni enotna in odraža klimatologijo, topografijo in vodne vire posamezne regije ter prevladujočo vrsto elektrarne. Ta spremenljivost je običajno prikazana s faktorjem zmogljivosti (CF), ki je izražen kot razmerje med letno proizvedeno električno energijo in električno energijo, ki bi bila proizvedena, če bi elektrarna vse leto delovala z nominalno močjo. Povprečni in splošni CF v EU leta 2021 je bil 28 %, kar je manj od globalnega tehtanega povprečja novih projektov, začelih med letoma 2010 in 2019, in sicer 48 %, verjetno zaradi manjših rek in njihovega hudourniškega hidrološkega režima. Najvišji CF v EU v zadnjem desetletju je bil CF = 31 % v letih 2013 in 2014. Hidroenergija v severnih državah članicah na splošno kaže večjo produktivnost kot v državah južne Evrope (preglednica 3). Malta in Ciper imata malo vodnih virov, zato so možnosti za razvoj hidroelektram omejene, medtem ko je bilo v primeru Cipra, kjer je zaradi dolgotrajnega sončnega sevanja na voljo sončna energija, shranjevanje energije v obliki PSH opredeljeno kot možna rešitev problema neusklajenosti ponudbe in povpraševanja³⁹. Elektrarne z rezervoarji so običajno opremljene z razmeroma veliko zmogljivostjo, ki ne morejo delovati s polno močjo skozi vse leto samo z uporabo naravnih pritokov. Rezervoarske elektrarne lahko v obdobjih največjega povpraševanja po električni energiji zaradi svoje sposobnosti shranjevanja energije zagotavljajo visoko zmogljivost in tako izkoristijo višje cene na liberaliziranih trgih, kar ima za posledico povprečni letni CF od 20 % do 57 % v letu 2021 (35 % povprečna vrednost v letu 2021). Za elektrarne z rezervoarji je značilno letno skladiščenje, ki na primer v Alpah omogoča shranjevanje vode poleti za proizvodnjo električne energije predvsem pozimi. Namesto tega imajo elektrarne ROR omejene možnosti skladiščenja, zato je njihova obratovalna moč običajno prilagojena tako, da se čim bolj izkoristi razpoložljivi naravni dotok skozi vse leto. Povprečna letna vrednost CF naprav ROR se je leta 2021 gibala med 19 % in 57 %, povprečna vrednost v letu 2021 pa je bila 2021 v EU 39 %.

Slika 4. Instalirana zmogljivost turbin (a) in proizvodnja električne energije v EU (b in c), vključno s proizvodnjo električne energije iz PSH. *Mixed_net* (slika b) pomeni neto proizvodnjo električne energije iz mešane (tj. odprte zanke) PSH (proizvodnja električne energije minus adsorbirana za črpanje, ki je približno enaka proizvodnji električne energije iz naravnega dotoka, ob približni predpostavki, da sta učinkovitost črpanja in turbine približno enaka). Na sliki b se os y začne pri 150 TWh.

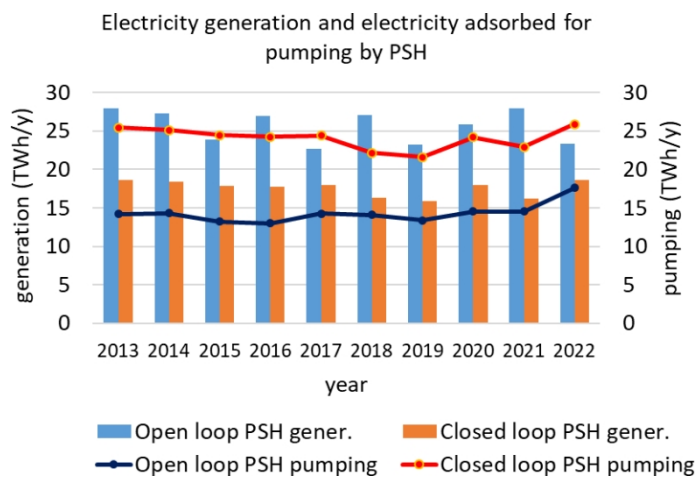
(a)



(b)

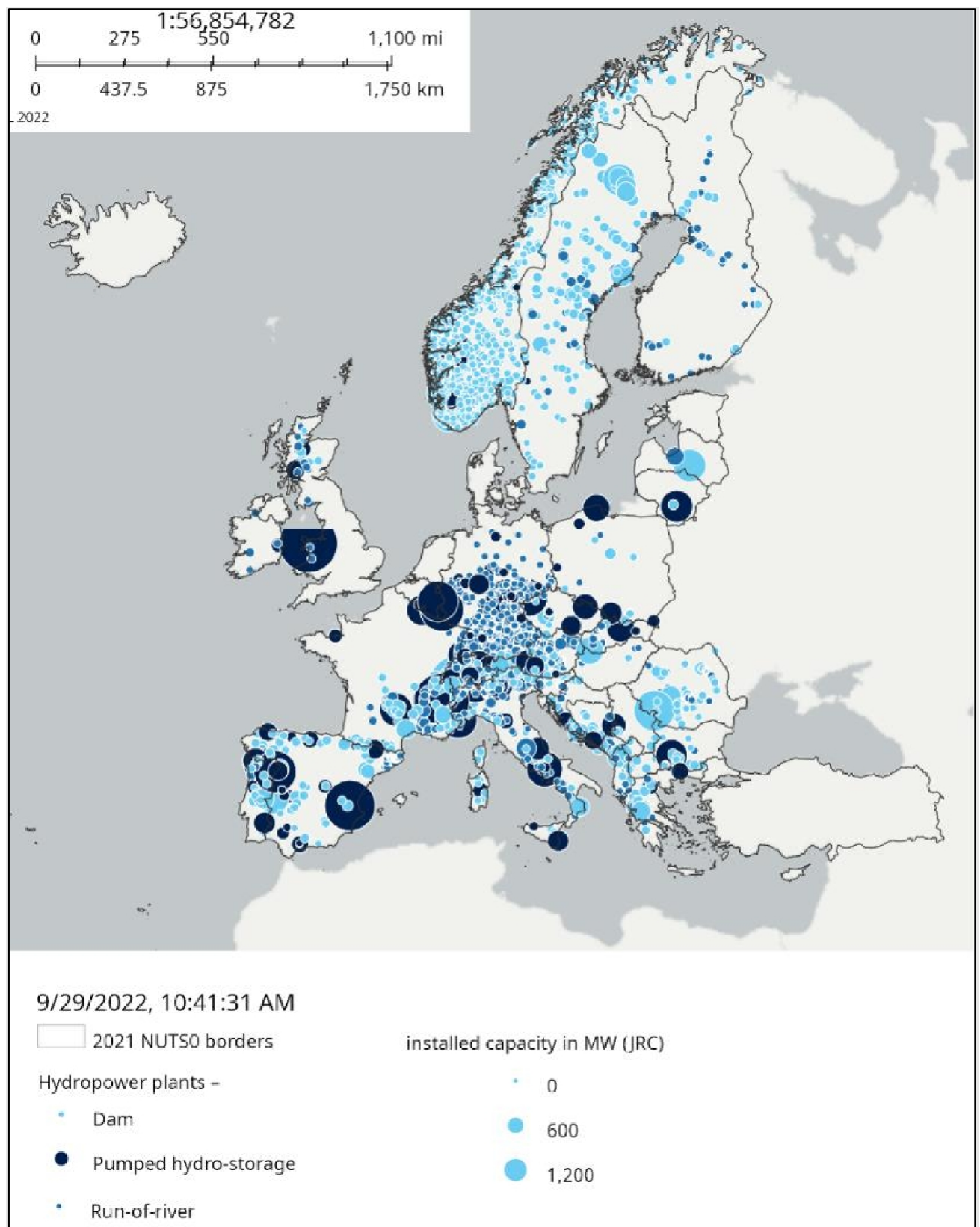


(c)



Vir: Eurostat

Slika 5. Porazdelitev hidroenergije v Evropi po podatkovni zbirki JRC o hidroenergiji (od 254 GW je vključenih 194 GW, leto 2019). Iz: <https://energy-industry-geolab.jrc.ec.europa.eu/> in brez večine mini hidroelektrarn.



Vir: JRC

Preglednica 3. Instalirana moč turbin *P* v MW: skupaj in razdeljeno po kategorijah (na podlagi podatkov Eurostata za leto 2022), vključno z instalirano močjo črpalk (iz orodja IHA's PSH tracking tool), za leto 2022.
ROR = vodni tok, mešani = odprta zanka, čisti = zaprta zanka, PSH = črpalna hidroelektrarna, RSHP = akumulacijska hidroelektrarna.

Država	akronim	Skupaj	RSHP	ROR	Mešana (odprta zanka) PSH (generacija)	Mešana (odprta zanka) PSH (črpanje)	Čista (zaprta zanka) PSH (generacija)	Čista (zaprta zanka) PSH (črpanje)
Evropska unija	EU	152,733	81,417	24,434	24,241	16,516	22,641	22,720
Avstrija	AT	14,923	3497	5631	5795	3751	0	0
Belgija	BE	1430	123	0	0	0	1307	1307
Bolgarija	BG	3390	2377	0	149	147	864	788
Češka	CZ	2285	1114	0	0	480	1172	669
Danska	DK	7	7	0	0	0	0	0
Nemčija	DE	10,974	298	4189	1134	35	5353	5849
Estonija	EE	8	8	0	0	0	0	0
Irska	IE	529	237	0	0	0	292	292
Grčija	EL	3421	2722	0	699	699	0	0
Španija	ES	20,137	11,175	2549	3082	2696	3331	2795
Francija	FR	25,964	18,864	0	5372	2685	1728	1640
Hrvaška	HR	2206	1491	440	275	0	0	246
Italija	IT	22,861	9516	6082	3334	1886	3928	4876
Ciper	CY	0	0	0	0	0	0	0
Latvija	LV	1588	0	1588	0	0	0	0
Litva	LT	877	117	0	0	0	760	880
Luksemburg	LU	1330	34	0	0	0	1296	1050
Madžarska	HU	60	0	60	0	0	0	0
Malta	MT	0	0	0	0	0	0	0
Nizozemska	NL	38	38	0	0	0	0	0
Poljska	PL	2407	608	0	376	307	1423	1340
Portugalska	PT	8189	1812	2730	3647	3491	0	0
Romunija	RO	6663	6293	0	278	68	92	71
Slovenija	SI	1346	0	1166	0	180	180	0
Slovaška	SK	2532	1616	0	0	0	916	917
Finska	FI	3171	3171	0	0	0	0	0
Švedska	SE	16,399	16,300	0	99	91	0	0

Vir: Eurostat in IHA

Preglednica 4. Letna proizvodnja energije v GWh: skupaj in razdeljeno po kategorijah, vključno z adsorbirano električno energijo za črpanje, za leto 2022 (na podlagi podatkov Eurostata za leto 2022). ROR = vodni tok, mešani = odprta zanka, čisti = zaprta zanka, PSH = črpalna hidroelektrana, CF = faktor zmogljivosti za tradicionalno hidroelektrarno (brez PSH) in učinkovitost zaprte zanke za zaprto PSH sta prav tako izračunana. RSHP = hidroelektrana s skladiščenjem v rezervoarju.

	Skupaj	RSHP	ROR	Mešana ali odprta zanka (generacija)	Mešana ali odprta zanka (črpanje)	Čista ali zaprta zanka (generacija)	Čista ali zaprta zanka (črpanje)	CF Hidro	Zaprta zanka učinkovitost
EU	307523	198,693	66,815	23,337	17,624	18,679	25,870	0.29	0.72
AT	39,221	7577	24,663	6982	6451	0	0	0.40	
BE	1646	271	0	0	0	1375	1830	0.25	0.75
BG	3833	3385	0	441	36	7	14	0.16	0.48
CZ	3083	2093	0	0	0	990	1278	0.21	0.77
DK	15	15	0	0	0	0	0	0.26	
DE	23,576	708	16,437	1017	862	5414	8124	0.44	0.67
EE	23	23	0	0	0	0	0	0.33	
IE	948	701	0	0	0	247	403	0.34	0.61
EL	4000	3351	0	648	207	0	0	0.14	
ES	22,102	16,583	0	2353	1845	3166	4247	0.14	0.75
FR	51,049	42,673	0	5875	4268	2502	3183	0.26	0.79
HR	5574	3700	1448	426	163	0	0	0.30	
IT	30,291	13,134	14,310	1409	649	1437	1938	0.20	0.74
CY	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
LV	2750	2	2748	0	0	0	0	0.20	
LT	1021	464	0	0	0	556	764	0.45	0.73
LU	1124	64	0	0	0	1059	1417	0.21	0.75
HU	178	0	178	0	0	0	0	0.34	
MT	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
NL	50	50	0	0	0	0	0	0.15	
PL	3018	1779	0	233	63	1006	1438	0.33	0.70
PT	8839	1672	3883	3284	2943	0	0	0.14	
RO	14,360	13,466	0	510	0	383	498	0.24	0.77
SI	3401	0	3149	0	0	252	341	0.31	0.74
SK	3963	3678	0	0	0	285	394	0.26	0.72
FI	13,492	13,492	0	0	0	0	0	0.49	
SE	69,967	69,810	0	157	137	0	0	0.49	

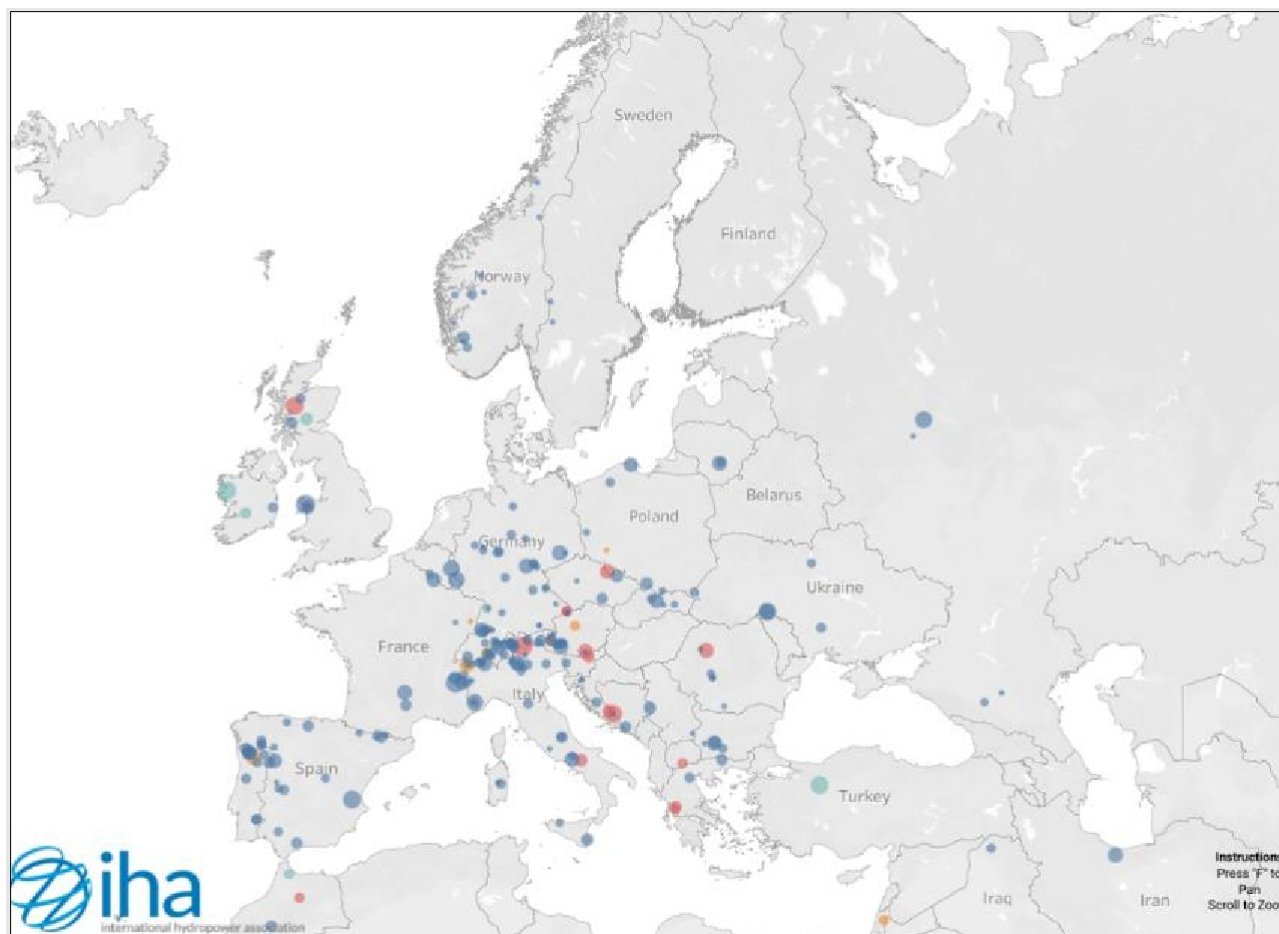
Vir: Eurostat

2.2.3 Poudarek na črpalni hidroelektrarni

Približno 270 postaj PSH po vsem svetu ima skupno turbinsko zmogljivost 179 GW, kar predstavlja več kot 90 % svetovne zmogljivosti shranjevanja električne energije v omrežju⁴⁰. V EU deluje 156 postaj PSH s skupno zmogljivostjo turbin 45 GW (inštalirana črpalna zmogljivost v EU je 39 GW), 9 GW pa je v gradnji ali načrtovanju. Leta 2023 je bilo v Evropi napovedanih več projektov PSH ali pa je bil pri njih dosežen opazen napredek. Ta tehnologija ima še vedno izjemen neizkoriščen potencial nekaj TWh (IHA, 2024), kot je prikazano v preglednici 7.

Indeks produktivnosti (povprečna mesečna poraba PSH [GWh] / povprečna mesečna proizvodnja PSH [GWh]) se ob upoštevanju zaprtih in odprtih postaj giblje med 54,8 % in 86,8 %, povprečna vrednost za EU pa je 73,9 %. Postaje PSH v večini držav delujejo s povprečnim indeksom produktivnosti približno 70-75 %. Skrajne vrednosti veljajo za Norveško (zunaj EU) in Grčijo. Na Norveškem elektrarne PSH v nekaterih mesecih obratujejo ves dan, nato pa sledijo obdobja nizke izkoriščenosti, ta strategija pa vodi do nizkega indeksa produktivnosti. V Grčiji so črpalne postaje, zaradi njihove nizke izkoriščenosti pa obratujejo predvsem ob rečnem toku, kar poveča indeks produktivnosti.³⁵ PSH znaša 1300 GWh, pri čemer so bili podatki IHA obdelani v skladu s Quaranta et al. (2024).
The energy stored in EU's
V preglednici 5 je navedena inštalirana moč velikih sistemov PSH (nad 1000 MW) po državah⁴¹, na sliki 6 pa je prikazana evropska porazdelitev sistemov PSH.

Slika 6. Razporeditev elektrarn PSH (vir: forum PSH Mednarodnega združenja za hidroenergijo⁴²). Modra = delujoče, oranžna = v gradnji ali načrtovane.



Vir: IHA

Preglednica 5. Instalirana moč velikih sistemov PSH (nad 1000 MW) po državah (leto 2023).

Država	V obratovanju	V gradnji	Skupaj
Kitajska	40,648	69,550	110,198
Japonska	15,307	2820	18,127
ZDA	13,731	0	13,731
<u>EU (kot celota)</u>	13,514	0	13,514
Italija	4200	0	4200
Avstralija	1800	2250	4050
Ukrajina	2531	900	3431
Tajvan	2608	0	2608
Združeno kraljestvo	2500	0	2500
Egipt	0	2400	2400
Južna Afrika	2332	0	2332
Indija	0	2200	2200
Nemčija	2105	0	2105
Švica	1000	900	1900
Francija	1800	0	1800
Španija	1770	0	1770
Srbija	1300	0	1300
Luksemburg	1300	0	1300
Rusija	1216	0	1216
Vietnam	0	1200	1200
Češka republika	1175	0	1175
Belgija	1164	0	1164
Iran	1040	0	1040
Indonezija	0	1040	1040
Južna Koreja	1000	0	1000

Vir: Nikolaos et al. (2023)

2.2.4 Shranjevanje energije v sistemih PSH in RSHP

Skladiščenje vode in vodni zbiralniki so ključni za povezavo voda-energija-prehrana-ekosistem (WEFE), tj. za soodvisnost vode, energije, prehranske varnosti in ekosistemov, – zato so sinergije vodne, energetske, okoljske in kmetijske politike ključne. Shranjevanje vode v rezervoarjih se lahko izkoristi za shranjevanje energije v dveh glavnih vrstah hidroelektram: 1) hidroelektrane z rezervoarjem (RSHP) - ko je rezervoar povezan s hidroturbinami - in 2) hidroelektrane s črpalkami (PSH) - ko je rezervoar povezan s hidroturbinami in črpalkami (ali z reverzibilnimi črpalkami s turbino) ter z drugim rezervoarjem. Poleg tega lahko PSH razvrstimo na 1) _odprtozančno, ko je vsaj eden od rezervoarjev povezan z reko, in 2) zaprtozančno, ko sta oba rezervoarja samostojna sistema. Ključna metrika shranjevanja energije za obe vrsti elektrarn je zmogljivost shranjevanja energije (izražena v GWh), ki se lahko opredeli kot energija, ki je shranjena v zgornjem rezervoarju in se lahko uporabi za proizvodnjo električne energije v enem proizvodnem ciklu (kadar sta dva rezervoarja povezana v zaprto zanko, manjši rezervoar omejuje zmogljivost). En proizvodni cikel skupaj z enim črpalnim ciklom tvori en celoten cikel PSH. Prilagodljivost, ki jo zagotavljata PSH in RSHP, je zelo pomembna; poleg tega je z zmanjšanjem števila obratovalnih ur kot osnovna obremenitev mogoče pustiti več uskladiščene vode in jo uporabiti v času konic, s čimer se izboljša prilagodljivost.

Shranjevanje energije v vodnih zbiralnikih^m RSHP in PSH je danes največji vir shranjevanja energije in edina zrela tehnologija za dolgotrajno shranjevanje energije (IEA, 2023b⁴³, Svetovna banka, 2024⁴⁴). V svetovnem merilu ima hidroelektrarna iz rezervoarjev zmogljivost shranjevanja približno 1500 TWh, kar je približno 170-krat več kot svetovni vozni park PSH in skoraj 2200-krat več kot zmogljivost Li-Ion baterij za stacionarne in avtomobilске aplikacije (IEA, 2021,⁴⁵). Če izvzamemo vodne zbiralnike, je več kot 90 % preostalega skladiščenja energije na svetu v PSH (IHA, 2024).⁴⁶

Quaranta in drugi (2024) so ocenili, da je razpoložljivi teoretični potencial za shranjevanje energije 55 TWhⁿ v EU's vodnih zbiralnikih (brez PSH in brez upoštevanja kaskadnega učinka^o zbiralnikov, ki na primer na Švedskem poveča shranjevanje energije z 8 TWh na 30 TWh). Teoretično skladiščenje energije v PSH znaša 6,3 TWh. Rezultati, navedeni v Graabak et al. (2017)⁴⁷, kažejo, da je v EU v vodnih zbiralnikih shranjena energija približno 90 TWh, kar je več od zgoraj ocenjene vrednosti 55+6,3=61 TWh, kar je verjetno posledica kaskadnega učinka, upoštevanega v švedski oceni. Zgoraj navedene ocene se nanašajo na največje razpoložljivo teoretično skladiščenje, pri čemer se za izračun skladiščenja uporabljata največji neto višek in celotna prostornina rezervoarja. V dejanskih obratovalnih pogojih, tj. pri tehničnem potencialu, se višek zmanjša, ko se zgornji rezervoar izprazni (kot tudi učinkovitost, ker se turbine oddaljijo od svojega projektne stanja), in ne

the whole reservoir's volume is used for safety and practical reasons. Poleg tega so možnosti omejene zaradi manjšega rezervoarja. Na podlagi teh dejavnikov je bila tehnična uporabna skladiščna zmogljivost rezervoarjev PSH končno ocenjena na približno 500-600 GWh po Quaranta et al. (2024) za PSH in 25 TWh za RSHP (brez kaskadnega učinka).

Če upoštevamo Evropo kot celoto, se ocenjuje, da evropska vodna zbirališča zagotavljajo teoretično zmogljivost skladiščenja med 180⁷² TWh in 220 TWh⁴⁸. Norveška ima največjo (85 TWh) skladiščno zmogljivost v Evropi, več kot katera koli država članica EU. Švica ima 8,4 TWh. Norveška hidroelektrarna deluje kot baterija za uravnoteženje spremenljivih obnovljivih virov energije v sosednjih državah, saj ima več kot 1000 rezervoarjev (Graabak et al., 2017).⁴⁷

Quaranta in drugi (2024) so pregledali tudi znanstvene ocene o možnem prihodnjem razvoju (npr. nov trajnostni razvoj PSH, kot so povezovanje rezervoarjev, prenova, izkoriščanje opuščanih rudnikov) in jih umestili v sedanje razmere ter prikazali ustreznost vsake potencialne strategije. Rezultati Stocksa in drugih (2021) ter Hunta in drugih (2020), bolje obravnavani v Quaranta in drugih (2024), so pokazali precej velik preostali potencial za PSH, čeprav bi lahko bili stroški postavitve precej visoki zaradi dejstva, da bi jih gradili na najdražjih lokacijah (najbolj primerne so že izkoriščene), pa tudi zaradi okoljskih omilitvenih ukrepov, ki jih je treba izvesti, ali okoljskih omejitev, ki omejujejo potencial. Gimeno-Gutiérrez in Lacal- Arántegui (2015) ter Weber in drugi (2024) so ocenili potencial povezovanja rezervoarjev oziroma izkoriščanja opuščanih rudnikov, katerih kapitalski izdatki (CAPEX) in vplivi na okolje bi bili občutno manjši kot pri novih projektih na zelenih površinah. Ocenjeni potencial, ki bi ga bilo mogoče uresničiti, bi znašal 0,8 TWh in 3 TWh (ob upoštevanju najbolj ekonomičnih lokacij), kar je več kot 50 % trenutnega teoretičnega potenciala PSH. Te zadnje študije ne zahtevajo gradnje novih jezov in so v svojo analizo že vključile nekatera ekonomska merila (glej tudi preglednico 10).

^m vodna energija iz rezervoarja = posebna vrsta hidroenergetskega sistema, ki uporablja rezervoar in nima črpalne zmogljivosti;

hidroenergetski rezervoar: izraz, ki se posebej nanaša na rezervoar s hidroenergijo za enkratno uporabo.

ⁿ se izračuna z *višina vodostaja x skladiščeno prostornino x koeficient*, pri čemer se predpostavlja: *višina vodostaja >> višina jez* in je konstantna na svoji največji vrednosti, medtem ko se rezervoar prazni, ter celotna načrtovana prostornina (koeficient je pretvorbeni faktor za pridobitev TWh). Za izračune je uporabljen večji rezervoar, ker se sklicujemo na največji teoretični rezervoar in ker je iz sistema ICOLD na splošno mogoče izslediti le večji rezervoar.

^o opredeljena kot dejavnost, pri kateri rezervoarji v spodnjem toku shranjujejo in izpuščajo vodo iz rezervoarjev v zgornjem toku v kombiniranem, integriranem in optimiziranem sistemu.

Nedavni razvoj dogodkov

Leto 2022

Po podatkih IHA (2023)³⁰ so leta 2022 najpomembnejši razvoj hidroelektram v EU izvedle Avstrija, Francija, Italija, Irska, Poljska, Portugalska, Romunija in Bolgarija. Portugalska (+998 MW) in Avstrija (+89 MW) sta bili državi z največjim povečanjem zmogljivosti. Za primerjavo: Švica je dodala 900 MW, Turčija 558 MW in Norveška 163 MW. Elektrarna Gemeinschaftskraftwerk Inn je nastala kot skupni projekt švicarske občine Valsot in avstrijske občine Prutz. Sistem ponuja 89 MW inštalirane zmogljivosti, ki se nahaja na reki Inn in proizvede skoraj 440 GWh/leto električne energije. Gre za največjo novozgrajeno elektrarno z vodnim tokom v alpski regiji, ki je stala 600 milijonov EUR. Financiranje je vključevalo prispevke Evropske investicijske banke (150 milijonov EUR) in banke KfW IPEX-Bank (90 milijonov EUR). Na Irskem bo hidroelektrarna Silvermines prejela 4,3 milijona EUR za raziskave in vzpostavitev črpalne elektrarne v zgodovinskem rudniku. Na Portugalskem se nadaljuje gradnja za dokončanje elektrarne Alto Tâmega, ki je del projekta Tâmega Giga Battery. Operacije polnjenja rezervoarja bodo predvidoma stekle oktobra 2023. To je zadnja faza pred dokončanjem projekta Tâmega Giga Battery, ki se pričakuje sredi leta 2024. Projekt vključuje gradnjo treh elektram: Daivões, Gouvães in Alto Tâmega s skupno instalirano močjo 1158 MW. Elektrarna Daivões je bila slovesno odprta julija 2022 in je elektrarna z rezervoarjem moči 118 MW. Elektrarna Gouvães je bila odprta julija 2022 in je črpalna elektrarna z močjo 880 MW. Nazadnje, Alto Tâmega, katere stroški znašajo približno 1,5 milijarde EUR, bo imela zmogljivost shranjevanja 20 GWh in naj bi letno prihranila 1,2 milijona ton emisij CO₂. Na Švedskem so si zadali cilj, da do leta 2023 postavijo 600 MW. V črpalni hidroelektrarni La Coche v Franciji je začela obratovati nova Peltonova turbina z močjo 240 MW, ki je nadomestila zastarele modele. Češka in Slovaška se osredotočata predvsem na posodobitev naprav. V Italiji je bila sklenjena pogodba o določitvi tehnološkega napredka v 33 hidroelektrarnah v državi⁴⁹.

Leto 2023

Po podatkih IHA (2024) je v letu 2023 v EU največ zmogljivosti povečala Avstrija (+120 MW), sledita ji Nemčija (+91 MW) in Finska (+5 MW). Avstrija je še naprej vodilna pri razvoju PSH. Lokalni cevovodi trenutno predstavlja skoraj 2,17 GW hidroelektram in sistemov PSH, od tega je več kot 1 GW trenutno v postopku gradnje. V Estoniji je projekt Zero Terrain Paldiski underground PSH, ki ga je razvila družba Energislab, januarja 2023 pridobil dovoljenja in je pripravljen za gradnjo. Junija 2023 si je zagotovil dodatnih 11 milijonov EUR zasebnih sredstev od skupine baltskih podjetij. Ta novi 500MW/6GWh scheme is one of the EU "projects of common interest" and is supported by the EU's Instrument za povezovanje Evrope. Na Finskem podjetje Kemijoki Oy preučuje možnosti za razvoj elektrarne Ailangantunturi, 550MW PSH na vzhodu Laponske. V načrtu so do tri manjše elektrarne PSH s skupno zmogljivostjo več kot 100 MW in skupno naložbo do 300 milijonov EUR. Širitev in predelava hidroelektrarne Rudolf Fettweis v Forbachu je maja 2023 dosegla končno odločitev o naložbi. Obstoječa elektrarna s konvencionalnim rezervoarjem bo posodobljena in preurejena v elektrarno s PSH. Lastniki Energie Baden-Württemberg ocenjujejo, da bodo stroški pretvorbe znašali 280 milijonov EUR, vključno z izgradnjo nove elektrarne za umestitev 57MW črpalne naprave, posodobitvijo obstoječe elektromehanske opreme (71MW) in prilagoditvijo obstoječega bazena Forbach, ki bo služil kot spodnji rezervoar sheme. Italijansko komunalno podjetje Edison je odprlo hidroelektrarno Quassolo z zmogljivostjo 2,7 MW na reki Dora. V Španiji je januarja 2023 hidroelektrarna Chiara PSH na Gran Canarii prejela 90 milijonov EUR nepovratnih sredstev iz Evropskega sklada za regionalni razvoj. Ta projekt razvija lokalni sistemski operater, kar je v Evropi edinstvena lastniška struktura. Po dokončanju se bo elektrarna ponašala z zmogljivostjo 200 MW v turbinskem načinu, 220 MW v črpalnem načinu in skupno zmogljivostjo shranjevanja 3,6 GWh. Povezana bo tudi z obratom za razsoljevanje morske vode. Marca 2023 je družba Iberdrola od španske vlade pridobila dovoljenje za

projekt Valdecañas PSH. Ta elektrarna bo imela skupno moč 275 MW in je hibridni sistem, ki vključuje kemične baterije z zmogljivostjo 15 MW, ki shranjujejo do 7,5 MWh energije. Skupno shranjevanje energije baterij in hidravličnih enot bo znašalo 210 GWh. Na Švedskem je družba Vattenfall napovedala ambiciozne načrte za povečanje svoje hidroenergetske zmogljivosti z izgradnjo dodatnih 720 MW (IHA, 2024).

It is worth to mention the 15 dam projects negotiated with NGO's in Switzerland which will/should prispevajo k varnosti oskrbe v kritičnem zimskem polletju s +2000 GWh/leto .⁵⁰

2.3 Prihodnji trendi, trajnostni potencial in skrite priložnosti

2.3.1 Uvod

Vodna energija je trenutno velikan med tehnologijami za proizvodnjo električne energije z nizkimi emisijami ogljika in je ključna tehnologija za optimalno vključitev nestabilnih virov energije (npr. vetrne energije in fotovoltaike) v električno omrežje. V bližnji prihodnosti je treba povečati zmogljivost hidroelektrarn (skupaj z vodo in skladiščenjem energije), vendar se pri tem soočajo z več okoljskimi omejitvami in ovirami. Globalna kumulativna zmogljivost hidroelektrarn se bo po pričakovanjih povečala s 1416 GW leta 2023³⁰ na približno 1560 GW leta 2030 in do 1800 GW leta 2050 v skladu z globalnim scenarijem CETO 2 °C 2024, izračunanim z modelom POLES-JRC (glej Prilogo 4). Za leto 2030 so te napovedi zmogljivosti dobro usklajene z napovedmi agencij IEA in IRENA¹¹⁰ medtem ko imata ti organizaciji bolj optimistične napovedi za leto 2050, ko naj bi svetovna inštalirana zmogljivost hidroelektrarn dosegla 2500 GW. Mednarodna agencija za energijo (IEA) in Mednarodna agencija za obnovljive vire energije (IRENA) ocenjujeta, da bo v letu 2050 potrebna približno dvakrat večja količina hidroelektrarn, kot je trenutno nameščena v their net zero scenarios for 2050. IRENA's . Scenarij neto ničelnega scenarija predvideva več kot 2900 GW skupne zmogljivosti hidroelektrarn, od tega skoraj 420 GW PSH. Za premostitev vrzeli med trenutno instalirano zmogljivostjo in prihodnjimi napovedmi je treba dodati več kot 50 GW na leto. 100 največjih projektov greenfield v pripravi, vključno s projekti PSH in brez projekta Grand Inga v Demokratični republiki Kongo, ker je tako velik, da bi izkrivljval rezultate, znaša 280 GW. V Evropi je 7,5 GW od teh 100 projektov (IHA, 2024).

V EU so obeti za širitev vodne energije manj jasni zaradi številnih ovir, ki so obširno obravnavane v celotnem poročilu in v preglednici 6⁵¹. Kljub temu se načrtuje, da se bodo nekateri projekti izvedli (slika 9). Glavne prednostne naloge za hidroenergijo v EU so opredeljene v partnerstvu EU za prehod na čisto energijo⁵² in so prožnost, skladiščenje, digitalizacija, storitve hidroenergije, trajnostne rešitve in ravnanje z usedlinami. Najpomembnejši izzivi so naslednji:

- 1) regulativni okvir zahteva stroge okoljske, podnebne in naravovarstvene standarde, ki pomenijo upravne ovire (glej oddelek 3.3);
- 2) najprimernejše lokacije za hidroenergetske projekte so že izkoriščene ali so okoljsko zaščitena območja⁵³;
- 3) nove velike hidroelektrarne na črno imajo visoke stroške naložb in/ali dolg čas gradnje, kar jih izpostavlja tveganju in zapletenim postopkom financiranja;
- 4) plačilo za hidroelektrarne, zlasti dolgoročno, je ogroženo zaradi pričakovanega znižanja cen električne energije, zlasti zaradi prodora več obnovljive energije. Za odpravo teh ovir, ki onemogočajo polno izkoriščanje hidroenergetskega potenciala v EU, ki je tako pomemben za doseganje cilja ogljične nevtralnosti EU, so potrebni ad hoc posegi politike in odločno izvajanje reforme zasnove trga z električno energijo (EMD).

Preglednica 6. Izzivi za razvoj hidroenergije v državah članicah.

Avstrija	Sezonska spremenljivost pretoka vode
Belgija	Omejen vodni potencial zaradi topografije
Bolgarija	Relativno majhen hidroenergetski potencial
Hrvaška	Okoljska zaskrbljenost glede rečnih ekosistemov
Ciper	Ni večjih vodnih virov, vendar obstaja možnost za novo PSH.
Češka republika	Omejene primerne lokacije za hidroelektrane
Danska	Skoraj ni hidroelektrarn.
Estonija	Zelo majhen hidroenergetski potencial
Finska	Varovanje naravnih vodnih poti in ribjih habitatov
Francija	Regulativne omejitve za razvoj novih hidroelektrarn
Nemčija	Okoljske in regulativne omejitve
Grčija	Suše vplivajo na raven vode za hidroelektrane
Madžarska	Minimalni hidroelektrični viri
Irska	Omejen potencial za velike hidroelektrane, razen na nekaj lokacijah, vključno s socialno varstvenimi stanovanji
Italija	Regulativne ovire za nove hidroenergetske projekte
Latvija	Zaskrbljenost zaradi zajezitve rek za hidroelektrane
Litva	Okoljski vpliv na rečne ekosisteme
Luksemburg	Zelo omejena zmogljivost hidroelektrarn
Malta	Ni pomembnih hidroenergetskih virov
Neterlands	Majhna nadmorska višina omejuje možnosti hidroelektrarn
Poljska	Omejen hidroenergetski potencial, načrtovana ena hidroelektrana.
Portugalska	Sezonska spremenljivost pretoka vode
Romunija	Regulativni postopki odobritve za hidroelektrane
Slovaška	Rast hidroelektrarn omejujejo okoljski pomisleki
Slovenija	Spori s sosednjimi državami glede upravljanja voda
Španija	Konkurenčna raba vode za kmetijstvo in hidroelektrane
Švedska	Usklajevanje proizvodnje vode z okoljskimi vprašanji

Vir: Hassan et al. (2024)

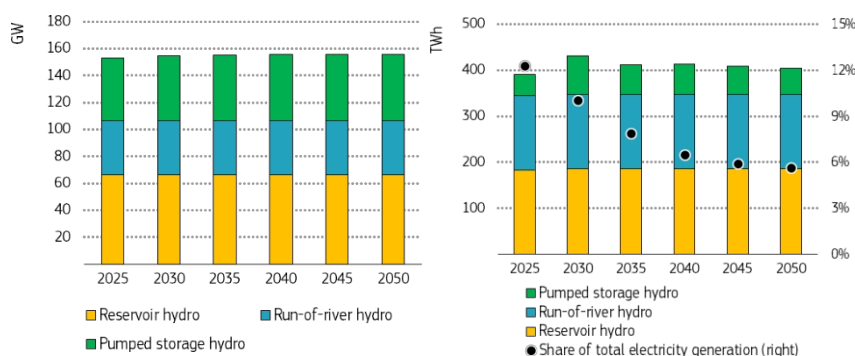
2.3.2 POTEnCIA's CETO Projekcije scenarija za leto 2024

According to POTEnCIA's CETO 2024 Scenari o^{54,55} (za več podrobnosti o modelu POTEnCIA glej Prilogo 4) se predpostavlja, da bo instalirana moč hidroelektrarn v EU v prihodnosti ostala skoraj nespremenjena, vendar se bo še vedno povečevala s +3 GW novih PSH v letu 2050 (glej sliko 7). Proizvodnja v zaprti zanki PSH (skupaj s tisto iz črpane vode v odprti zanki PSH) bo leta 2030 proizvedla dodatnih +56 TWh v primerjavi z letom 2020 (vendar tudi ta adsorbira skoraj podobno količino električne energije, ki zagotavlja predvsem skladiščenje in prožnost, ne pa neto proizvodnje električne energije); RoR bo proizvedla +16 TWh/leto, proizvodnja RSHP pa se bo zmanjšala za 16 TWh. Po letu 2035 naj bi se proizvodnja električne energije iz hidroelektrarn ponovno nekoliko zmanjšala, vendar ostala višja od ravni iz leta 2020, in sicer zaradi vse večje konkurence z drugimi tehnologijami shranjevanja električne energije in prožnejšega odjema odjemalcev, ki so pripravljeni zagotoviti odziv na povpraševanje (npr. pametno polnjenje električnih vozil ali prožna proizvodnja vodika v elektrolizerjih). Te analize temeljijo predvsem na tehnično-ekonomskih premislekih in političnem okviru, ki jih spremlja. Vendar pa zaradi velike negotovosti in zapletenosti napovedovanja prihodnjega vpliva podnebnih sprememb ne upoštevajo prihodnje razpoložljivosti vode.

Slika 8 prikazuje, kako se bo urni proizvodni vzorec črpanja v PSH spremenil do leta 2050. To je posledica spremembe paradigme v elektroenergetskem sistemu. Leta 2020 bo elektroenergetski sistem

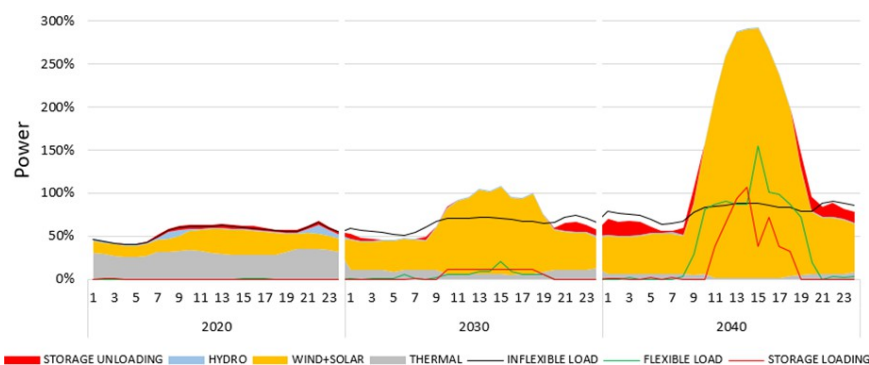
prevladuje neelastično urno povpraševanje (tj. povpraševanje, ki se ne bo spremenilo ne glede na ceno električne energije) in proizvodnja na osnovi toplote (jedrska energija, fosilna goriva itd.). Leta 2020 hidroenergetsko črpanje izvaja energetska arbitraža tako, da električno energijo nalaga v urah z nizkim neelastičnim povpraševanjem (in s tem nizko ceno električne energije) ter jo oddaja v urah z visokim neelastičnim povpraševanjem (in s tem visoko ceno električne energije). Vendar pa proti letu 2050 v sistemu vse bolj prevladuje spremenljiva proizvodnja električne energije iz obnovljivih virov in vse večji obseg prožnega povpraševanja (tj. povpraševanja, ki je pripravljeno prilagoditi svoj vzorec porabe, da bi izkoristilo nižje cene električne energije). Posledično se ure z nizkimi cenami električne energije (ko se črpajo hidroelektrarne) običajno premaknejo v ure, ko je proizvodnja električne energije iz spremenljivih obnovljivih virov največja (predvsem sredi dneva zaradi fotovoltaike, kot je prikazano na sliki 8). Po drugi strani pa naraščajoče količine prilagodljivega povpraševanja zmanjšujejo potrebo po prilagodljivosti črpalnih hidroelektrarn, kar zmanjšuje njihov skupni prispevek k sistemu.

Slika 7. Instalirana zmogljivost hidroelektrarn in proizvodnja električne energije v EU, 2025-2050. Proizvodnja električne energije iz PSH vključuje proizvodnjo električne energije iz zaprte zanke PSH in tisto iz črpane vode v odprti zanki PSH.



Vir: Scenarij POTEnCIA CETO 2024 (glej Prilogo 4)

Slika 8. Urna proizvodnja električne energije (označeno območje) in obremenitev (označene črte) v letih 2020, 2020's hourly average load (put as 100% as reference condition) aggregated by type, in a spring day in a 2030 in 2040 glede na južnevropsko državo. Razkladanje skladišča = proizvodnja. Skladiščenje vključuje PSH, po letu 2030 pa tudi baterije.



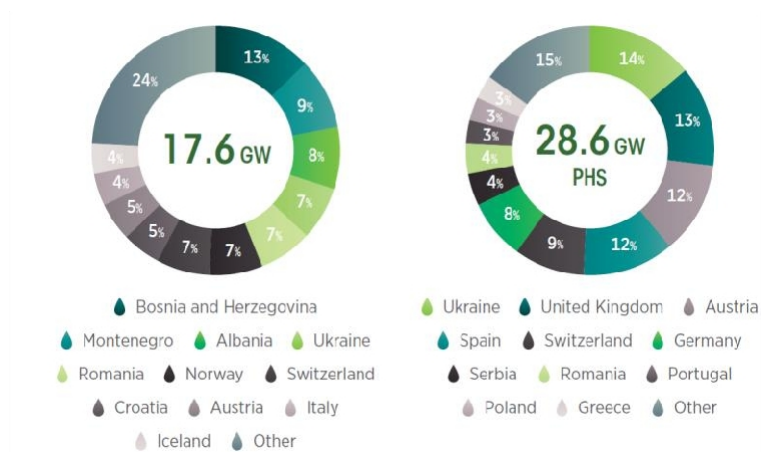
Vir: POTEnCIA CETO 2024

Tarvydas (2022)⁵⁶ predvideva povečanje proizvodnje hidroenergije do približno 420 TWh/leto v letu 2050 (vključno s PSH), kar pomeni povečanje za približno 60 TWh/leto glede na povprečno letno proizvodnjo v zadnjih 10 letih (+17 %). Z nadaljnjo obdelavo rezultatov Calheirosa in drugih (2024)⁵⁷, se lahko do leta 2040 proizvodnja tradicionalne hidroenergije (TWh/leto) poveča za 27 %, do leta 2060 za 16 %, medtem ko so napovedi po letu 2060 zelo negotove. Po podatkih Schmitta in Rosa (2024)⁵⁸, ki sta obdelala podatke Mednarodne agencije za energijo (IEA), se lahko v Evropi OECD povpraševanje po inštalirani zmogljivosti hidroelektrarn (GW) do leta 2050 poveča za 30 %.

2.3.3 Tekoči projekti

V preglednici 7 in na sliki 9 so navedeni projekti hidroelektrarn in PSH, ki se gradijo in načrtujejo v Evropi.

Slika 9. Vodni projekti v Evropi, 2022-2037 .⁵⁹



Vir: IRENA

Preglednica 7. PSH v gradnji, načrtovanju in skoraj pripravljena (leta 2022). Prazna celica = podatki niso na voljo

Država članica	Turbina MW	Črpalka MW	Letna proizvodnja GWh/leto
AT	45	45	
AT	480	480	850
AT	170	170	460
AT	170	190	216
AT	170	150	
AT	1015	400	785
DE	18	16	
DE	300	300	
EE	506	509	1100
EE	225	225	
EL	220	234	264
EL	460	496	552
ES	200	220	
ES	570		
IE	360	360	650
LT	110	77	
PL	750	804	1275
PT	880	880	1468
SL	400		777

Vir: Hidroelektrarne in jezovi

V preglednici 8 so navedeni veliki jezovi, ki so v gradnji, v skladu s svetovnim atlasom hidroelektrarn in jezov za leto 2022⁶⁰. Omeniti velja, da so do leta 2017 v številnih državah jugovzhodne Evrope

število projektov, ki so se izvajali, pa je močno zaostajalo za skupnim številom načrtovanih hidroenergetskih projektov. Do leta 2017 je bilo na primer v teh državah v izvajanju le 9 % projektov, pri čemer je bil odstotek za Srbijo in Bosno 3,5-odstoten, za Bosno in Hercegovino pa 6-odstoten.

Herzegovina (that are not EU's members), respectively⁶¹. To je verjetno posledica dolgotrajnih postopkov pridobivanja dovoljenj in okoljskih omejitev.

Preglednica 8. Zelo veliki jezovi (višina > 60 m) v gradnji/priprave na gradnjo/priprave na gradnjo/priprave na gradnjo (2022). H = vodna energija, S = oskrba z vodo, I = namakanje, reg = regulacija/zadrževanje, div = preusmeritev. Diverzijski jez je jez, ki v celoti ali delno preusmeri tok reke iz njenega naravnega toka. Diverzijski jezovi običajno ne zadržujejo vode v rezervoarju; regulacijski jezovi uravnavajo pretok vode na območjih pod jezom.

Država članica	Dam's Višina	Namen
AT	113	H
EL	76	S
EL	150	H
EL	72	I,S
EL	60	S,I
EL	145	H,I,S, div
ES	65	S,I
ES	91	reg,I
ES	59	S,I
GR	60	I
IT	78	I
IT	60	I,S
IT	88	I,S
PT	106.5	H
RO	67	H
RO	62	S
RO	103	H,S
RO	91	H,S

Vir: Hidroelektrarne in jezovi

2.3.4 Trajnostni potencial za hidroenergijo in PSH

Trajnostna hidroenergija mora doseči dobro ravnovesje med proizvodnjo električne energije, družbenimi koristmi ter vplivi na ekosistem in biotsko raznovrstnost. V Evropski uniji bo večina razvoja hidroenergetike temeljila na optimizaciji in posodobitvi obstoječe infrastrukture.

Posodobitev obstoječega hidroenergetskega parka je privlačna priložnost za povečanje učinkovitosti, proizvodnje, prožnosti, trajnosti in odpornosti na podnebne spremembe (povprečna starost hidroelektrarn

the EU' hydropower fleet je skoraj 45 let. Ob posodobitvi celotnega hidroenergetskega parka z najboljšimi tehnologijami za povečanje učinkovitosti (in ne s projektnim pretokom ali bruto višino) ter ob predpostavki, da je treba posodobiti vse hidroelektrarne, Quaranta in drugi, (2021) so ocenili, da bi lahko letno proizvodnjo električne energije iz obstoječega hidroenergetskega parka povečali za približno 10 % (~40 TWh/leto)⁶, z izvajanjem novih orodij za digitalizacijo hidroelektrarn, sodobne elektromehanske opreme (za zamenjavo dotrajane opreme, povečanje njene prilagodljivosti in nekoliko najboljše točke učinkovitosti) ter z optimizacijo vodnih poti (npr. zmanjšanje trenja in izgub na glavi). To je očitno zgornji prag, vendar ne upošteva dodatnih koristi v primeru povečanja pretoka ali nagiba (npr. z zvišanjem jezov), pa tudi ne prečnih koristi, ki jih prožnost lahko prinese

⁶ Ob predpostavki trenutnih tržnih in hidroloških razmer.

mreža. Dodatne strategije za povečanje proizvodnje iz posodobitve starih elektrarn vključujejo povečanje jezov (koristno zlasti za povečanje zmogljivosti skladiščenja), nove vodne poti za povečanje največje inštalirane zmogljivosti in boljše upravljanje rezervoarjev za zmanjšanje razlitij (slednje lahko poveča letni prihodek do 10 %). Cilj posodobitve bi moral biti tudi izboljšanje odpornosti na podnebne spremembe in optimizacija delovanja hidroelektrarn za boljše obvladovanje prihodnjih energetskih potreb, dinamike trga in novih hidroloških časovnih nizov (več poplav in suš).

Podnebne spremembe vplivajo tudi na hidroenergijo. Po eni strani je proizvodnja hidroenergije odvisna od razpoložljivosti vode, v dolgih sušnih obdobjih pa lahko pride do pomanjkanja vode. Po drugi strani pa lahko optimalno upravljanje hidroenergetskih rezervoarjev skupaj z boljšo napovedjo dotoka in vremena pomaga pri blaženju suš in lahko deluje kot sistem za nadzor poplav. Gøtske in Victoria (2021)⁶² sta ocenila, da se bo letni dotok za scenarije z visokimi (srednjimi) emisijami v južnih državah zmanjšal za 31 % (20 %) in povečal za 21 % (14 %) v severnih državah (zlasti v zimskih obdobjih), pogostejše in daljše suše v sredozemskih državah pa so

expected. The median decrease of generation of ROR hydropower will be -3% in the future v italijanskih Alpah. Več podrobnosti je na voljo v poročilu CETO za leto 2022. Farinotti et al., (2016)⁷⁸ so predlagali, da bi lahko deglacijonizirajoča povodja (povodja, kjer izginjajo ledeniki) pomembno prispevala k povečanju proizvodnje v prihodnosti (do leta 2050), če bi obstoječi hidroenergetski park v takih povodjih nadgradili s povečanjem količine skladiščenja (za RSHP) ali proizvodne zmogljivosti (za ROR in RSHP). Cilj novega razvoja bi moral biti tudi povečanje skladiščne zmogljivosti obstoječih rezervoarjev z odstranjevanjem sedimentov; povprečni letni dotok sedimentov v evropski rezervoar je 0,7 % prostornine rezervoarja. Rešitve za preprečevanje in ublažitev (npr. obvozi)⁶³ lahko pripomorejo k ublažitvi tega problema; ena od možnosti je tudi poglobljanje, vendar v EU stane več milijard EUR na leto⁶⁴, poleg tega pa ima negativen vpliv na površinske vode (tako spremembe morfoloških značilnosti kot povečan kemični pritisk zaradi morebitnih onesnaženih sedimentov).

Razvoj hidroenergije v obstoječih infrastrukturah (na splošno mala hidroenergija, celo mikroenergija), npr. v vodovodnih omrežjih (akvadukti), v obstoječih pregradah z majhno višino vode (npr. vodna kolesa v mlinih) in v čistilnih napravah, je bil cilj številnih raziskav in uvajanja. Razlog za to so manjši vplivi v primerjavi s konvencionalno hidroenergijo na zelenih površinah v sladkovodnih sistemih in neizkoriščen potencial v EU^{65,66} (Punys et al., 2019; Quaranta et al., 2022). Možnosti male hidroelektrarne, vključene v obstoječe objekte, lahko zagotavljajo decentralizirano energijo, kadar električno omrežje ni na voljo, ga je težko priključiti ali se izogniti nadaljnji širitvi omrežja (npr. nekatera alpska območja, gorski begunci). Tehnični potencial, povezan s temi strategijami, je v EU omejen na približno 10 TWh/leto. Skriti potencial obstaja tudi v hidravličnih infrastrukturah v zasebni industriji, ki zahteva veliko vode, kot sta rudarstvo ali proizvodnja energije (uporaba hladilnih voda). Hidrokinetične turbine imajo majhen potencial, vendar bi lahko predstavljale zanimivo strategijo, če bi bile nameščene na repu hidroelektrarne kot naprave za razpršitev kinetične energije (Quaranta in Muntean, 2023)¹⁴. Nove male hidroelektrarne, ki vključujejo gradnjo novih jezov/zaporov, so precej sporne zaradi svojih vplivov in omejene letne proizvodnje energije glede na obstoječi hidroenergetski park. Bodis in drugi (2015)⁶⁷ so ugotovili, da je potencial v EU 111 TWh/leto, kar je približno 40 TWh/leto več od sedanjega, vendar brez upoštevanja lokalnih tehničnih omejitev. Quaranta et al. (2022) so posodobili analizo z upoštevanjem različnih scenarijev okoljskega toka, prostorske gostote naprav in dolžine odvzema ter pokazali, da se lahko teoretični potencial (ki ne upošteva lokalnih in krajevnih omejitev) občutno razlikuje.

Dolgoročne napovedi in potencialne ocene EU za PSH in nove jezove so bolj zahtevne, saj se soočajo z okoljskimi in finančnimi izzivi. V desetletju 2000-2010 je bilo v Evropi, ki je članica OECD, v obratovanje predanih 22 črpalno-akumulacijskih enot, ki so lahko proizvedle 2 443 MW nazivne moči⁹. V obdobju 2011-2020 je bilo predanih v uporabo, v gradnji ali načrtovanih 76 črpalno-akumulacijskih enot, ki lahko proizvedejo 11 562 MW (za primerjavo: 40 MW v ZDA).

⁹ OECD Evropa vključuje Avstrijo, Belgijo, Češko, Dansko, Estonijo, Finsko, Francijo, Nemčijo, Grčijo, Madžarsko, Islandijo, Irsko, Italijo, Luksemburg, Nizozemsko, Norveško, Poljsko, Portugalsko, Slovaško republiko, Slovenijo, Španijo, Švedsko, Švico, Turčijo in Združeno kraljestvo.

gradnja in zagon. Nekatere napovedi predvidevajo, da bo v EU do leta 2030 postavljenih 4 GW novih PSH (v Švici so za odobritev pripravljene približno 4 GW, op. prev. Anton Schleiss), do leta 2050 pa naj bi se zmogljivost PSH povečala na 70-75 GW^{68,69}. Vendar POTEnCIA (Priloga 4) predvideva precej stabilno inštalirano moč (vendar vse večjo uporabo PSH), večina zmogljivosti novih tehnologij shranjevanja pa naj bi bila v glavnem iz baterij.

V več študijah je bil količinsko opredeljen potencial shranjevanja energije v novih PSH z različnimi stopnjami omejitev (za podrobnosti o teoretičnih in tehničnih opredelitvah potenciala ter za popoln pregled glej Quaranta et al., 2024⁷⁰). Stocks et al. (2021)⁷¹ so ocenili, da je teoretični potencial za shranjevanje energije v EU 339 TWh v PSH z zaprto zanko, od tega 25 TWh pod 1000 USD/kW in 88 TWh nad 2000 USD/kW. Hunt et al. (2020) so opredelili 50 TWh sezonskega shranjevanja energije v EU z odprto zanko PSH in 173 TWh z upoštevanjem kaskadnega učinka (tj. rezervoar v spodnjem toku lahko shrani in sprosti vodo, ki prihaja iz rezervoarjev v zgornjem toku). Ugotovljeno je bilo tudi, da kaskadni učinek zmanjša stroške shranjevanja energije za 30 %.

V ocenah Stocksa in drugih (2021) ter Hunta in drugih (2020) niso bile upoštevane omejitve glede prebivalstva, rabe zemljišč, biotske raznovrstnosti, prenosa itd., zato so predstavljene obstoječe možnosti in ne njihova izvedljivost. Zato je prava tehnična priložnost za širitev PSH najprej razširitev območja delovanja obstoječih, npr. z uvedbo pametnih senzorjev, turbin s spremenljivo hitrostjo z večjo učinkovitostjo in optimizacijo sistema.

Ker je eden od najbolj omejujočih dejavnikov pri morebitni uporabi obsežnih PSH na zelenih površinah z dvema rezervoarjema ta, da ni veliko lokacij, kjer bi bila uporaba ekonomsko upravičena, se preučujejo nove strategije, ki ne zahtevajo gradnje novih jezov. Povezovanje rezervoarjev, opuščeni rudniki, virtualne koristi od shranjevanja energije, ki izhajajo iz prostorsko-časovne koordinacije hidroelektrarn po Evropi (zlasti povezava z norveškim omrežjem), in nadgradnja obstoječih PSH (vključno s povečanjem višine jezov) so priložnosti za črpalne hidroelektrarne in za uravnoteženje variabilnosti proizvodnje^{72,73}. Realni potencial, ki ga je mogoče doseči s povezovanjem rezervoarjev na razdalji do 20 km, je +4 TWh v EU (Gimeno-Gutiérrez in Lacal-Aránzategui, 2017). Če upoštevamo največjo razdaljo 5 km, se uresničljivi potencial za shranjevanje energije v EU zmanjša na 141 GWh. S prostorsko-časovnim usklajevanjem se lahko potrebe po shranjevanju energije v Evropi v 3-5 letih zmanjšajo za 140 TWh (Wörman et al., 2020). Podvodna PSH, skladiščenje energije na nizkih vodah⁷⁴ in podzemna PSH z uporabo opuščeni rudnikov⁷⁵ so v fazi preučevanja, s tem povezan potencial tretjega (tj. opuščeni rudniki) pa znaša približno 5 TWh (3 TWh najcenejše lokacije). Energijo bi lahko shranjevali z uporabo obstoječih jezer, majhnih depresij ali zadrževalnih bazenov na terenu v trajnostnih urbanih drenažnih sistemih. V Franciji je bil potencial PSH iz malih jezer in rezervoarjev ocenjen na približno 33 GWh, kar po podatkih Quaranta in drugih (2024) predstavlja približno 38 % trenutne nacionalne tehnične zmogljivosti shranjevanja energije iz PSH⁷⁵. Obstoječe rezervoarje je mogoče povezati z novimi rezervoarji na višjih nadmorskih višinah. V Švici bi z višinskim povečanjem jezov, ki bi ga izvedli na nacionalni ravni, povečali zmogljivost skladiščenja za 30 %⁷⁶.

Države z odvečnim potencialom PSH bi lahko poskušale povečati svoj potencialni tržni delež s prodajo svojih storitev sosednjim državam. Odprtje čezmejnih trgov za izravnalne zmogljivosti bi lahko bilo tudi pomembna spodbuda za večjo uporabo obstoječih zmogljivosti PSH³⁵.

Vloga črpalnih elektrarn pri energetskem prehodu se ne sme osredotočati le na shranjevanje energije. Črpalne elektrarne bi morale dopolnjevati delovanje obstoječih rezervoarjev in jezer, da bi izboljšale upravljanje z vodo. Pogostost poplav in suš v Evropi se s podnebnimi spremembami povečuje. Poleg blaženja podnebnih sprememb bi lahko črpalna hidroelektrarna povečala prilagajanje na podnebne spremembe z zagotavljanjem dragocenega dolgoročnega shranjevanja vode, shranjevanjem vode med poplavami in uporabo vode v sušnih obdobjih. Poleg tega lahko skladiščijo energijo na sezonski ravni, tako da poleti shranjujejo presežek sončne energije za proizvodnjo električne energije pozimi⁷⁷. V južneevropskih državah bi lahko novi zbiralniki ublažili že vidne učinke podnebnih sprememb (poplave, suše in požari ter nadomestili hidrološke spremembe zaradi umikanja ledenikov)⁷⁸.

⁷¹ <https://www.atlantis-project.eu/>

V nedavni študiji Stocksa in drugih (2024)⁷⁹, ki je podrobneje opisana v Dodatku 5, so bili za potencial PSH v EU (preglednica 9) ob upoštevanju obeh možnosti na nezaščitenih in zaščitenih naravnih območjih ugotovljeni naslednji rezultati.

Preglednica 9. Energetski potencial [gigavatne ure] neprekrivajočih se območij PSH (Evropska unija). Vse⁸ ni enako vsoti zaščitenega potenciala in nezaščitenega potenciala, ker se nekatera območja na zaščitenih območjih lahko prekrivajo z območji zunaj zaščitenih območij (glej Priloga 5).

Vrsta atlasa	Nezavarovana območja	Zaščiteni območja	Vse
Greenfield	507,327	1,461,208	1,774,220
Bluefield	64,150	88,102	113,024
Brownfield	2347	3427	4240
Ocean	114,599	301,449	416,048
Turčija	91,738	435,897	514,107
Skupaj	654,788	1,799,980	2,246,795

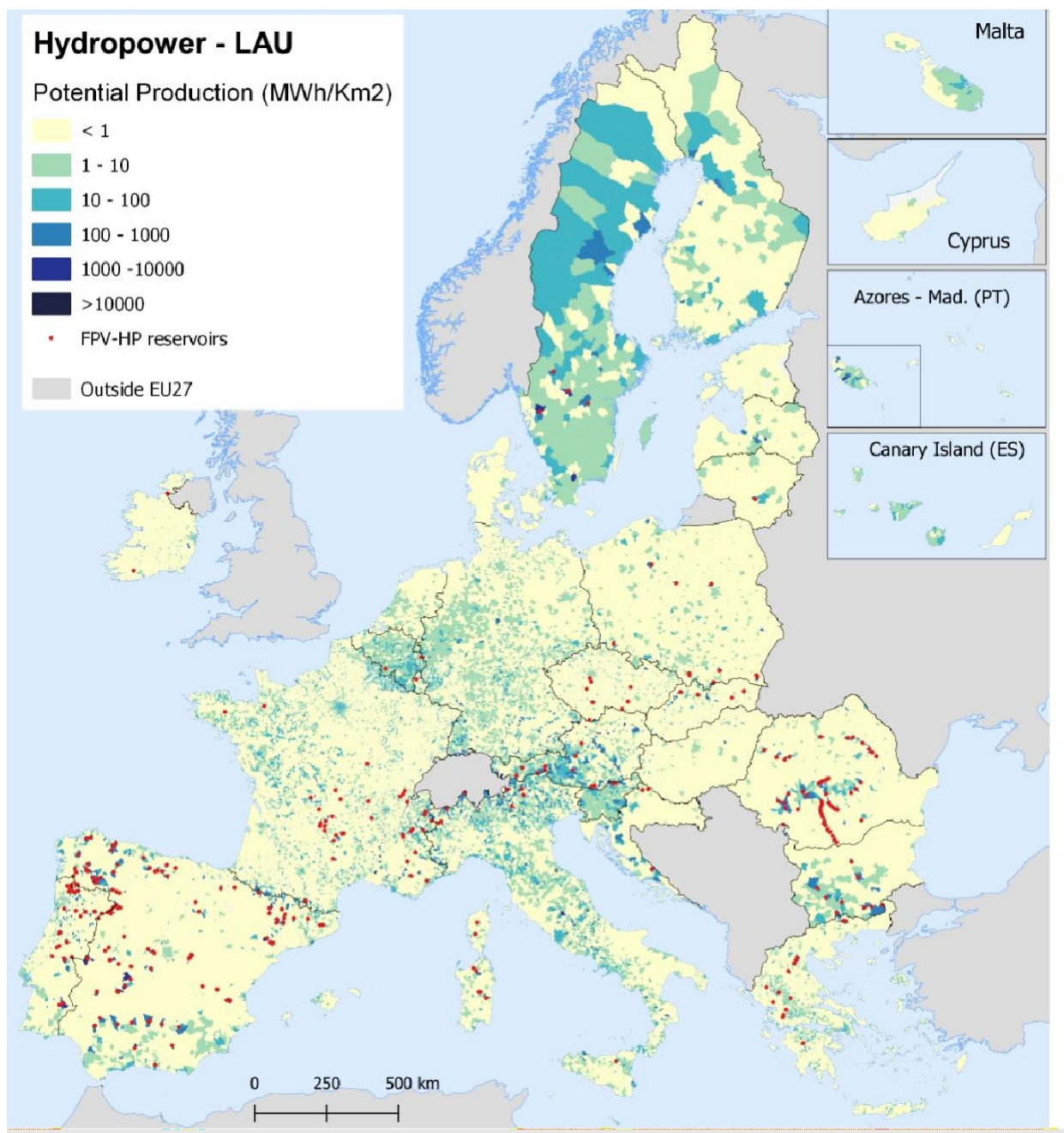
Vir: Priloga 5

Dodatne strategije za povečanje proizvodnje vključujejo hibridizacijo z drugimi energetskimi tehnologijami. Na primer, elektrarne, ki delujejo na reki, lahko proizvajajo vodik, ko cene energije padejo na ničlo. Baterije⁸⁰ lahko zagotovijo shranjevanje energije za več ur, medtem ko lahko hidroelektrarne shranjujejo in sproščajo energijo več dni in tednov, vključno s sezonskim prenosom, baterije in hidroelektrarne pa je mogoče integrirati skupaj⁸¹. Na rezervoarjih lahko namestimo plavajočo fotovoltaike ali pa fotovoltaike namestimo na površine jezov⁸². Postopki zajemanja metana se preučujejo, vendar so potrebne nadaljnje raziskave in razvoj za izboljšanje stroškovne učinkovitosti (ta ukrep je zlasti pomemben za tropske rezervoarje, medtem ko za evropske rezervoarje ni zelo pomemben, razen nekaj lokalnih izjem).¹⁴

Slika 10 prikazuje možnosti za dodatno proizvodnjo energije (iz vodne energije) v EU s poudarkom na posodobitvi in skriti vodni energiji v vodovodnih distribucijskih omrežjih, čistilnih napravah za odpadne vode in vodnih mlinih. Za dodatne podrobnosti glejte Perpiña Castillo et al. (2024). V preglednici 10 je povzet skriti potencial v EU (ali Evropi), ocenjen v znanstvenih študijah.⁸

⁸ Nekatere od teh študij so uporabljale evropsko zbirko podatkov o hidroelektrarnah, ki jo je razvilo Skupno raziskovalno središče, vključno s koordinatami, tipom, inštalirano močjo in v večini primerov bruto višino, letno proizvodnjo energije in zmogljivostjo shranjevanja vode. Ta podatkovna zbirka je bila uporabljena v nedavni študiji (Quaranta in Muntean, 2023) z oceno tipa turbine, števila enot in vrtilne hitrosti turbine's . Potrebno je nadaljnje delo za vključitev te zbirke podatkov v obstoječo zbirko podatkov.

Slika 10 Hydropower additional potential production in EU's municipalities estimated from modernization of starih obratov, novega razvoja vodovodnih omrežij, kanalizacijskih sistemov in vodnih mlinov. Potencial je prikazan po občinah na enoto površine. Rdeče pike označujejo primerne vodne zbiralnike za sisteme FPV. LAU je lokalna upravna enota. Za več podrobnosti glej Perpiña Castillo et al., (2024).



Vir: JRC

Preglednica 10. Potencial različnih strategij hidroenergije in PSH (v EU, če ni navedeno).

Strategija na področju hidroenergije	Potencialni	Komentar:
Zaprta zanka črpalne hidroelektrarne (PSH)	339 TWh (25 TWh najcenejše lokacije)	Stocks et al., (2021) ⁷¹ , EU, teoretično shranjevanje energije
Odrpta (ali mešana) sezonska PSH	50 TWh (10 TWh najcenejše lokacije) ali 173 TWh s kaskadnim učinkom	Hunt et al., (2020) ⁸³ , EU, teoretično shranjevanje energije
Prostorsko-časovno usklajevanje hidroenergetskih rezervoarjev	140 TWh	Wörman et al., (2022), ⁷² povezava med 1200 km in 3000 km, Evropa, zmanjšanje potreb po shranjevanju energije v 3-5 letih
Povezava rezervoarjev	29 TWh v Evropi, 4 TWh v EU (razdalja med rezervoarji največ 20 km), 198 GWh oziroma 141 GWh (razdalja največ 5 km).	Gimeno-Gutierrez in Lacal-Arantegu (2015), ⁷³ teoretično shranjevanje energije
Morska voda PSH	t.b.d.	Kougias et al., (2019) ¹⁹
PSH v rudnikih, podzemna PSH in PSH na nizkih vodah	5 TWh PSH v rudnikih	Menendez et al., (2017) ⁸⁴ , Hoffstaedt et al. (2022), Weber et al. (2024) ⁸⁵ , več podrobnosti v Quaranta et al. ⁷⁰
Posodobitev hidroelektrarn	40 TWh/leto	Quaranta in drugi, (2021) ³⁴ , Quaranta in Muntean (2023) ¹⁴ , dodatna proizvodnja energije
Novi rezervoarji in hidroelektrarne na deglaciariziranih območjih	11 (0,76) TWh/leto	Farinotti et al. (2019) ⁸⁶ , proizvodnja energije iz vseh (in iz najprimernejših) lokacij
Napajanje jezov brez napajanja (NPD)	1,75 GW	Garrett et al., (2021) ⁸⁷ , Evropa
Nove male hidroelektrarne RoR	10 ¹ TWh	več deset TWh/leto, Quaranta et al., (2022), in Bodis et al., (2015)
Obstoječe zgodovinske ovire, ki niso povezane z mlinom	5,2 TWh/leto	EU+UK, Punys et al., (2019)
Vodovodna podjetja (tlačnovodne čistilne naprave in čistilne naprave za odpadne vode)	3,0+0,1 TWh/leto	EU+UK, Quaranta et al., (2022)
Rekuperacija toplote iz generatorjev	2,9 TWh/leto	Quaranta in Muntean (2023) ¹⁴
Vodna kolesa v obstoječih mlinih	1,6 TWh/leto	Quaranta et al., (2022) ⁶⁵
Padavine na strehah stavb	0,5 TWh/leto	Quaranta et al., (2022) ⁸⁸
Hidrokinetične turbine v rekah	0,17-1,2 TWh/leto	Quaranta et al., (2022) ⁶⁵
Kanali pod pritiskom za namakanje in industrijske tokove	<0,1 TWh/leto	EU+UK, Mitrović et al., (2021) ⁸⁹
Plavajoči fotovoltaični sistemi (zmanjšanje izhlapevanja)	<0,1 TWh/leto	Quaranta et al., (2021), ³⁴ 10 % pokritosti površine rezervoarja
Plavajoči fotovoltaični sistemi (FPV) na rezervoarjih za hidroelektrarne	139 TWh/leto/729 GWp	Kakoulaki et al., (2022) ⁹⁰ , ki pokriva 10 % od 1608 km ² površine rezervoarjev v EU's, kar je povezano z 49 GW inštalirane zmogljivosti hidroelektrarn in 94 TWh/leto proizvodnje hidroelektrarn / Lee et al., (2020), ¹² Evropa, 14 %

površine rezervoarjev 's

Vir: znanstvena literatura

2.3.5 Vloga Evropske investicijske banke v hidroenergetskem sektorju

Evropska investicijska banka (EIB) je posojilna enota Evropske unije in največja večstranska banka na svetu[†]. EIB investiments are driven by the EU's priorities; any project the sredstva banke, pri čemer mora upoštevati pravila in standarde EU, ne glede na to, ali gre za naložbo v Uniji ali zunaj nje. V zadnjem desetletju je EIB bistveno prispevala k razvoju hidroenergetskega sektorja po vsem svetu, saj je v 63 hidroenergetskih operacij, ki so prinesle skoraj 10 GW novih hidroenergetskih zmogljivosti, vložila skoraj 3,4 milijarde EUR. Banka ima ambiciozno načrtovanih več kot 40 novih hidroenergetskih operacij po vsem svetu, kar pomeni več kot 7 milijard EUR naložb v ta sektor in približno 23 GW dodatnih hidroenergetskih zmogljivosti.

EIB je imela ključno vlogo pri spodbujanju trajnostnih, prožnih in zanesljivih projektov na področju hidroenergije po vsej EU, saj je za ta prizadevanja med letoma 2012 in 2021 namenila 2,3 milijarde EUR.

Z načrtom podnebne banke za obdobje 2021-2025^u in v okviru energetske krize je EIB povečala podporo projektom na področju obnovljivih virov energije, s čimer je pripomogla k doseganju ciljev programa REPowerEU, ki je namenjen zmanjšanju odvisnosti od fosilnih goriv in omejitvi motenj na energetske trgu.

EIB trenutno ocenjuje 13 novih hidroenergetskih projektov v EU. Pričakuje se, da bo z njimi podprla 2,1 milijarde EUR prihodnjih naložb. Ti projekti imajo skupno načrtovano zmogljivost 4,5 GW, vključno z novogradnjami in obnovo obstoječe infrastrukture. Če vključimo potencialne naložbe v hidroenergijo v EU^v s candidate Countries, the Bank's total European EUR, kar bi lahko podprlo 8,35 GW prihodnjih hidroenergetskih zmogljivosti.

The analysis of the EIB's hydropower portfolio from 2012 to 2021 shows that during this decade Banka je financirala 31 projektov na področju hidroenergije v EU. Ti projekti vključujejo mešanico majhnih in srednje velikih sistemov za vodne vire ter gradnjo treh velikih hidroelektrarn v Avstriji (Reisseck II 450 MW in Obervermuntwerk II 360 MW) in ene na Portugalskem (Gouvães 880 MW, del sistema Tamega).

The EU's future hydropower pipeline demonstrates a clear shift, with 9 od 13 novih projektov so črpalne elektrarne. Banka se odziva na vse večje povpraševanje po prožnih pomožnih storitvah v omrežju. Hidroelektrarne, zlasti črpalne elektrarne, veljajo za stroškovno učinkovito rešitev za obravnavanje prožnosti challenges facing the EU's interconnected energy system. At the sub-regionalnih možnost PHE, da absorbira prekomerno proizvodnjo iz nestanovitnih obnovljivih virov energije, kot sta veter (36 % mešanice obnovljivih virov energije v EU) in sonce (49%), s pipeline k projektom črpalne elektrarne. Prav tako je EIB postala vodilni financer razvoja PHS.

Pomembne prihodnje naložbe v črpalne elektrarne vključujejo izgradnjo 200 MW ČHE Salto de Chira na Kanarskih otokih (Španija) in posodobitev 1010 MW ČHE Kruonis v Litvi. Razmišlja se tudi o tem, da bi EIB podprla gradnjo nove črpalne hidroelektrarne Amfilochia v Grčiji z močjo 680 MW. Poleg tega se je na področju hidroenergetike znatno povečalo število prošenj za financiranje EIB iz držav kandidatk EU, kot so Albanija, Srbija, Ukrajina in Gruzija. Te države so sprejele ambiciozne cilje Unije na področju obnovljivih virov energije in vidijo EIB kot strateškega in tehnično podkovanega partnerja.

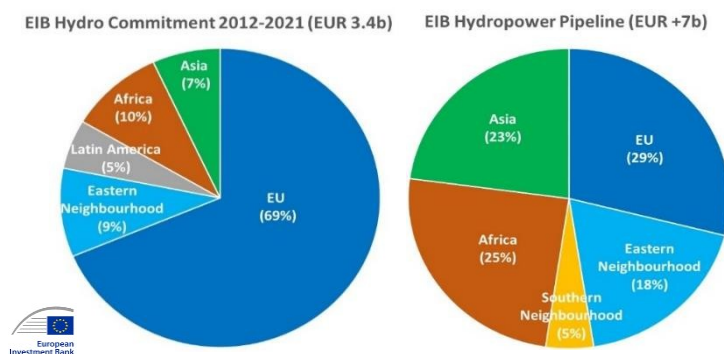
V primerjavi s preteklimi obveznostmi so projekti EIB na področju hidroenergije bolj enakomerno porazdeljeni po regijah (slika 11). Podsaharska Afrika in države južnega sosedstva (kot sta Tunizija in Maroko) imajo zdaj skupni delež, ki je skoraj enak deležu of EU countries. The EIB's increased global presence in sectors like energy infrastructure, as well as the change in its hydropower portfolio, is linked to the catalysing effect of the EU's Global Gateway Pobuda. Cilj te pobude je boj proti podnebnim spremembam in izkoreninjenje revščine po vsem svetu.

[†] Vir: Večstranska razvojna banka (MDB): (investopedia.com)

^u Načrt skupine EIB za podnebno banko za obdobje 2021-2025

^v Vir: E. Quaranta, The future of sustainable hydropower in the EU: challenges, projections and opportunities, Skupno raziskovalno središče Evropske komisije, Italija.

Slika 11. Portfelj EIB za hidroelektrarne po regijah. Pretekle zaveze v primerjavi z načrtovanimi.



Vir: EIB

Večina novih hidroenergetskih projektov je bila predlagana v zadnjih dveh letih, EIB pa je lahko hitro zagotovila financiranje znotraj EU. Banka podpira hidroenergetske projekte, ki izpolnjujejo njena merila za kreditiranje na področju energetike^w in so v skladu z njenimi okoljskimi, podnebnimi in socialnimi smernicami za razvoj hidroenergetike.^x

The EIB Group is playing a crucial role in accelerating Europe's shift to green energy. Hydropower is ključni del tega energetskega prehoda, saj zagotavlja prožnost električnega omrežja in omogoča večjo uporabo drugih obnovljivih virov. Kote EU's "Climate Bank", the EIB is fully committed to financiranje sodobnih, trajnostnih hidroenergetskih projektov. To je bistvenega pomena za pomoč Evropi pri doseganju njenega cilja, da do leta 2050 postane podnebno nevtralna.

2.4 Stroški tehnologije– Sedanji in potencialni prihodnji trendi

Vodna energija je finančno konkurenčna drugim tehnologijam proizvodnje električne energije in dosega ene najnižjih vrednosti stroškov proizvodnje električne energije (LCOE). IRENA in Svetovna banka sta v analizi^s ugotovili, da je hidroenergija trenutno ena izmed najbolj ekonomičnih oblik (dolgoročno, ob upoštevanju življenjske dobe) proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov⁹¹. Ena od glavnih prednosti hidroelektrarn je, da so obratovalni stroški nizki in na splošno zelo stabilni, saj niso odvisni od stroškov goriva.

Poleg tega imajo hidroelektrarne dolgo življenjsko dobo (predvidoma 40-50 let), gradbena dela pa dosegajo tudi 80-100 let (v Evropi je povprečna starost flote hidroelektrarn skoraj 45 let, zato je prenova hidroelektrarn strateškega pomena³⁴). Vendar pa so novi veliki hidroenergetski projekti kapitalsko intenzivni in zahtevajo velike začetne naložbe. Obdobja pridobivanja dovoljenj in gradnje so lahko dolga in zapletena, zlasti pri velikih projektih (več let in v nekaterih primerih celo več kot 10 let).

Preglednica 11 prikazuje približni delež (v %) gradbenih, mehanskih in električnih komponent v skupnih investicijskih stroških različnih hidroelektrarn.

^w https://www.eib.org/attachments/lucalli/20230164_eib_energy_lending_policy_en.pdf

^x https://www.eib.org/attachments/publications/eib_guidelines_on_hydropower_development_en.pdf

Preglednica 11. Razčlenitev kapitalnih stroškov za glavne vrste hidroelektrarn v Evropi, 2021. Civilna industrija: jez, predori, cevovodi, elektrarna (nadzemna ali podzemna), ceste. Mehanski del: turbina, vodohran, zapornice, ventili, hidravlika.

Elektrika: generator, transformator, kabli, priključek na omrežje.

Vrsta hidroelektrarne	Civilni	Mehanski	Električni
Vodna energija iz velikih rezervoarjev	70%	10%	20%
Potek reke (v velikem in majhnem obsegu)	50%	30%	20%
Črpalna hidroelektrarna	50-70%	15-20%	15-30%

Vir: IRENA, 2022

Leta 2022 je globalno tehtano povprečje (glede na moč) LCOE za nove hidroelektrarne (greenfield projekti) znašalo 57 EUR/MWh, kar je 18 % več kot leta 2021 (in 30 EUR/MWh za vetrne elektrarne na kopnem in 45 EUR/MWh za fotovoltaike)⁹¹. Vendar gospodarske koristi, povezane s številnimi storitvami, ki jih zagotavlja hidroelektrarna, niso vključene v LCOE (med drugim fleksibilnost, pomožne storitve, upravljanje voda in oskrba rezervoarjev). Pri 96 % hidroenergetskih projektov, ki so bili dani v obratovanje leta 2021, je bil strošek LCOE nižji od razpona stroškov novo uvedenih zmogljivosti na fosilna goriva. Poleg tega je imelo 85 % hidroenergetskih zmogljivosti, ki so bile dane v obratovanje leta 2021, LCOE nižji od najcenejše nove stroškovne možnosti za fosilna goriva.⁹¹

LCOE novih hidroenergetskih projektov (vseh vrst) v Evropi, vključno s Turčijo, znaša približno 50 EUR/MWh, pri čemer se giblje med 30 EUR/MWh (5° percentil) in 140 EUR/MWh (95° percentil). Projekti za tekoče vode so lahko v razponu od 30 EUR/MWh do 80 EUR/MWh, s povprečjem 40 EUR/MWh, medtem ko so hidroelektrarne z rezervoarji, vključno s črpalnimi elektrarnami, v razponu od 80 EUR/MWh do 140 EUR/MWh, s povprečjem okoli 100 EUR/MWh. Proizvodni stroški malih hidroenergetskih projektov (pod 10 MW), ki se običajno izvajajo po reki, so običajno za 40 % do 60 % višji. Če upoštevamo projekte obnove, se stroški gibljejo med 20 in 30 EUR/MWh.¹¹

Vodna energija se od spremenljivih obnovljivih virov energije (OVE), kot sta veter in fotovoltaika, razlikuje v tem, da stroški uvajanja rahlo naraščajo v nasprotju z upadanjem stroškov fotovoltaike in vetra. Razlog za to je, da so bile najboljše lokacije za proizvodnjo električne energije v hidroelektrarnah izkoriščene in da zdaj obstaja več zahtev za upoštevanje trajnostnih meril in blažitev vplivov. Poleg tega velik del stroškov postavitve hidroenergetskega projekta predstavljajo gradbena dela, katerih stroški običajno naraščajo po stopnji, ki je odvisna od inflacije gradbenih stroškov⁹². Stroški LCOE v Evropi so prikazani na sliki 12.

Stroški investicijskih vlaganj pri nedavnih velikih hidroenergetskih projektih vseh vrst lahko znašajo 1500 EUR na instalirano kW (vključno z gradbenimi deli) z razponom med 1000 EUR/kW (5° percentil) in 4000 EUR/kW (95° percentil). Projekti hidroelektrarn na tekočem traktu se lahko gibljejo v razponu od 1000 EUR/kW do 1800 EUR/kW s povprečjem 1400 EUR/kW, medtem ko se projekti hidroelektrarn na rezervoarjih, vključno s črpalnimi hidroelektrarnami, gibljejo med 1400 EUR/kW in 4000 EUR/kW s povprečjem približno 2500 EUR/kW. Investicijski stroški malih hidroenergetskih projektov (pod 10 MW), ki se običajno izvajajo po reki, so običajno za 40 % do 60 % višji⁹³. Stroški na kW za elektrarne, ki delujejo na reki, so podrobno raziskani v Patro et al. (2022)⁹³. Projekti mikro-hidroelektrarn izkazujejo običajne skupne stroške 5000 EUR/kW (npr. vodna kolesa v starih mlinih, hidrokinetične turbine, turbine v vodnih omrežjih pod pritiskom in turbine z nizkim nadvišanjem v obstoječih pregradah ali jezui). Stroški projektov, ki uporabljajo dele vodnogospodarske infrastrukture (npr. obstoječe rezervoarje, jezove brez pogona in transportne sisteme), in projektov brownfield, ki širijo delujoče elektrarne ali zamenjujejo njihovo opremo (glavni prihodnji trend v Evropi), so običajno do 70 % nižji kot pri novih projektih, saj se izdatki namenjajo predvsem zamenjavi ali dodajanju elektromehanske opreme.

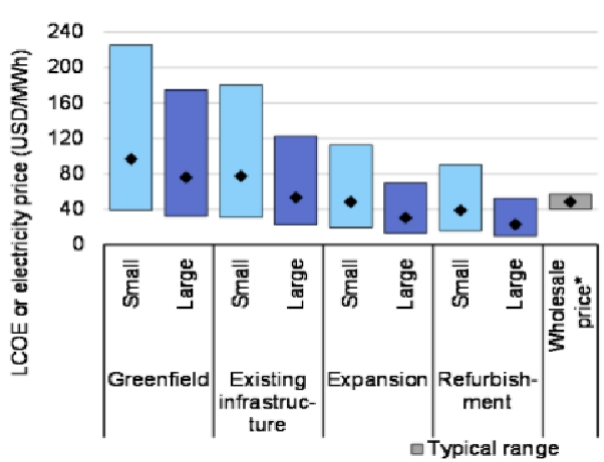
Letni stroški obratovanja in vzdrževanja (O&M) so pogosto navedeni kot odstotek

⁹¹ osebna komunikacija prof. Antona Schleissa.

⁹² V Patro in drugi (2022) so predstavljene enačbe za oceno stroškov različnih naprav ROR (preusmeritev, v strugi, vrsta kanala). Pokazali so, da je najvišji LCOE pri preusmeritvenem tipu, ki je 20 % višji od LCOE hidroelektrarn tipa jez-tok in kanal, vendar so investicijski stroški odvisni predvsem od inštalirane moči in ne od tipa elektrarne.

investicijski stroški na kW na leto, pri čemer se tipične vrednosti gibljejo med 1 % in 4 %. Največji del proračuna za obratovanje in vzdrževanje predstavljajo stroški obratovanja in plač. Vzdrževanje predstavlja od 20 % do 61 % vseh stroškov O&M, medtem ko plače od 13 % do 74 %⁹¹. Mednarodna agencija za energijo (IEA) predvideva, da stroški O&M znašajo 2,2 % za velike hidroenergetske projekte in od 2,2 % do 3 % za manjše projekte, globalno povprečje pa je približno 2,5 % (IEA, 2021⁹¹). To bi pri velikih hidroelektrarnah pomenilo podoben razpon _ stroškov obratovanja in vzdrževanja, izraženih kot odstotek skupnih inštaliranih stroškov kot pri vetrnih elektrarnah, čeprav ne tako nizki kot stroški O&M fotovoltaike. Kadar je vzdolž reke nameščenih več elektrarn, se lahko s centraliziranim nadzorom, daljinskim upravljanjem in posebno operativno ekipo za upravljanje verige elektrarn stroški obratovanja in vzdrževanja zmanjšajo na veliko nižjo raven in povečajo proizvodnjo^{aa}. Ocenjuje se, da material predstavlja približno 4 % stroškov.⁹¹

Slika 12. Stroški LCOE in veleprodajna cena vodne energije v Evropi .¹¹



Vir: ETIP Hidroelektrarne

Hidroelektrarne so odvisne od lokacije in vsak projekt ima edinstvene značilnosti zasnove, zato je težko najti jasno projekcijo stroškov za naslednja desetletja. Zato se v regijah, kjer so najboljše lokacije že izkoriščene (npr. v EU), preostali tehnični potencial običajno nanaša na manj ugodne lokacije z višjimi stroški postavitve. Evropa in Severna Amerika imata najvišje stroške naložb v hidroelektrarne zaradi razmeroma visokih stroškov dela, manjšega števila nerazvitih ekonomičnih lokacij in visokih pristojbin za ublažitev vplivov na okolje in obstoječo infrastrukturo. Zato se lahko stroški postavitve hidroenergetskih projektov na novih površinah v prihodnosti povečajo. Poleg tega na razvoj stroškov proizvodnje in namestitve do leta 2050 najbolj vpliva tržna inflacija. Zaradi izboljšanja učinkovitosti gradnje, predvsem pri podzemnih delih, se lahko stroški gradnje zmanjšajo pri hidroelektrarnah z rezervoarji in črpalnimi hidroelektrarnami. Kljub temu bodo ta morebitni prihranek nadomestili višji stroški ukrepov za ublažitev vplivov na okolje, s pričakovanim povečanjem naložbenih stroškov pa bi se lahko bolje soočili, če bi za številne storitve in koristi dobili ustrezno nadomestilo. Na primer, delovanje črpal PSH pomaga uravnati presežno ponudbo in preprečevati omejevanje; vendar upravljavci omrežja te storitve trenutno ne plačujejo, razen nižjih cen, ta storitev pa bo postajala vse pomembnejša za preprečevanje omejevanja obnovljivih virov energije. Trenutne razmere na trgu električne energije kažejo, da prihodki, doseženi z razliko v ceni (arbitražna), skupaj s padajočimi prihodki iz zagotavljanja pomožnih storitev ne zadoščajo za pokritje fiksnih naložbenih in upravnih stroškov teh enot. Več lokacij je bilo zaradi domnevne nerentabilnosti začasno ustavljenih za nedoločen čas, med njimi Lago Bianco 1000 MW in Grimsel III 600 MW v Švici, Atdorf 1400 MW in Waldeck II plus 300 MW v Nemčiji (IHA, 2022, Voith

^{aa} V Evropi to v resnici ni problem, saj je zelo malo kaskadnih hidroenergetskih sistemov, ki ne pripadajo istemu upravljavcu. Kaskadni hidroenergetski sistem, ki je v lasti istega upravljavca, se danes izkorišča sistematično in usklajeno, da bi povečali proizvodnjo in koristi glede na povpraševanje na trgu.

Hydro, 2023, osebno sporočilo).

Vodni projekti imajo daljši časovni okvir pred razvojem, gradnjo in obratovanjem kot druge tehnologije obnovljivih virov energije, zato so naložbena tveganja za velike hidroenergetske sisteme večja, kar zahteva posebne instrumente in spodbude politike ter dolgoročno politično perspektivo in vizijo. Vendar se je politika na področju obnovljivih virov energije v zadnjih dveh desetletjih osredotočala predvsem na širitev vetrne in sončne fotovoltaične tehnologije (in zniževanje njunih stroškov), predvsem s podpornimi shemami, kot so cilji uvajanja, finančne spodbude in dolgoročne pogodbe o nakupu električne energije. Od leta 2022 je več kot 100 držav uvedlo kratkoročne in dolgoročne cilje ter finančne spodbude za vetrne in sončne fotovoltaične elektrarne, manj kot 30 držav pa ima politike, usmerjene v nove in obstoječe hidroelektrarne.¹¹⁰

2.5 Javno financiranje R&I

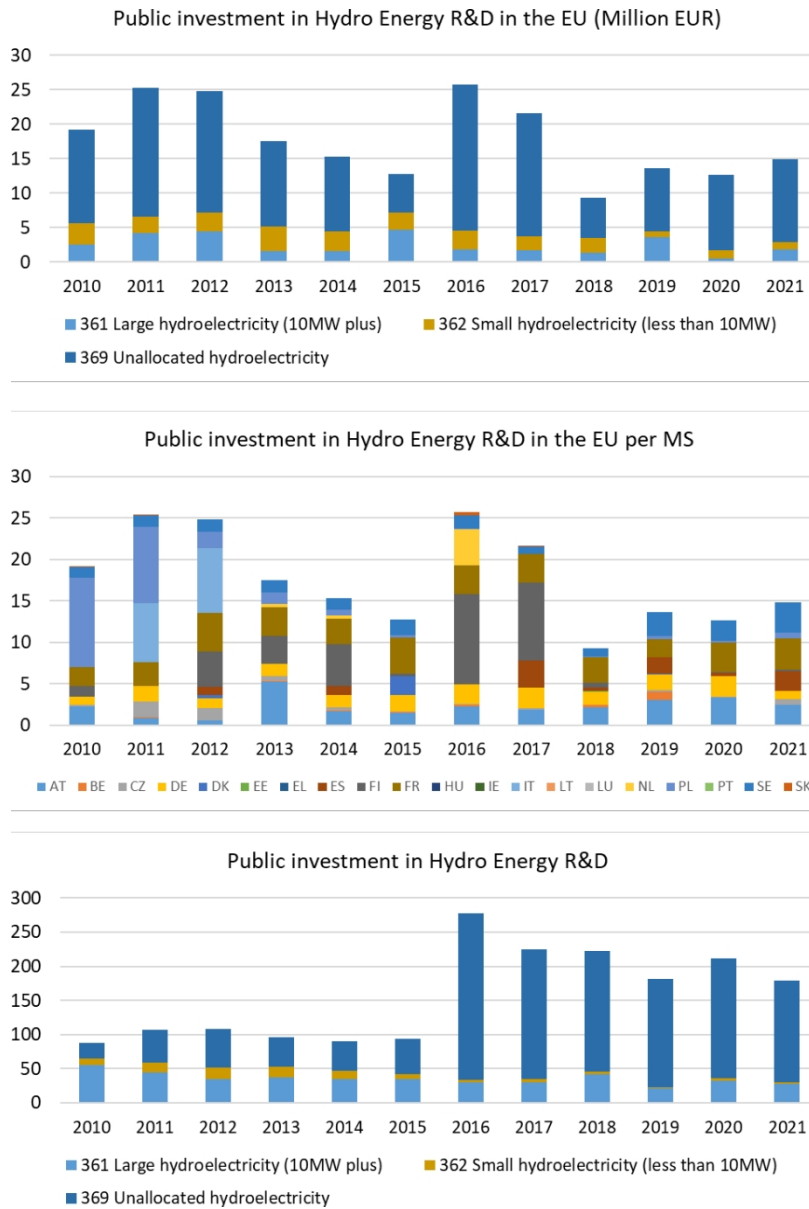
Kljub tehnološki zrelosti hidroelektrarn še vedno potekajo raziskave za razvoj novih konceptov in tehnologij¹⁹, novih materialov⁹⁴ in inovativnih projektov⁹⁵. Nedavna prizadevanja na področju raziskav in razvoja hidroelektrarn so usmerjena predvsem v izboljšanje učinkovitosti sistemov in komponent, trajnosti in pripravljenosti hidroelektrarn na sodobne trge z električno energijo. Raziskave in razvoj na področju hidravličnega načrtovanja in mehanske opreme se osredotočajo na povečanje prilagodljivosti postaj za podporo širšemu razponu delovanja, povečanje ravni učinkovitosti in zmanjšanje vplivov na okolje, kot so prenos sedimentov, oviranje migracij rib in hidropeaker.

V zadnjem desetletju (2012-2021) je javna poraba za raziskave in razvoj na področju hidroenergije v EU znašala od 15 do 26 milijonov EUR na leto (slika 13), pri čemer se je po najvišjih vrednostih zmanjševala. Glavna središča javne porabe so Avstrija, Nemčija, Finska, Francija, Italija, Poljska, Švedska in Finska.

Letna javna poraba za raziskave in razvoj na področju hidroenergetike na splošno ni stabilna, saj sledi izvajanju ciljno usmerjenih ukrepov, kratkoročnih nacionalnih politik in posebnih razpisov EU.

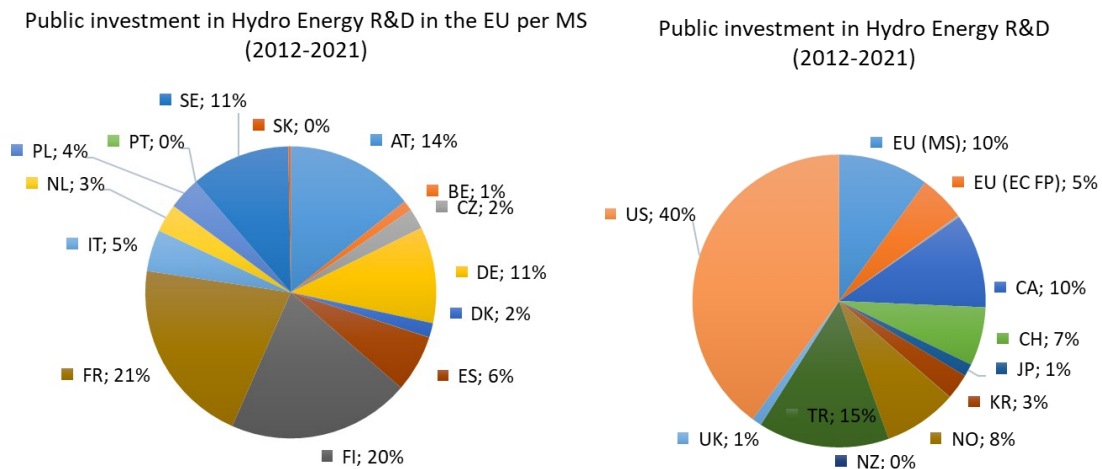
Slika 14 prikazuje letno javno porabo za raziskave in razvoj v državah članicah EU. Medtem ko je v nekaterih državah članicah financiranje dokaj stabilno (Nemčija, Francija, Švedska), pa je v več državah članicah neredno in prevladujejo ciljno usmerjene naložbe v določenih letih. Leta 2021 je bila javna poraba za hidroenergijo skoraj 12-krat nižja od tiste za vetrno energijo in 20-krat nižja od tiste za sončno fotovoltaiko.

Slika 13. Javne naložbe EU v raziskave in razvoj [v milijonih EUR]. Vir: JRC na podlagi podatkov IEA, CIndECS2022.
Nerazporejeno = ni določeno.



Vir: JRC

Slika 14. Javne naložbe v raziskave in razvoj na področju hidroenergije v državah članicah EU v obdobju 2012-2021. Vir: ClnECS2022. Za kratice, ki niso iz EU, glej seznam nomenklature. EU (EC FP) označuje financiranje iz okvirnih programov EU (H2020) in je na voljo šele od leta 2014 dalje.



Vir: JRC

Povprečna letna javna vlaganja v raziskave in razvoj v EU (2012-2021) znašajo 17 milijonov EUR, kar je nekoliko več od letne javne porabe v Kanadi (približno 12,7 milijona EUR na leto) in več kot na Norveškem (približno 10 milijonov EUR) in v Švici (približno 13,95 milijona EUR). V ZDA je eden največjih virov javnih naložb v raziskave in razvoj na področju hidroenergije, ki ga usklajuje Urad za tehnologije vodne energije pri ameriškem ministrstvu za energijo. Trije glavni zvezni lastniki hidroelektrarn, ameriški urad za rekultivacijo, inženirski korpus ameriške vojske in Tennessee Valley Authority, imajo prav tako programe za raziskave in razvoj. Proračun ameriškega programa Department of Energy's Hydropower Program je običajno višji od proračuna EU, pri čemer velja omeniti, da je v bližnji preteklosti (2016-2021) njegov letni proračun znašal 99 milijonov EUR (vir: JRC na podlagi IEA^{bb}). Glede na proračun Urada za vodne energetske tehnologije (Water Power Technologies Office Budget | Department of Energy⁹⁶) je proračun za hidroenergijo v letu 2023 znašal 59 milijonov USD, za morsko energijo pa 120 milijonov USD. Povprečje v obdobju 2016-2021 je bilo 33 milijonov USD za hidroenergijo in 77 milijonov USD za energijo morja. Z dvostranskim zakonom o infrastrukturi, ki je bil sprejet leta 2021, je bilo za raziskave in razvoj na področju hidroenergetike v ZDA zagotovljenih dodatnih 36 milijonov USD, ki naj bi se porabili v obdobju 2022-2025.

2.6 Zasebno financiranje raziskav in razvoja

Tu sta obravnavani dve vrsti naložb.

(1) Naložbe v podjetja v zgodnji in pozni fazi. Ta podjetja so (ali so bila) zagonska in rastoča podjetja. Naložbe ne odražajo izdatkov teh podjetij. Za več podrobnosti glej Prilogo 2.

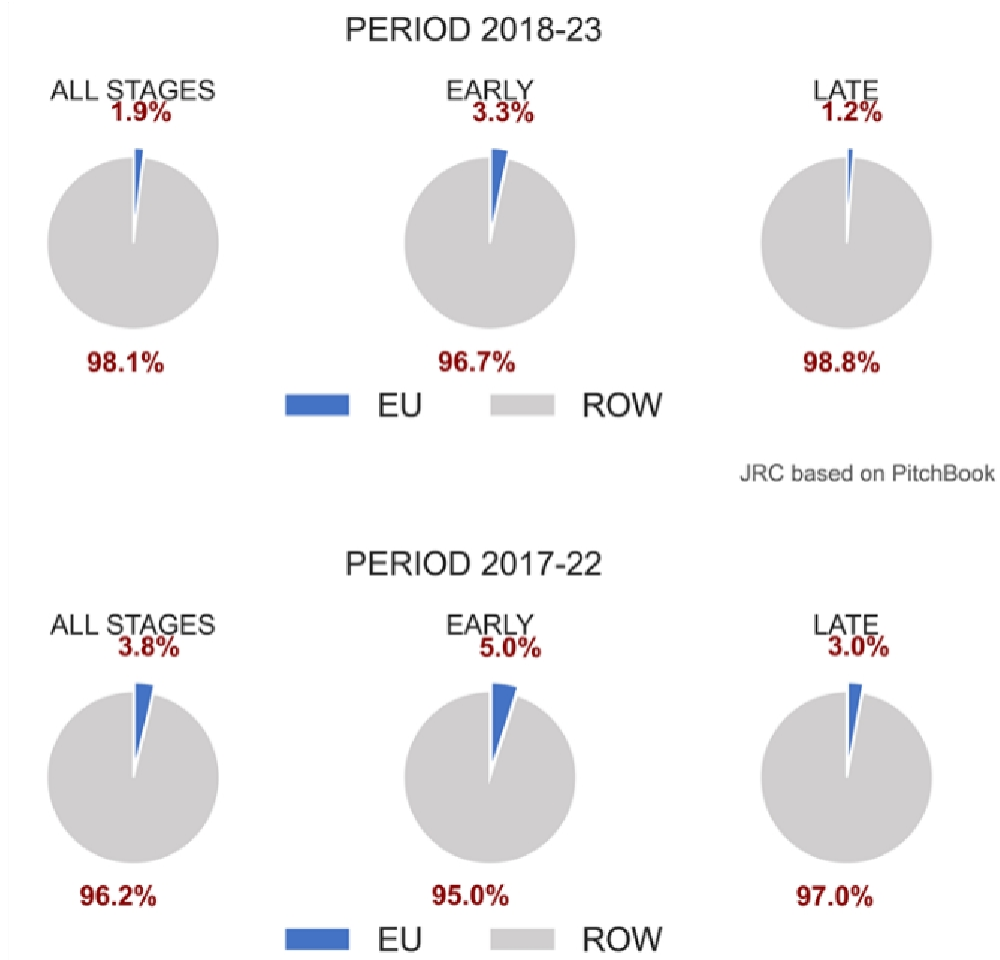
(2) izdatki za raziskave in razvoj hčerinskih družb največjih vlagateljev v raziskave in razvoj. Izdatki za R&R dejavnosti so operativni stroški in ne naložbe v podjetje, kot v (1). Podatki o zasebnih dejavnostih R&R so ocenjeni z uporabo proizvodnje patentov kot približka.

^{bb} Podatki za ZDA so na voljo do leta 2015. Po letu 2015 smo vključili stare izračune/podatke IEA. IEA te podatke v sodelovanju z ameriškimi organi trenutno revidira.

Med (1) kazalnikom zgodnjih/poznih naložb in (2) kazalnikom zasebnih izdatkov za raziskave in razvoj ni nobene povezave, populacija podjetij, obravnavanih v (1), pa se popolnoma razlikuje od populacije podjetij, obravnavanih v (2).

Zgodnje in poznejše naložbe v podjetja tveganega kapitala v obravnavanem obdobju so prikazane na naslednjih slikah. EU gosti 4,5 % naložb, večinoma v državah, povezanih z Alpami, kot so Francija, Nemčija, Italija in Avstrija. ZDA (1. mesto) in Francija (5. mesto) se opirata na razmeroma močno bazo družb tveganega kapitala^{cc}. Časovni trend je prikazan na slikah 16 in 17.

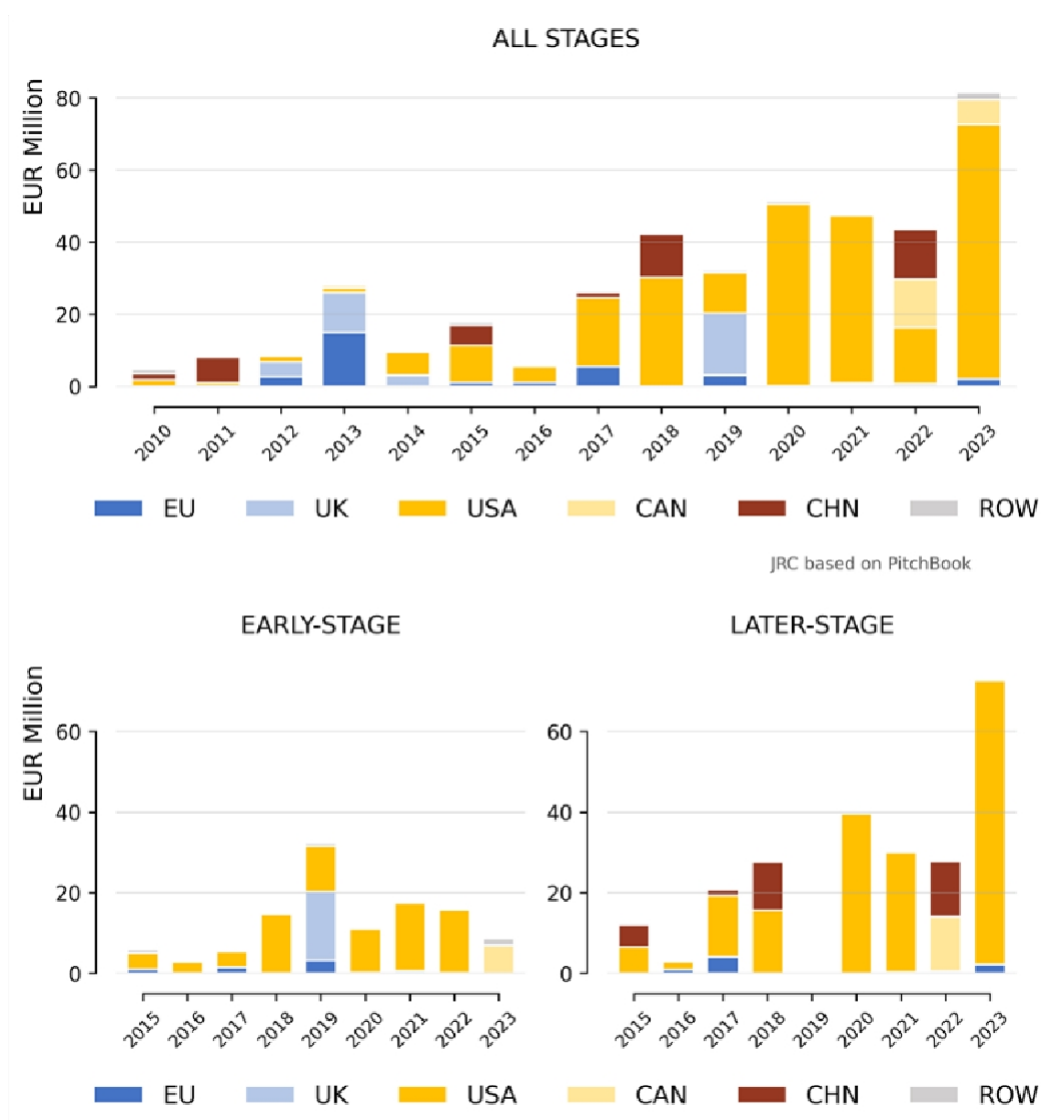
Slika 15. Naložbe tveganega kapitala. JRC na podlagi Pitchbook.



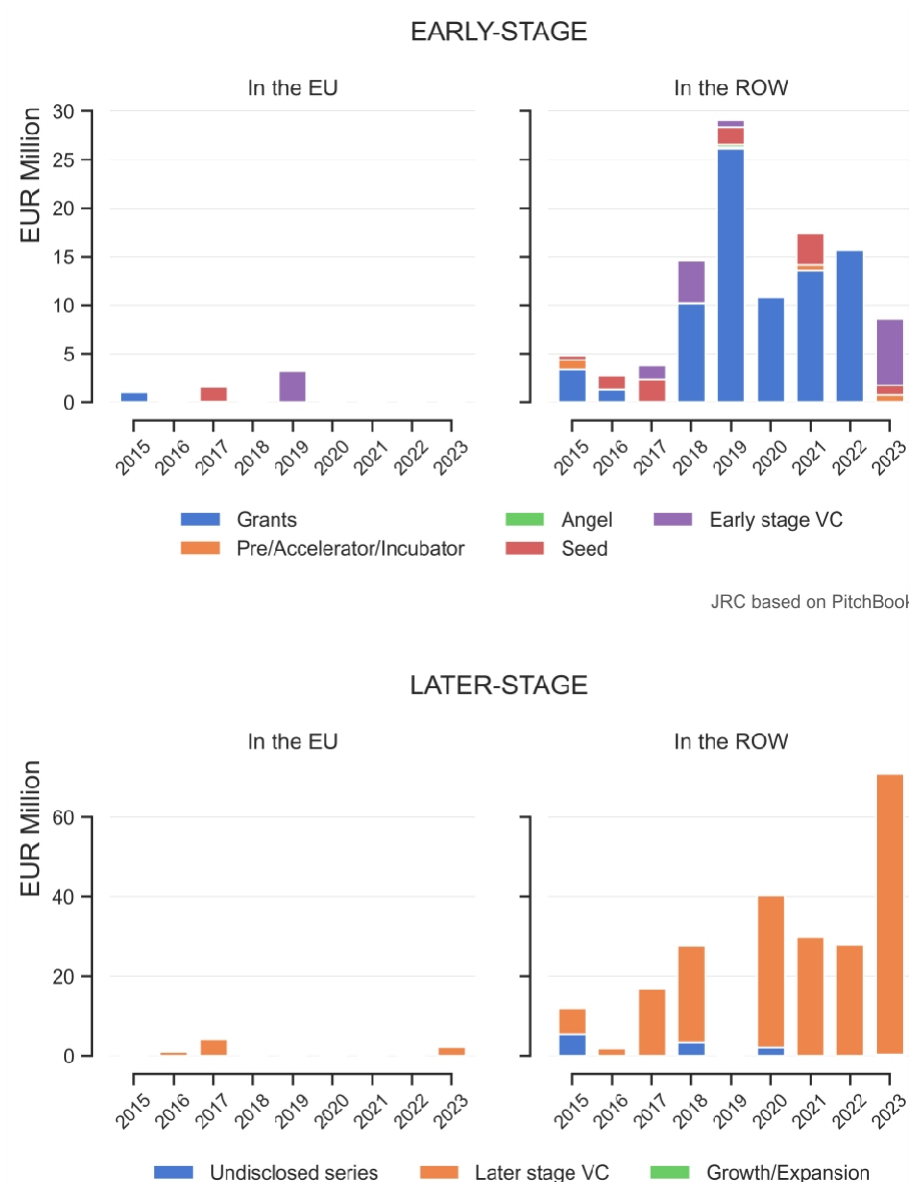
Vir: JRC na podlagi Pitchbook

^{cc} Tvegani kapital je oblika zasebnega kapitala in vrsta financiranja, ki ga vlagatelji zagotavljajo zagonskim podjetjem in malim podjetjem z dolgoročnim potencialom rasti. Podjetja tveganega kapitala so podjetja, ki so bila nekoč del portfelja investicijskega podjetja tveganega kapitala (ali so prejela angelsko ali semensko financiranje, ali so stara manj kot dve leti in niso prejela financiranja).

Slika 16. Gibanje naložb v zgodnji in poznejši fazi.



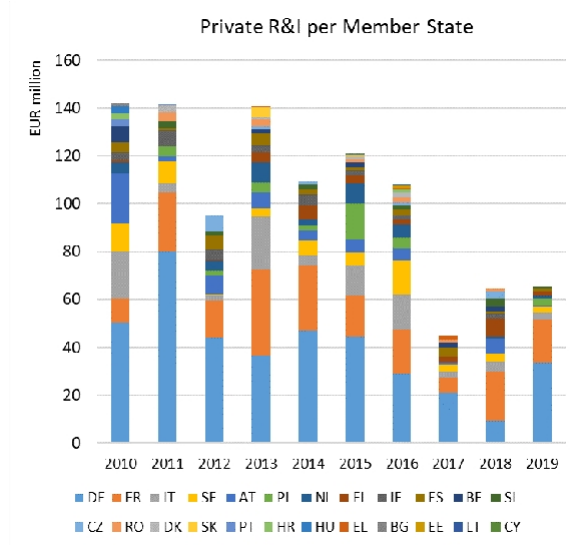
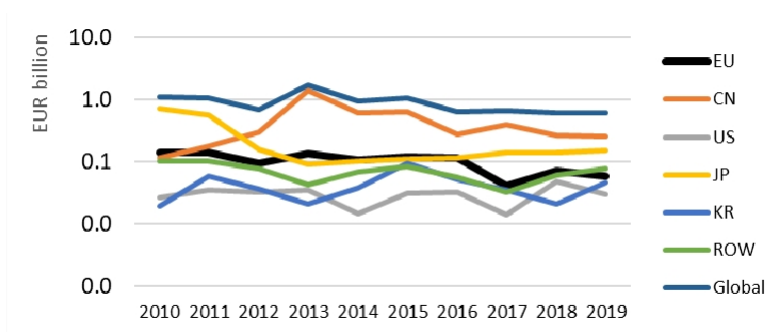
Slika 17. Naložbe tveganega in zasebnega kapitala po vrsti posla v EU (levo) in na ROW (desno), za posle v zgodnji fazi (zgoraj) in posle v poznejši fazi (spodaj).



Vir: JRC na podlagi Pitchbook

Glede na naložbe v raziskave in razvoj je iz slike 18 razvidno, da je Kitajska vodilna v tem sektorju, svetovni trend pa sledi kitajskemu. V EU največ prispevajo Nemčija, Francija, Italija in Švedska. Vodilna podjetja so Voith Hydro GMBH (DE), GE Renewable Technologies (FR), Mahle International GMBH (DE), Aktiebolaget SKF (SE), Electricite De France (FR), DIVE Turbinen GmbH Co KG (DE), Andritz Hydro GMBH (AT), Alstom Renewable Technologies (FR), Rehart GmbH (DE), Minesto AB (SE) ter podjetji Voith Hydro GMBH in GE Renewable Technologies.

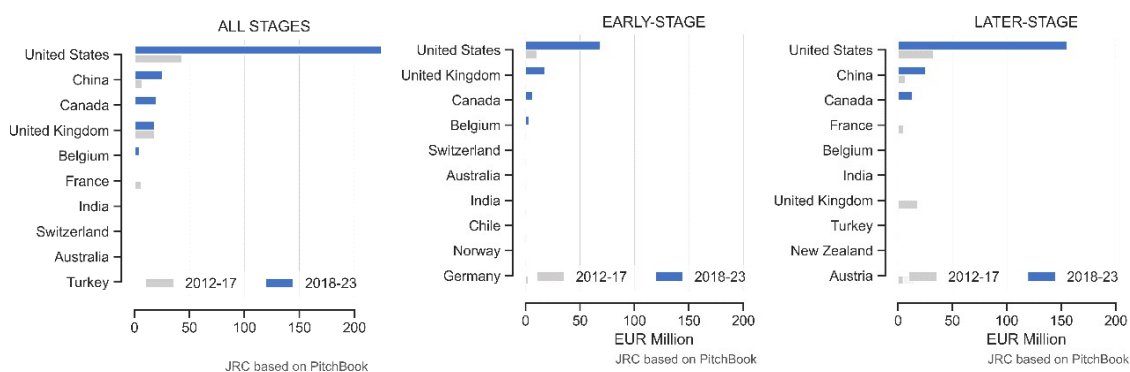
Slika 18. Naložbe v raziskave in razvoj.



Vir: JRC

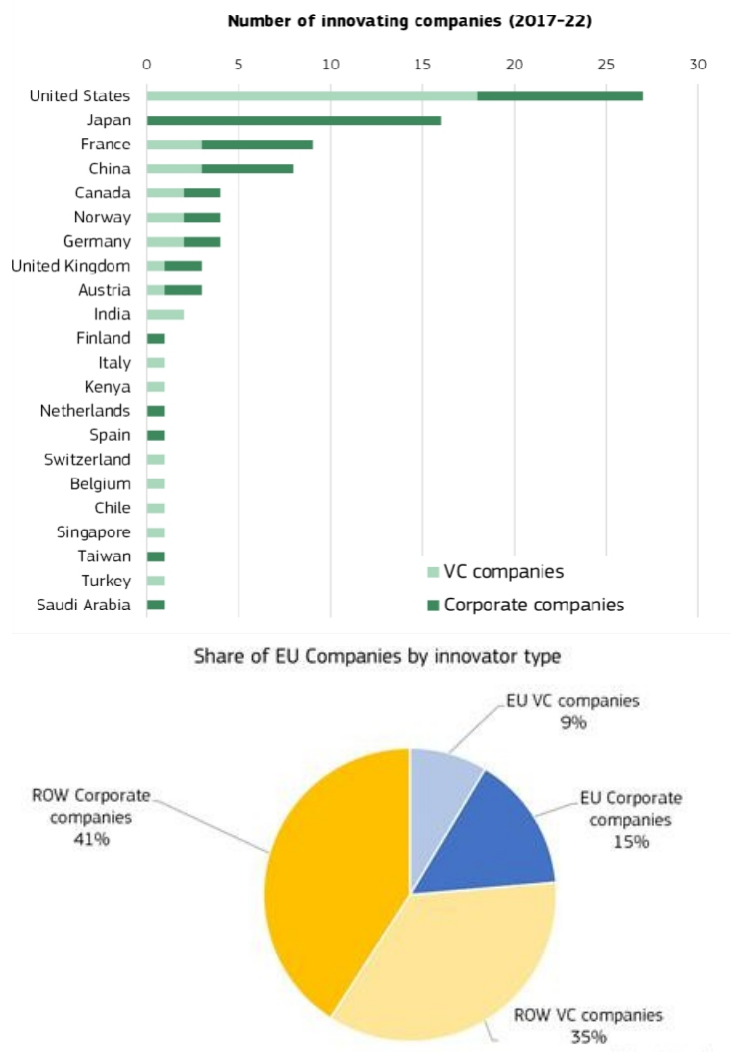
Na podlagi naložb je mogoče opredeliti inovativna podjetja, na sliki 19 pa so ti podatki (za podrobnosti glej Prilogo 2) združeni na ravni držav, na sliki 20 pa države z največjim številom inovativnih podjetij.

Slika 19. Naložbe tveganega kapitala in kapitala v 10 največjih državah upravičenkah po obdobjih za vse posle, posle v zgodnji fazi in posle v poznejši fazi.



Vir: JRC na podlagi Pitchbook

Slika 20. Inovativna podjetja.



Vir: JRC

2.7 Trendi patentiranja

Ta analiza patentov temelji na podatkih, ki so na voljo pri Evropskem patentnem uradu EPO PATSTAT 2021b (jeseni), z uporabo kode CPC (usklajena patentna klasifikacija) Y02B 10/50 (hidroelektrarne) in Y02E 10/20. Podrobnosti analize so opisane v namenskih publikacijah Skupnega raziskovalnega središča^{97,98} in v Prilogi 3. Število patentov za EU in druge večje države je prikazano na sliki 21, ki zajema obdobje 2011-2020. Kitajska je glavna vodilna država na področju patentov (deloma tudi zaradi drugačnega postopka patentiranja v tej državi), medtem ko so EU, Japonska in Koreja podobno uspešne in boljše od ZDA.

V obdobju 2010-2021 so podjetja v EU registrirala 669 patentov, od tega 327 izumov visoke vrednosti (tj. prijavitelji iz EU običajno razširijo družine patentov na več kot en patentni urad). V EU je na področju patentiranja vodilna Nemčija (227), sledijo ji Francija (111), Italija (59), Poljska (59), Švedska (31) in Avstrija (28). EU ima v lasti 29 % vseh izumov visoke vrednosti na svetu (2019-2021). K temu največ prispevajo Nemčija, Francija in Italija (preglednica 12). EU je torej vodilna regija glede izumov visoke vrednosti, čeprav se ta trend z leti zmanjšuje.

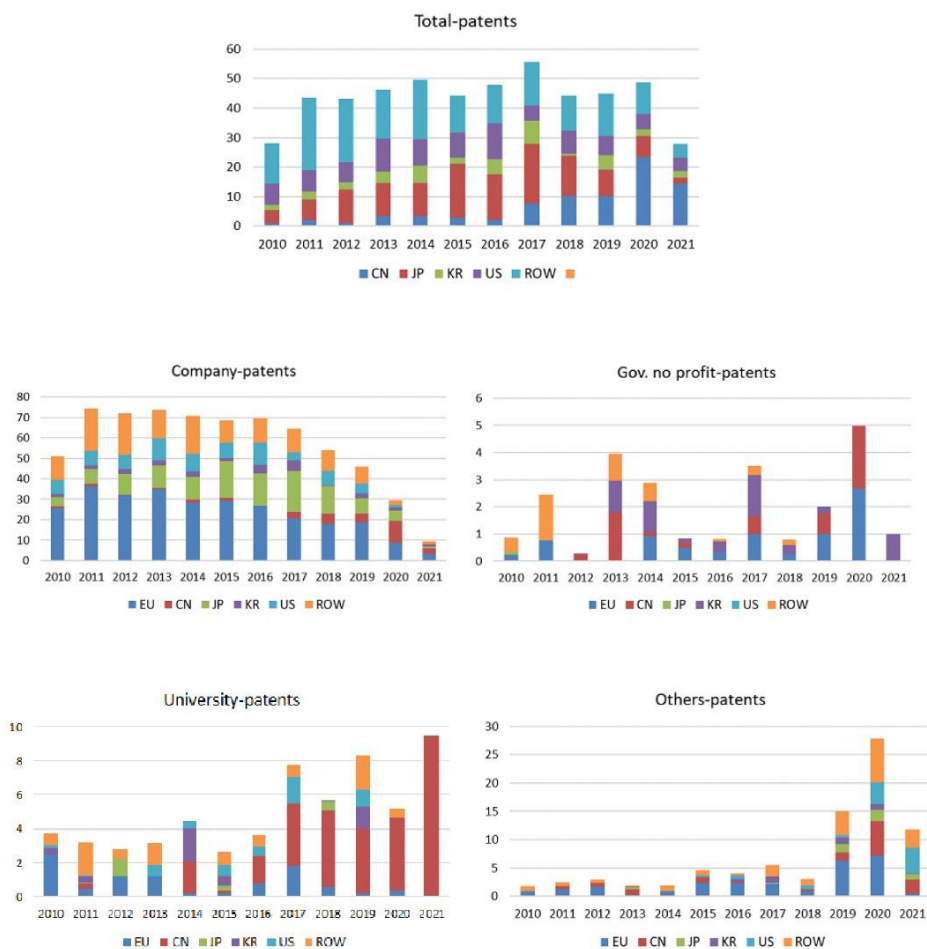
(Slika 21 in Slika 22), verjetno zato, ker je za razširitev patentnega varstva na druge urade potreben čas.

Preglednica 12. Število izumov in delež izumov visoke vrednosti ter mednarodna dejavnost (2019-2021). Izračunani so tudi odstotki skupnega zneska.

Število izumov ter delež dejavnosti visoke vrednosti in mednarodnih dejavnosti (2019-2021)						
	Skupaj	Visoka vrednost	Mednarodni	Skupaj	Visoka vrednost	Mednarodni
ROW	139	30	24	139	22%	18%
JP	193	18	24	193	9%	13%
KR	201	10	20	201	5%	10%
CN	2198	48	17	2198	2%	1%
ZDA	46	16	17	46	35%	37%
EU	116	49	20	116	42%	17%
Delež EU		29%	16%			

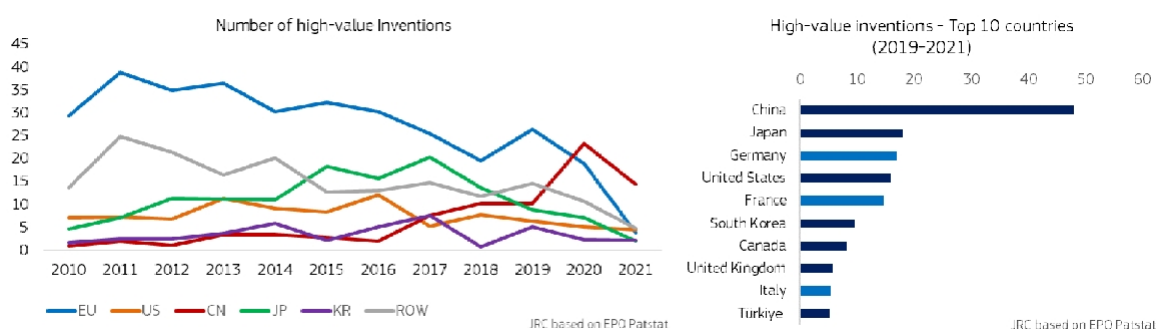
Vir: JRC

Slika 21. Patentna dejavnost za različne kategorije lastnikov (izumi visoke vrednosti).



Vir: JRC

Slika 22. Število izumov z visoko vrednostjo (levo) in prvih 10 držav (desno).

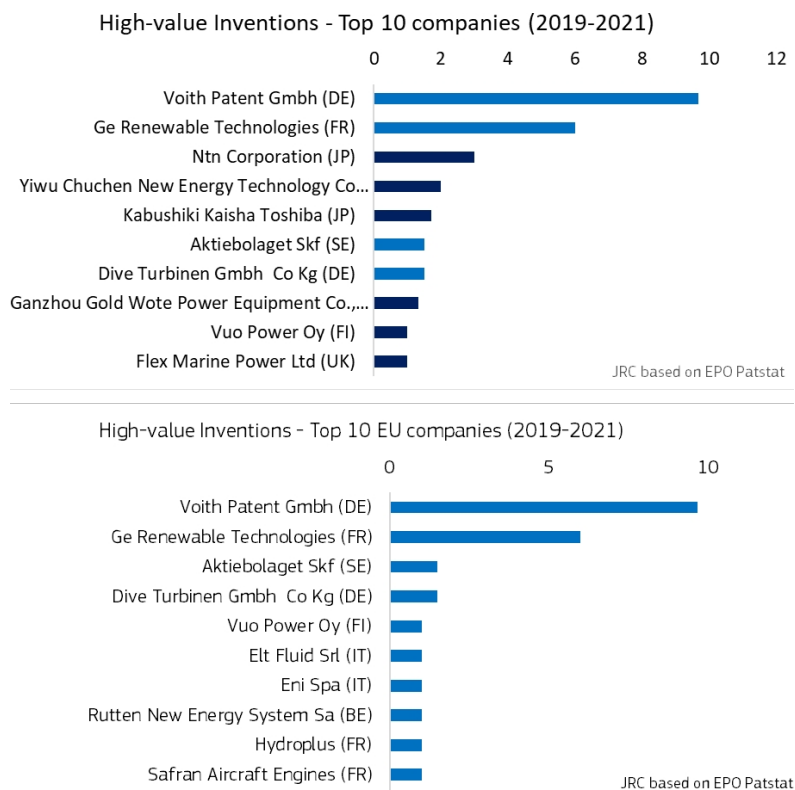


Vir: JRC na podlagi EPO Patstat

Slika 23 prikazuje 10 podjetij z največ patentiranimi izumi visoke vrednosti. V tej deseterici je pet podjetij iz EU: Voith Hydro, GE Renewable Technologies (podružnica EU), Aktiebolaget Skf, Dive Turbinen, Vuo Power Oy, pri čemer sta Voith in GE med prvimi tremi, ki si skupaj delita 53 % izumov visoke vrednosti iz desetih vodilnih podjetij na svetu.

Na sliki 18 so prikazani izdatki za raziskave in razvoj hčerinskih družb največjih vlagateljev v raziskave in razvoj, ki temeljijo na dejavnosti patentiranja. Izdatki za raziskovalno-razvojne dejavnosti so operativni stroški in ne naložbe v podjetje kot pozne in zgodnje naložbe (poglavje 2.6). Trend se od leta 2010 zmanjšuje, verjetno zaradi povečanja raziskovalnih in razvojnih dejavnosti ter s tem povezanih dejavnosti patentiranja v drugih sektorjih obnovljivih virov energije.

Slika 23. Podjetja, ki največ patentirajo.



Vir: JRC na podlagi Pitchbook

2.8 Trend znanstvenih objav

Raziskave na področju hidroenergije zajemajo številna znanstvena področja: energetiko, inženirstvo, okoljske vede in vede o vodnih virih, geologijo, ribištvo in mnoga druga. Jiang et al., (2016)⁹⁹ opazili hitro rast števila objav, povezanih z vodno energijo, kar kaže na vse večje povpraševanje po raziskavah, povezanih z vodno energijo (slika 24). Vprašanja razvoja hidroelektram po izgradnji so za znanstvenike bolj privlačna kot sama energetska tehnologija, pri čemer se iz interakcije naravoslovja, družboslovja in inženirske hidroenergetske tehnologije pojavlja interdisciplinarni trend raziskav na področju hidroenergetike⁹⁹. Glavne teme hidroenergetike, ki jih raziskujejo institucije EU's, so opisane v Manzano-Agugliaro in drugi, (2017)³⁸ (jez in penstak, turbine, socialni in okoljski vidiki ter strategije nadzora). Šest držav EU je med prvimi desetimi državami, ki so prispevale k objavi dokumentov na temo Repowering of Small Hydropower Plants" (Francija, Avstrija, Španija, Portugalska, Poljska, Nemčija)¹⁰⁰. Iste države, vključno z Italijo, so med prvimi desetimi državami tudi pri drugih posebnih temah, opisanih v tem sklicevanju.

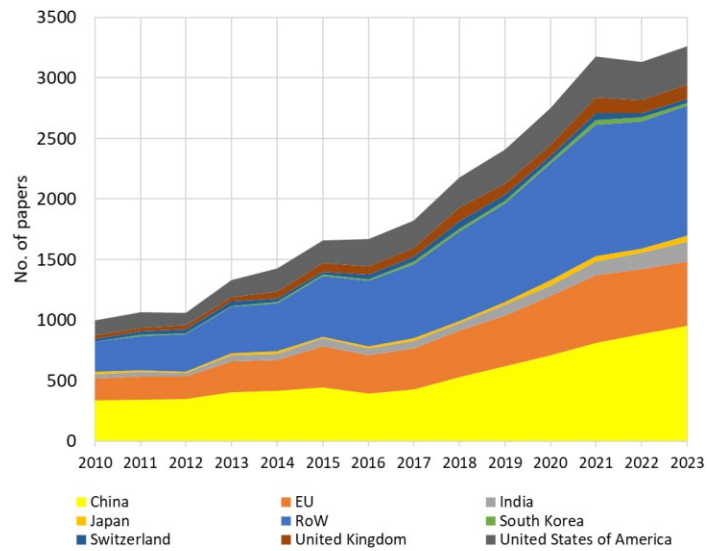
Vodilne agencije za financiranje v obdobju 2016-2020 so različne nacionalne fundacije na Kitajskem, Nacionalni svet za znanstveni in tehnološki razvoj in CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) v Braziliji, EU (s programoma H2020 in ERC), NSERC (Natural Sciences and Engineering Research Council) v Kanadi in NSF (National Science Foundation) v ZDA. S.¹⁰¹

Iz slik 24 in 25 je razvidno, da so institucije EU's skupaj s Kitajsko vodilne pri objavah, kar lahko odraža vodilni položaj EU na področju izumov visoke vrednosti. V poročilu CETO za leto 2022 so bile za boljšo analizo bibliometričnih trendov izbrane dodatne ključne besede: dam " " ("hydropower" and "dam" have to be found 3 keywords apart or less v naslovu ali povzetku), " " ("hydropower" and "reservoir" have to be found 3 keywords apart or less v naslovu ali v abstrakt), penstock, turbina, vlečna cev, prehod za ribe, vodni tok in sediment (vključno s sedimentacijo in erozijo turbine), kot pooblaščenec za gradbene objekte, elektromehansko opremo in okoljsko delovanje. The keyword "hydropower", or "hydroelectric" or "hydro electric" must also biti prisoten v besedilu, vendar brez zahtev glede bližine. V preglednici 7 poročila CETO za leto 2022 je prikazan bibliometrični trend teh ključnih besed. Če primerjamo EU s preostalim svetom, je EU vodilna regija na analiziranih podtemah, z očitnim vodstvom na podtemah hidropeaking, ribje prehode in sedimenti. EU je v dobrem položaju tudi pri obravnavi drugih ključnih besed, saj je njena dejavnost objavljanja skoraj podobna dejavnosti vodilne države, če upoštevamo število prebivalcev (tj. število objav na prebivalca). Največji vzpon ima Kitajska: Kitajski razvijalci hidroenergetskih jezov danes prevladujejo v svetovni industriji jezov¹⁰². Odstotek visoko citiranih člankov je med državami podoben (preglednica 13).

V preglednici 14 je navedenih prvih 16 avtorjev glede na število recenziranih publikacij od leta 2020 do leta 2024. According to Scopus ("hydropower" or "hydroelectric" in the keywords or title or abstract). Samo

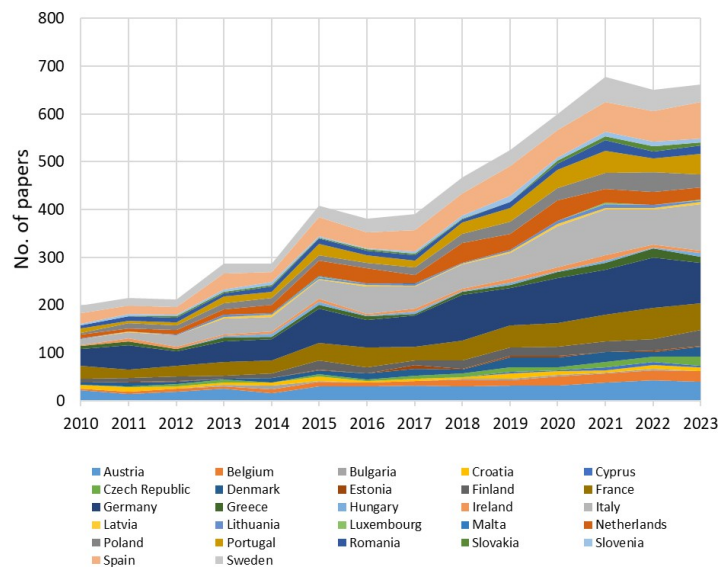
na seznamu sta dva avtorja iz EU (vključno s prvim avtorjem tega poročila). Raziskave na področju hidroenergetike zajemajo široko paleto znanstvenih področij, zato tukaj predstavljeni rezultati, ki temeljijo na nekaj ključnih besedah, povezanih s hidroenergijo, ne predstavljajo celotne zbirke podatkov in so le kazalniki.

Slika 24. Število znanstvenih člankov, objavljenih v recenziranih revijah, za EU in druge države.



Vir: JRC

Slika 25. Število znanstvenih člankov, objavljenih v recenziranih revijah, v državah članicah EU.



Vir: JRC

Preglednica 13. Visoko citirani članki o hidroenergiji (10 % najbolj citiranih člankov, normiranih na leto in področje).

	Dokumenti	Visoko citirani dokumenti
RoW	9249	14.6%
Kitajska	7816	14.7%
EU	5108	16.8%
Združene države Amerike	3210	19.8%
Združeno kraljestvo	1076	22.8%
Indija	1069	17.4%
Švica	552	21.4%
Japonska	374	14.2%
Južna Koreja	228	17.1%

Vir: JRC

Preglednica 14. Seznam glavnih avtorjev in število člankov v obdobju 2020-2024 (posodobljeno avgusta 2024) s ključno besedo Hydropower (vir: Scopus).

Avtor	Št. dokumenti
Cheng, C.	100
Liu, P.	56
Chen, D., Liao, S.	44
Zhou, J., Ming, B.	39
Shen, J., Liu, B.	35
Zhang, J., Chen, S.	30
Quaranta, E., Ramos, H.M.	29
Ma, G., Huang, Q.	28
Boes, R.M., Xu, N.	27

Vir: Scopus

2.9 Ocena razvoja projektov R&I

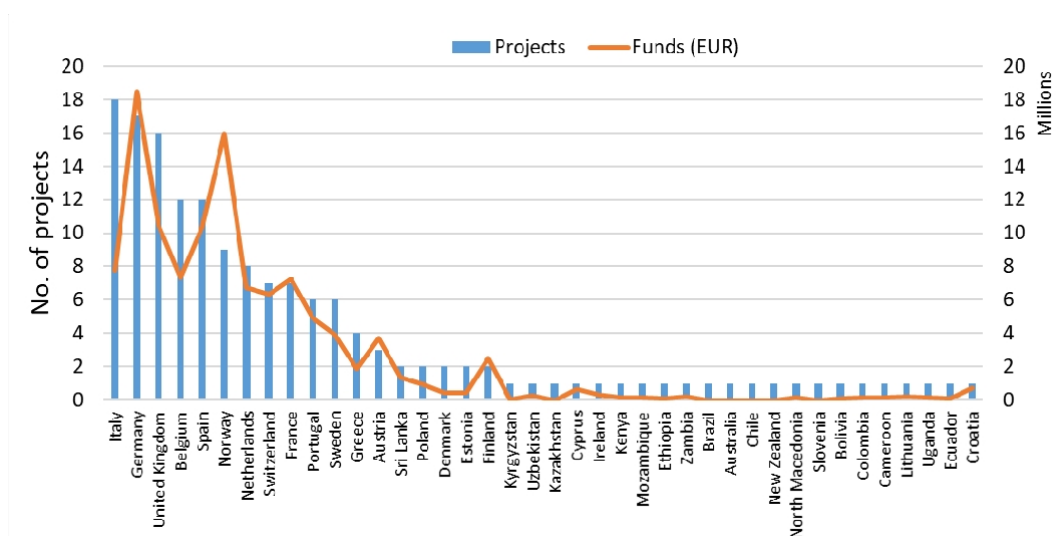
Evropska unija je financirala več projektov na področju hidroenergije. Od leta 2015 do leta 2024 je bilo v okviru programa Obzorje financiranih 42 projektov, največ v letu 2018 (10 projektov). Slika 26 prikazuje prejeti prispevek EU za vsako državo in skupno število projektov med letoma 2015 in 2022. Združeno kraljestvo, Belgija in Nizozemska, ki so ravninske države, so prejele veliko sredstev, to pa je povezano predvsem z razvojem opreme za hidroelektrarne z nizko gladino. Italija in Nemčija sta med državami z največ sredstvi, saj je njuno ozemlje primerno tako za hidroelektrarne z nizko glavo kot za elektrarne z visoko glavo v alpskem okolju. Sodelovale so tudi različne države zunaj EU, zlasti: Uzbekistan, Kirgizija, Kenija, Zambija, Mozambik, Etiopija, Čile, Avstralija, Brazilija, Nova Zelandija, Severna Makedonija, Kolumbija, Uganda, Kamerun, Ekvador, Bolivija. Norveška in Švica sta prav tako zelo dejavni partnerici.

V preglednici 15 so navedeni nekateri projekti, ki jih je v zadnjem času financirala EU v okviru programa Obzorje, iz podatkovne zbirke Cordis. Tri najbolj ponavljajoče se teme so skrita in nizka vodna energija, blažitev okoljskih vplivov in povečanje prožnosti. Omeniti velja raziskovalna projekta Hydropower Europe (zdaj ETIP Hydropower) in PEN@Hydropower. Prvi je obsežen projekt, ki združuje

zainteresirane strani v hidroenergetskem sektorju na forumu za razvoj raziskovalnega in inovacijskega programa ter strateškega industrijskega načrta za podporo izvajanju raziskav in inovacij na področju novih hidroenergetskih tehnologij in inovativnih omilitvenih ukrepov. Cilj projekta PEN@Hydropower je vzpostavitev vseevropske mreže za trajnostno, digitalizirano hidroenergijo, ki prispeva k prehodu na čisto energijo (CET), sestavljene iz združene mreže raziskovalcev, inženirjev in znanstvenikov, ki bo omogočila tesno sodelovanje med evropskimi raziskovalnimi skupinami prek projektov v podporo trajnostni hidroenergiji.

Nedavni razpisi v okviru programa Obzorje obravnavajo skrite priložnosti za hidroenergijo^{dd} (glej tudi Quaranta et al., 2022, običajno povezane s hidroenergijo z nizko gladino), digitalizacijo hidroenergije^{ee} (povezane s prožnostjo, Quaranta et al., 2021, Kougias et al., 2019, Quaranta et al., 2023¹⁰⁶), črpalne hidroelektrarne^{ff} in trajnostne prenoše^{gg,hh} (glej tudi oddelek 2.3). Dodatna mednarodna in celovita dejavnost na področju hidroenergije, pri kateri sta sodelovala JRC in RTD, je načrt za hidroenergijo Mednarodne agencije za energijo, zlasti prilogi Hydropower & Fish in Hidden Hydropower opportunitiesⁱⁱ. Podoben program kot IEA-Hydropower je tudi program, ki ga organizira Evropska zveza za energetske raziskave (The European Energy Research Alliance - EERA), ki pospešuje raziskovalno platformo za nizkoogljično energijo za 250 organizacij in 50 000 raziskovalcev iz 30 držav. Skupni program za hidroenergijo^{jj} je eden od 18 programov in podpira vlogo hidroenergije kot spodbujevalca sektorja obnovljivih virov energije. Glavni cilj je podpora trenutnim potrebam in raziskovalno-razvojnimi dejavnostim v hidroenergetskem sektorju. Raziskovalna dejavnost SustHydro, ki jo je koordiniral Emanuele Quaranta v Skupnem raziskovalnem središču, je bila namenjena opredelitvi trajnostnih in skritih možnosti za hidroenergijo v EU za podporo prejšnjim dejavnostim in politikam EU's (glej npr. Quaranta et al., 2021, Quaranta et al., 2022).

Slika 26. Prejeta sredstva in število projektov po državah (projekti Interreg niso vključeni), 2015-2022.



Vir: JRC

^{dd} <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/horizon-cl5-2021-d3-03-11>

^{ee} <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/horizon-cl5-2022-d3-03-08>

^{ff} <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/horizon-cl5-2024-d3-01-16>

^{gg} <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/horizon-cl5-2023-d3-02-09>

^{hh} <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/horizon-cl5-2024-d3-01-07>

ⁱⁱ <https://www.ieahydro.org/work-programme/>

^{jj} <https://www.eera-hydropower.eu/>

Preglednica 15. Seznam projektov Horizon (2015-2022) in število partnerjev.

Začetek datum	Naslov	Skupni stroški projekt (EUR).	Akronim projekta	Partnerji
2024	Revolucionarna prenova za učinkovito in okolju prijazno vodna energija	3999951	RevHydro	8
2024	nove rešitve za hidroelektrarne za povečanje obratovalnega doseg, Učinkovitost in izboljšanje vpliva na okolje		SHERPA	7
2024	Inovativna tehnologija shranjevanja in delovanje v hidroelektrarnah		STOR-HY	15
2024	Prikaz trajnostne obnove hidroelektrarn	7 506 337	REHydro	16
2024	Nove tehnologije za dolgoročno shranjevanje električne energije za prožne vodna energija	4315796	Store2Hydro	8
2023	Digitalne rešitve za izboljšanje trajnostne uspešnosti in Potencial fleksibilnosti sredstev HYDRORpower	4 038 519	D-HYDROFLEX	7
2023	DIGITALNO VZDRŽEVANJE ZA TRAJNOSTNO IN PRILAGODLJIVO DELOVANJE HIDROELEKTRARNE	4000000	Di-Hydro	7
2023	inteligentna platforma za upravljanje sredstev za obratovanje hidroelektrarn in vzdrževanje	4100000	iAMP-Hydro	7
2022	Hidden Hydro Oscilating Power za Evropo	4854230	H-HOPE	9
2021	Hidroenergija za vas - Trajnostna mala hidroenergija v osrednjem delu sveta Azija	11488428	Hydro4U	12
2020	Modeliranje energije za trajnostni razvoj v Etiopiji	183473	MEND	2
2020	Povečanje stabilnosti omrežja s črpalno hidroenergijo z nizkimi vodami Uporaba in shranjevanje	4996825	ALFEUS	6
2020	Inovativna aksialna turbina za pretvorbo hidrokinetične energije v elektrika v rekah in kanalih	2192125	HyKinetics	2
2019	Predvidevanje sprememb v interakcijah med vrstami po izgubi vrst v otoki hidroelektrarn	183454	Lost-Biodiv	1
2019	HYdro-POwer-Suite	2397120	HYPOS	5
2020	Regulacija rečnega toka, obnašanje in stanje rib	4048220	RIBES	4
2019	Interoperabilne rešitve za izvajanje celovitih storitev FLEXibility v distribucijski mreži GRID	8544133	FLEXIGRID	6
2019	Revolucionarna tehnologija HYDRO POWER za trajnostno izkoriščanje stopnice za vodo z zelo nizkim vodostajem	3511500	Turbulentni	1
2019	Rešitve na področju hidroenergije za države v razvoju in države v vzponu	2938374	HYPOSO	13
2019	Vodna energija za povečanje prilagodljivosti elektroenergetskega sistema	18162950	XFLEX HYDRO	7
2019	Waterjade: globalna platforma za napovedovanje vodnih virov	71429	Waterjade	2
2019	Skalabilen in trajnosten sistem za shranjevanje energije v omrežju, ki uporablja tehnologijo vztrajnikov tretje generacije za učinkovito vključevanje obnovljivi viri energije.	3465625	Teraloop EES	2
2018	Energija iz vode v gibanju: učinkovita, prilagodljiva vodna energija izven omrežja elektrika za podeželska območja z dostopom do potokov	71429	HYDROGO	2
2018	HIDROENERGIJA-EVROPA	993571	HYDROPOWER - EVROPA	4
2018	Kinetični mikrohidravlični sistem za elektrifikacijo podeželskih območij.	71429	SMART Slowflow	2
2018	Visoko skalabilen sistem za shranjevanje energije v omrežju, ki uporablja 3. tehnologijo vztrajnikov za učinkovito vključevanje obnovljivih virov energije.	71429	Teraloop ESS	2
2018	statistično združiti podnebne modele z daljinskim zaznavanjem, da bi zagotovili napovedi sneženja visoke ločljivosti za bližnjo in daljno prihodnost.	180277	CliRSnow	2
2018	Povečanje vrednosti hidroenergije z večjo prilagodljivostjo	5716989	HydroFlex	5
2018	Inovativna aksialna turbina za pretvorbo hidrokinetične energije v električne energije za uporabo na rekah.	71429	HyKinetics	2
2017	Evropska mreža za usposabljanje in raziskave na področju okolja FLOW upravljanje v porečjih.	3923989	EUROFLOW	8
2017	Okoljsko učinkovita rešitev za vrtnje celotnega profila	2811875	ECO-DRILLING	2
2017	Izkoriščanje energije iz kinetike vodnega toka za mini/mikro hidroelektrarne rastline.	71429	RIVER-POWER	2
2017	Razvoj novega pretvornika energije plimovanja in valovanja (WATEC) za nižji stroški proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov.	71429	WATEC	1

2017	Kvantifikacija ekoloških učinkov malih hidroelektram v alpskem potoku ekosistemi	180277	SHYDRO-ALP	2
2016	Globalno gibanje za okoljsko pravičnost: EJAAtlas	1910811	EnvJustice	2
2016	Ribam prijazne inovativne tehnologije za vodno energijo	7171550	FIThydro	9
2016	DAFNE: Uporaba analitičnega okvira odločanja za raziskovanje razmer med vodo in energetske-prehranski NExus v kompleksnih in čezmejnih sistemih vodnih virov v hitro rastočih državah v razvoju.	5420223	DAFNE	11
2016	Prilagodljivo upravljanje pregrad v evropskih rekah	6238104	AMBER	10
2016	Izmenjava znanja za učinkovito prehajanje rib v južnem Hemisferi	135000	KEEPFISH	8
2015	DONOSNA HIPNA ENERGIJA Z NIZKO PORABO	1512893	Vodna glava	2
2015	Spletna programska platforma za učinkovito povezovanje vlagateljev z zagonska podjetja, ki se osredotočajo na spodbujanje sektorja čistih tehnologij.	71429	CAGIX	2
2015	Inovacije v upravljanju z vodo za boljšo prihodnost ob podnebnih spremembah	7822423	BINGO	6

Vir: JRC

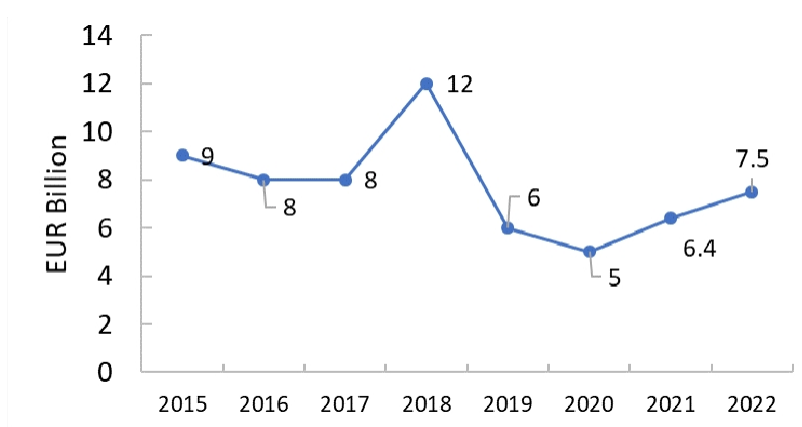
3 Analiza vrednostne verige

3.1 Obrat

Letni promet proizvodnje električne energije iz hidroelektrarn v E U je prikazan na sliki 27¹⁰³. Vodilne države članice glede na promet v letu 2021 so bile Avstrija (0,81 milijarde EUR), Italija (0,91 milijarde EUR), Francija (2,2 milijarde EUR), Španija (0,46 milijarde EUR) in Nemčija (0,72 milijarde EUR). Leta 2022 so bile vodilne države članice Francija (0,56 milijarde EUR), Italija (0,95 milijarde EUR), Avstrija (1,1 milijarde EUR) in Nemčija (1,1 milijarde EUR). Po podatkih iz leta 2021 evropski proizvajalci hidroelektrarn za raziskave in razvoj porabijo več kot 5 % letnega prometa, kar je več kot dvakrat več od evropskega industrijskega povprečja¹⁰¹. Največji promet je leta 2018 znašal približno 12 milijard EUR.

Promet se povečuje od leta 2020. Vendar bi lahko bil dejanski obseg prometa veliko višji in bi presegel 100 milijard EUR (Prognos, 2024), če bi poleg opreme vključili tudi gradbena dela.

Slika 27. Promet s hidroenergijo v EU, Eurostat.

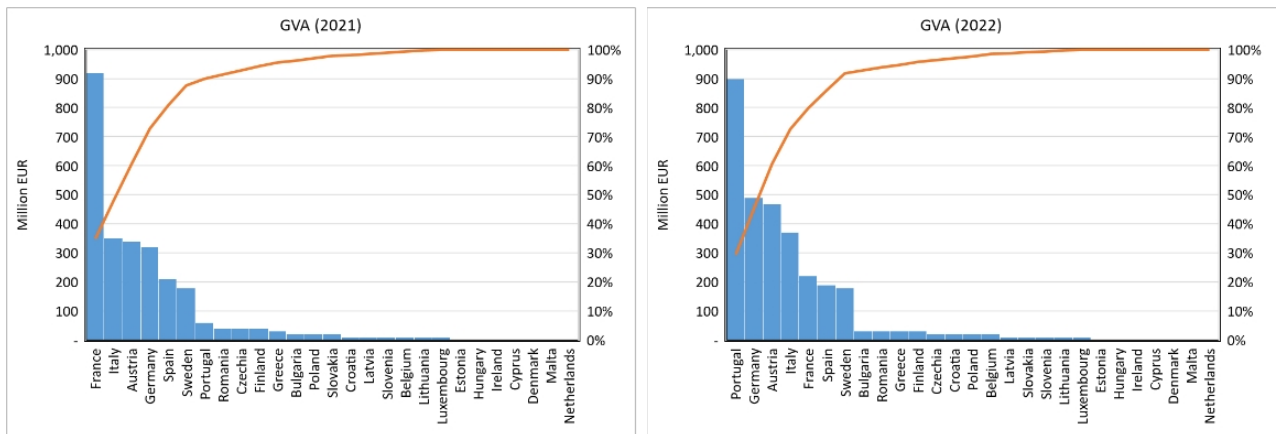


Vir: Eurostat

3.2 Bruto dodana vrednost

EurObserv'ER provides an estimate of Gross Value Added (GVA) based on a uniform modelling za vse tehnologije (slika 28). Ocena temelji na evidentiranih denarnih tokovih v 1) nove naprave; 2) obratovanje in vzdrževanje obstoječih zmogljivosti; 3) proizvodnjo (oddelek 3.6, 605 milijonov EUR leta 2023) in trgovino z opremo (oddelek 4.2, izvoz zunaj EU v višini 171 milijonov EUR leta 2023); 4) proizvodnjo in trgovino z biomaso (ni relevantno za hidroelektrarne), ki so pretvorjeni v BDV z uporabo različnih faktorjev, specifičnih za tehnologijo. Vključen je tako neposredni kot posredni učinek, vendar ne inducirani učinek. Bruto dodana vrednost je skupna vrednost proizvodnje v sektorju, zmanjšana za vrednost vmesne porabe, in se zato uporablja kot merilo prispevka k BDP. BDV hidroenergetskega sektorja po podatkih EurObserv'ER v letih 2021 in 2022 je prikazana na sliki 28: BDV v EU's je leta 2021 znašala 2,72 milijarde EUR (1,95 milijarde EUR leta 2020), leta 2022 pa 3,14 milijarde EUR, s trendom naraščanja. Po analizi družbe Prognos je BDV v predelovalnih dejavnostih v letih 2021, 2022 in 2023 znašala 210, 180 in 250 milijonov EUR, v gradbeništvu in obratovanju 22,6, 18,4 in 18,7 milijarde EUR, v raziskavah in razvoju pa 29, 13 in 14 milijonov EUR.

Slika 28. Bruto dodana vrednost (BDV) za vsako državo članico EU leta 2021 (levo) in 2022 (desno), EurObserv'ER's data.



Vir: EurObserv'ER

Prispevek hidroelektrarn h gospodarstvu vključuje tudi proizvodnjo energije, pomožne storitve in številne storitve (slednje so večinoma povezane z vodnimi zbiralniki in hidravlično/civilno infrastrukturo). Po nekaterih ocenah iz leta 2015 hidroenergija v EU in Združenem kraljestvu na splošno letno prispeva k BDP 25 milijard EUR. Glavni del tega prispevka izhaja iz proizvodnje hidroenergije, in sicer približno 20 milijard EUR. BDV predstavlja skoraj 2 milijardi EUR, preostali znesek pa so davčni prihodki. Pričakuje se, da se bo prispevek hidroenergije k BDP EU+Združenega kraljestva do leta 2030 znatno povečal in presegel 40 milijard EUR ali celo dosegel 50 milijard EUR, odvisno od scenarija razvoja obnovljivih virov^{kk} (raznovrstna ponudba oziroma referenčni scenarij) .¹⁰⁴

V celotni Evropi je bilo v letu 2015 ustvarjenih približno 38 milijard EUR letne vrednosti^l, do leta 2030 pa se lahko poveča na približno 75 do 90 milijard EUR. Neposredni davčni prispevki so ocenjeni na skoraj 15 milijard EUR letno ali več kot tretjino celotne ustvarjene vrednosti, kar je nekajkrat več od omejenega obsega subvencioniranih plačil za male hidroelektrarne. Velik delež te vrednosti gre neposredno v lokalne in regionalne proračune ter prispeva k spodbujanju regionalnega razvoja. Čeprav je težko oceniti povezane koristi, večnamenske funkcije hidroelektrarn pomenijo dodatno letno gospodarsko vrednost v višini od 10 do 20 milijard EUR, tudi če zanemarimo morebitno vrednost preprečene škode zaradi poplav, ki je lahko precejšnja. Pričakovati je, da se bodo te koristi v prihodnosti povečale, na primer zaradi povečane potrebe po upravljanju voda in obvladovanju poplav. Čeprav so prihodnji vplivi na proizvodnjo hidroenergije negotovi, je optimalno upravljanje in obratovanje vodnih zbiralnikov za upravljanje vodnih virov med najboljšimi načini za ublažitev suše. Agencija IHA ocenjuje, da hidroenergetska industrija s funkcijo shranjevanja vode v rezervoarjih preprečuje 131,3 milijarde USD letnih izgub BDP zaradi sušnih dogodkov (IHA, 2024). V zadnjih 30 letih je poplavno leto v povprečju povečalo letni faktor zmogljivosti hidroelektrarn v EU za +7 % več v primerjavi z nepoplavnimi leti. V letih z nevihtami se je letna hidroenergija v EU povečala za +5,8 %, medtem ko so jo suše/vročinski valovi zmanjšali za -6,5 % .¹⁰⁵

^{kk} The scenario 'Diversified Supply Technologies' follows the EU's long-in uporablja kombinacijo različnih načinov razogljčenja. različne tehnologije, vključno z obnovljivimi viri energije. Z njim se dosežejo znatna zmanjšanja emisij ogljika v energetskem sektorju (> 95 %) do leta 2050) in predvideva močno rast obnovljivih virov energije, predvsem wind power. In contrast, the "Reference" scenario reflects a bolj konservativen razvojni scenarij, ki ne dosega ciljev zmanjšanja emisij ogljika do leta 2050.

^l Ustvarjanje vrednosti zajema prispevek različnih gospodarskih sektorjev k bruto domačemu proizvodu (BDP).

3.3 Okoljska, socialna in gospodarska trajnost

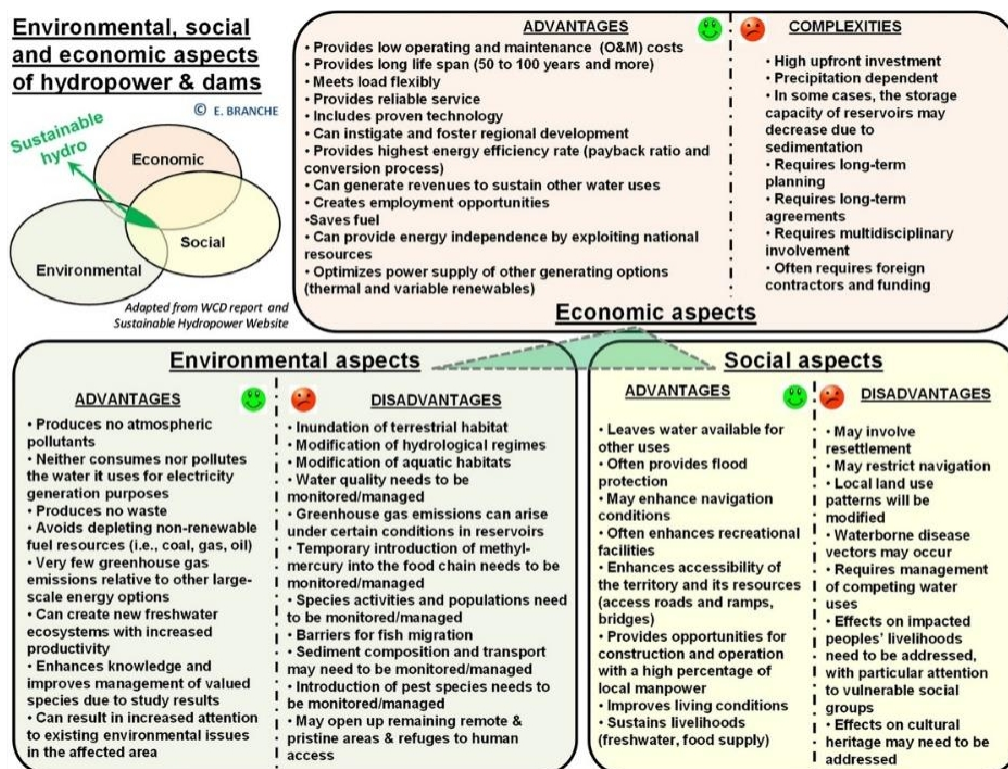
3.3.1 Trajnostni kazalniki in orodja za ocenjevanje

Velike hidroelektrarne in na splošno veliki rezervoarji so kompleksni sistemi, ki medsebojno vplivajo na hidrosfero, biosfero, litosfero, antroposfero in ozračje, pri čemer so njihovi vplivi in koristi¹⁰⁶. Zato je trajnostni razvoj velik izziv za hidroenergijo, saj je pri trajnostni hidroenergiji treba upoštevati številne gospodarske, družbene in okoljske cilje. Razvoj hidroenergije, zlasti velikih projektov, vključuje več zainteresiranih strani. Kompleksnost hidroenergije je dobro vidna v njeni navzkrižni prisotnosti v različnih evropskih direktivah s svojimi koristmi in vplivi (glej preglednico 1 in oddelek 1.2).

Ob odgovornem razvoju in upravljanju hidroenergija neposredno prispeva k doseganju ciljev trajnostnega razvoja (SDG) 6, 7, 9 in 13. Hidroenergetski projekti lahko prispevajo tudi h gospodarskemu razvoju, družbenim naložbam in okoljskim rezultatom (podpora ciljem trajnostnega razvoja 1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16 in 17).

Splošne koristi in vplivi so povzeti na sliki 29, v Dodatku 1 pa so povzeti trajnostni kazalniki vodne energije, izbrani za projekt CETO.

Slika 29. Prednosti in vplivi hidroenergije.



Vir: Branche, 2017¹⁰⁷

Mednarodno združenje za hidroenergijo (IHA) je razvilo standard za trajnostno rabo hidroenergije, ki ga upravlja svet za trajnostno rabo hidroenergije z več zainteresiranimi stranmi, da bi upoštevali vseobsežne vplive in koristi hidroenergije. Standard za trajnostno rabo hidroelektrarn je globalna certifikacijska shema, ki določa trajnostna pričakovanja za projekte hidroelektrarn po vsem svetu. Standard lahko pomaga zagotoviti, da hidroenergetski projekti zagotavljajo neto koristi za lokalne skupnosti in okolja, s katerimi so v stiku. Standard zajema dvanajst okoljskih, družbenih in upravljaljskih tem (ESG), med katerimi so tudi biotska raznovrstnost in invazivne vrste, avtohtoni

Narodi in kulturna dediščina. Svet za trajnostno rabo hidroelektrarn je organ za upravljanje sistema za certificiranje trajnostne rabe hidroelektrarn, ki ga sestavljajo številne zainteresirane strani. Svet vključuje predstavnike organizacij družbene skupnosti in okoljskih organizacij, vlad razvitih držav in držav v razvoju, finančnih institucij in hidroenergetskega sektorja na splošno. Svet je sestavljen iz sedmih zbornic, od katerih vsaka zastopa drug segment zainteresiranih strani na področju hidroenergetike. Člani zbornic sodelujejo v demokratičnem postopku, v katerem izberejo predstavnike, ki v upravnem odboru govorijo v imenu svoje interesne skupine. Svet zagotavlja prispevek več zainteresiranih strani ter zaupanje v kakovost vsebine, ustreznost in zagotavljanje sistema certificiranja trajnostnega razvoja hidroelektrarn. Do zdaj sta certifikat prejela dva projekta (Tadžikistan in Kanada), pet projektov je v postopku javnega posvetovanja (Brazilija, Kolumbija in trije v Nepal), trije projekti pa so v postopku ocenjevanja (Albanija, Indonezija in Malezija). V preteklosti je bilo na podlagi orodij za trajnostno rabo hidroenergije ocenjenih več kot 25 projektov, ki so navedeni v preglednici 16 in se nahajajo v Evropi. V Evropi obstaja tudi nekaj projektov, namenjenih povečanju biotske raznovrstnosti (npr. s programi pogoždovanja/obnove/ vzdrževanja) v hidroelektrarnah.¹⁰⁸

Preglednica 16. Projekti hidroelektrarn v Evropi, ki so bili ocenjeni na podlagi orodja za trajnostno rabo hidroelektrarn.

Država	Ime projekta	Instalirana moč (MW)
Avstrija*	Kaunertal	1015
Islandija	Kárahnjúkar	690
Norveška	Jostedal	288
Albanija	Devoll	256
Hrvaška*	Program Sava	151
Islandija	Blanda	150
Nemčija*	Walchensee	124
Francija*	Romanche-Gavet	94
Islandija	Hvammur	82
Švedska*	Semla IV	3.5

* v EU. Vir: IHA

3.3.2 Dodatni premisleki

Kot nizkoogljčna energetska tehnologija brez neposrednih emisij hidroenergija prispeva k energetskim ciljem in blažitvi podnebnih sprememb. Njene prednosti so zanesljivost oskrbe, izredno visoka učinkovitost in prilagodljivost¹⁰⁹. Zato lahko hidroenergija prilagodi svojo proizvodnjo, da uravnovesi kratkoročna nihanja na dnevnem trgu, in podpira zanesljivost oskrbe v primeru sezonskih nihanj. Podpira tudi regulacijo frekvence v omrežju. Čeprav je njen delež skupne proizvodnje v zadnjem desetletju zaradi rasti vetrne in sončne energije ostal skoraj nespremenjen, je prožnost hidroelektrarn ključnega pomena za vključevanje naraščajočih ravni nestanovitnih virov energije v električni sistem s¹¹⁰. Večnamenski rezervoarji lahko zagotovijo dodatne koristi in zagotavljanje vode za več drugih uporab.

Po drugi strani pa so lahko vodni zbiralniki in jezovi na rekah odgovorni za poslabšanje ekosistema zaradi preusmerjanja in spreminjanja pretoka ter sprememb habitata; pregrade (za kakršen koli namen) ovirajo naravni tok reke, kar ima ekološke, hidrološke in morfološke posledice. Vodni zbiralniki so lahko v vseh podnebnih regijah odgovorni za emisije metana in ogljika zaradi razgradnje alohtonih ali avtohtonih organskih snovi, s posebnim tveganjem povečanja naravnih emisij v razmerah, ugodnih za proizvodnjo metana (anoksične razmere, velika območja z nizko globino vode)¹¹¹. Kljub zakonom EU's in protokolom o biotski raznovrstnosti^{112,mm} je bilo ugotovljeno, da je le 37 % površinskih vodnih teles (rek, jezer ter prehodnih in obalnih voda), ki jih je pregledala Evropska agencija za okolje, v dobrem ekološkem stanju.

Delno k temu prispeva tudi hidroenergija, vendar je manj kot 10 % ovir namenjenih hidroenergiji.

^{mm} <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/europes-state-of-water-2024>

(zbirka podatkov AMBER). Poleg tega je od 4490 velikih jezov, navedenih v podatkovni zbirki ICOLD2023, 1389 jezov namenjenih hidroenergiji za en namen, pri 339 večnamenskih jezovih je hidroenergija prva uporaba, pri 427 jezovih pa je hidroenergija druga, tretja ali četrta uporaba. Zato so bili v EU uvedeni strogi standardi in z njimi povezana zakonodaja za zaščito ekosistemov in okolja, kar pomeni, da mora razvoj novih hidroelektrarn izpolnjevati visoke trajnostne zahteve. Protokol za oceno trajnostnega razvoja hidroelektrarn ponuja način za oceno uspešnosti hidroenergetskega projekta v več kot 20 trajnostnih temah.

Pomembno je poudariti, da so učinki hidroelektrarne odvisni od lokacije in vodnega telesa ter od podnebnih in geografskih razmer, pa tudi od vrste hidroelektrarne, njene velikosti in uporabljene tehnologije. Na primer, študija Mahmuda in drugih, (2019)^{113,115} ugotovila, da je skupna ocena življenjskega cikla (LCAⁿⁿ) hidroelektrarn (kg CO₂ekv/kWh) v Evropi nižja kot zunaj Evrope (glej tudi Ueda et al., 2019¹¹⁴), na splošno pa so hidroelektrarne v nealpskih regijah odgovorne za emisije ogljika z večjo stopnjo kot tiste v alpskih regijah (Mahmud et al., 2019) zaradi višje stopnje biogenih emisij metana iz nealpskih elektrarn, ki običajno vključujejo večje in plitvejšje rezervoarje. Mahmud et al. (2019) so tudi ugotovili, da alpska elektrarna izpusti višjo stopnjo dušikovega oksida zaradi večjega izgorevanja fosilnih goriv med proizvodnjo in večjega izgorevanja trdnih odpadkov ob koncu življenjske dobe zaradi težjega prevoza in povezave z napravami za odstranjevanje odpadkov. Na alpskih območjih v Evropi e¹¹⁵ je za največ vplivov odgovorna faza gradnje. Dones in drugi (2007)¹¹⁶ so pokazali, da ROR niso povezani z velikimi zavezitvami in s tem z emisijami metana iz rezervoarja, ekosistemske storitve ROR pa so manjše od tistih, ki jih zagotavljajo hidroelektrarne v rezervoarjih (37 milijonov USD v primerjavi s 410 milijoni USD v študiji primera, opisani v¹⁴⁹). Vendar je vsak projekt specifičen za posamezno lokacijo, zato bi bilo kakršno koli posploševanje zavajajoče in se je treba izogibati.

Študije Alsaleha in Abdul-Rahima (2021)⁴⁹ sta analizirali interakcijo med hidroenergijo in okoljem, človeškim kapitalom, trgovino, inovacijskim ekosistemom in gospodarsko rastjo v EU+Združenem kraljestvu od leta 1990 do leta 2018. Predlagata, da je razvoj mikro-hidroelektrarn mogoče kvalitativno oceniti kot trajnosten z vidika izboljšanja blaginje skupnosti. Okoljsko načrtovanje in napredni postopki načrtovanja lahko podpirajo trajnostne kompromise med ohranjanjem funkcij ekosistemov in proizvodnjo energije. Isti avtorji so pokazali, da je mogoče izpuste ogljikovega dioksida v EU+Združenem kraljestvu učinkovito zmanjšati s širjenjem hidroenergije. Povečanje proizvodnje energije iz hidroelektrarn za 1 % bi zmanjšalo izpuste ogljikovega dioksida za 0,809 %, medtem ko bi povečanje gospodarske rasti za 1 % povzročilo povečanje izpustov ogljikovega dioksida za 0,113 %¹¹⁷. Po drugi strani pa rast proizvodnje hidroenergije poslabšuje stanje voda, čeprav naj bi največji vpliv na kakovost vode prinesla povečanje gostote prebivalstva in gospodarska rast¹¹². Fan in drugi (2022) so ugotovili, da so nedavno zgrajeni jezovi povezani s povečanjem bruto domače proizvodnje (BDP) v Severni Ameriki in urbanih območjih v Evropi. Novi jezovi pa so bili povezani z zmanjšanjem BDP in števila prebivalcev na globalnem jugu ter z zmanjšanjem zelenih površin na bližnjih območjih v Afriki¹¹⁸, kjer lahko veliki projekti povzročijo konflikte, korupcijo in razlike v revščini¹¹⁹. Zato je pri širjenju hidroelektrarn ključnega pomena sodelovanje javnega sektorja.¹¹⁰

Ko govorimo o PSH, je smiselna primerjava z baterijami. Ni treba, da so baterije drage centralizirane naprave z zmogljivostjo več GWh. Zmogljivost se lahko razdeli na manjše enote in razporedi po več lokacijah, pri čemer je odzivnost zelo hitra. Vendar imajo baterije posebne zahteve glede materialov, iz katerih so narejene, načina delovanja in razgradnje ob koncu življenjske dobe. Večina materialov se prečiščuje na Kitajskem. Baterije so še posebej primerne za kratkoročne zahteve po hitrem odzivu, medtem ko PSH hranijo velike količine in lahko zagotavljajo dolgoročno skladiščenje z življenjsko dobo gradbenih objektov več kot 50 let (pri baterijah je njihova življenjska doba krajša od 20 let). PSH imajo manjši vpliv na okolje kot baterije, razen naravnega preoblikovanja zemljišč, v

ⁿⁿ Ocena življenjskega cikla (LCA) je sistematičen pristop k ocenjevanju učinkov tehnologije/procesa v celotni življenjski dobi, od pridobivanja surovin do predelave, prevoza, delovanja in odstranjevanja ob koncu življenjske dobe.

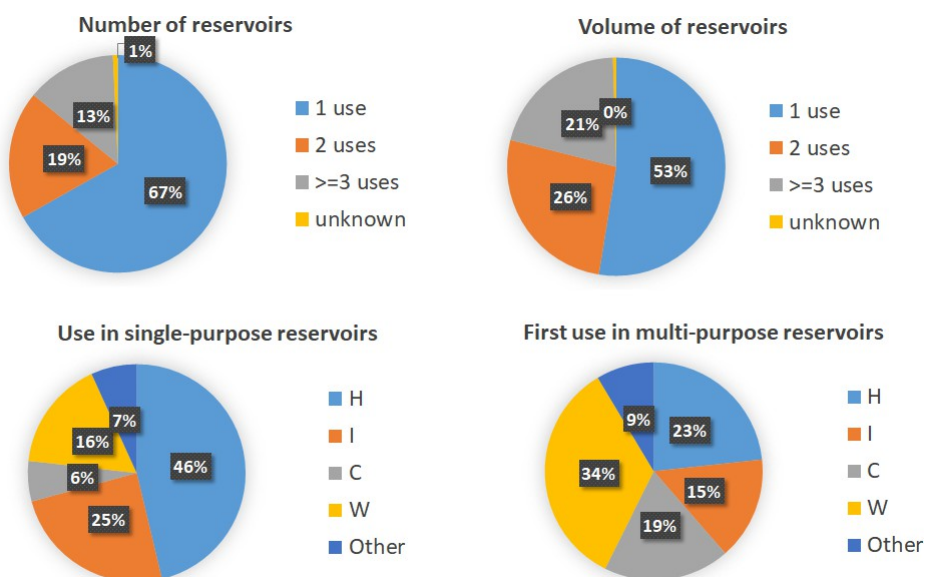
analiza LCA, opravljena v Immendoerfer et al., (2017)¹²⁰. Potrebni bi bilo več baterijskih parkov to replace one PSH (the largest EU PSH stores 100 times GWh more than the largest EU's battery park) in poleg shranjevanja energije in prilagodljivosti ne bi prinesla dodatnih koristi. Baterije bi bile lahko primernejše za kratkoročne storitve prožnosti (minute, ure), s tem pa bi se zmanjšali tudi učinki hidroelektram ter poslabšanje elektromehanske in hidravlične opreme hidroelektram. Ocena učinka baterij EU predvideva povpraševanje po baterijskem shranjevanju energije v EU med 180-230 GWh leta 2025 in 450-730 GWh leta 2030 (vendar predpostavlja veliko večji prispevek baterij za električna vozila, skupaj 1,5-2,5 TWh, Evropska komisija, 2020b¹²¹). Treba je omeniti, da lahko pametna omrežja in pogodbe o izmenjavi električne energije zmanjšajo nestanovitnost porabe.

3.3.3 Izzivi, povezani z rezervoarji z večnamensko rabo

Večnamenski rezervoarji imajo lahko pomembne dodatne funkcije za družbo: hidroenergija, namakanje in oskrba s pitno vodo, obvladovanje tveganja poplav in suše, rečna plovba in rekreacija, gašenje požarov, ribolov, prosti čas. Iz slike 30 je razvidno, da je v EU 33 % velikih rezervoarjev namenjenih večnamenski uporabi, vendar se v njih hrani skoraj polovica količine vode. Med rezervoarji za enkratno uporabo jih je skoraj 50 % namenjenih hidroenergiji, medtem ko je najpogostejša prva uporaba v rezervoarjih za večkratno uporabo oskrba z vodo. Te večnamenske storitve bi lahko civilni družbi zagotovile večjo odpornost na vplive podnebnih sprememb. Vendar obstajajo nekateri izzivi. Glavni izziv večnamenskih rezervoarjev je delitev vode, stroškov in vplivov med konkurenčnimi uporabniki ter opredelitev prednostnih nalog uporabnikov. Ti izzivi so lahko še večji v regijah, ki bodo v prihodnosti zaradi podnebnih sprememb morda trpele zaradi zmanjšanja razpoložljivosti vode, npr. južna Evropa se je soočila s sušnimi razmerami. Še en izziv za hidroenergetski sektor in večnamenske rezervoarje je hkratio zasledovanje energetske, podnebne in okoljske cilje ter spopadanje z usedlinami v rezervoarjih. Doseganje ravnovesja med različnimi cilji je bil cilj več razprav in študij^{122, 123, 124}.

Slika 30. Na vrhu: Uporaba v velikih vodnih zbiralnikih (sklic: ICOLD, 2023).

Spodaj: uporaba v rezervoarjih za enkratno uporabo (levo, število rezervoarjev) in prva uporaba v rezervoarjih za večnamensko uporabo (desno): H (hidroenergija), I (namakanje), C (nadzor poplav), S (oskrba z vodo), R (rekreacija), N (plovba), O (druga uporaba).



Vir: ICOLD

Za spopadanje s temi izzivi je treba izvajati blažilne, okolju prijazne in trajnostne rešitve, in sicer na ravni načrtovanja/upravljanja ter v fazi gradnje in obratovanja in upravljanja¹²⁵ (npr. ribam prijaznejše turbine, stojala, ki preprečujejo prehod rib skozi turbino, učinkovite ribje prehode, boljše upravljanje sedimentov, ukrepi za ublažitev hidropečenja in digitalizacija^{126,127}). Na ravni načrtovanja/upravljanja je celostni pristop bistven za doseganje celostnega pogleda na porečje, na primer za izbiro optimalnega rezervoarja in/ali lokacije hidroelektrarne¹²⁸. Treba je opredeliti zainteresirane strani in jih vključiti v zgodnje faze načrtovanja. Zagotoviti je treba večjo prožnost in prilagodljivost pri načinu dodeljevanja vode uporabnikom v celotnem obdobju obratovanja rezervoarja ter upoštevati vse učinke, ki jih lahko hidroelektrarne povzročijo na okolje in družbo, tako na lokalni kot na regionalni/nacionalni ravni. Na primer, družba EDF (Electricité de France) in Svetovni svet za vodo (WWC) sta se leta 2012 dogovorila o sodelovanju in začela izvajati program za delo na konceptualnem okviru SHARE za večnamenske hidroenergetske rezervoarje, da bi dosegli večjo trajnost. Namen je čim bolj povečati koristi večnamenske uporabe hidroenergetskih rezervoarjev z upoštevanjem načel: 1) skupni vir, 2) skupne pravice in tveganja, 3) skupni stroški in koristi¹⁰⁷. Z upoštevanjem načel souporabe virov ter delitve stroškov in koristi z lokalnimi zainteresiranimi stranmi, tj. z lokalno udeležbo (v nasprotju s centraliziranim načrtovanjem), lahko to pripomore k lažjemu sprejemanju s strani skupnosti^{129,00}.

3.3.4 Sektor hidroenergije za ženske in mlade

V teku je več socialnih pobud za opolnomočenje žensk in mladih strokovnjakov v hidroenergetskem sektorju. V okviru EU se izvaja akcija COST (CA) CA21104 "Pan-European Network for Sustainable Hydro Power", ki je bila podeljena septembra 2022, ki ga je izvedla EU, je veliko pozornosti namenil vključevanju mladih in žensk v hidroenergetski sektor in je opisan tudi v tem razdelku.^{PP}

Krepitev vloge žensk in odpravljanje razlik med spoloma sta ključnega pomena za uresničevanje ciljev trajnostnega razvoja (SDG) in zagotavljanje dobre kakovosti življenja za vse. To se odraža v 5. cilju trajnostnega razvoja, katerega cilj je doseči enakost spolov in opolnomočiti vse ženske in deklice. Energetski sektor lahko prispeva k doseganju teh ciljev, zlasti s prehodom na nizkoogljično in brezogljjično proizvodnjo, s svojimi številnimi inovativnimi priložnostmi in učinkovito rabo energije. To vključuje obnovljive vire energije vseh vrst skupaj s trajnostno hidroenergijo, ki bi lahko ženskam ponudili vrsto neposrednih in posrednih zaposlitvenih možnosti. Če primerjamo vse energetske sektorje, velja, da je delež žensk, ki delajo v hidroenergiji, med 27 in 32 % celotnega sektorja, odvisno od hierarhične ravni (z naraščanjem vodstvene ravni se močno zmanjšuje); medtem ko je v sektorju fotovoltaike ta delež višji (40 %) kot v drugih obnovljivih virih energije, pri vetni energiji pa znaša 21 %. Ovire in deleži spolov se zdijo zelo podobni v primerjavi z drugimi sektorji, ki temeljijo na tehnologiji in inženirstvu, tudi v drugih obnovljivih virih energije.

Vendar se ženske pri delu v tem sektorju še vedno soočajo s številnimi izzivi. Te ovire niso posledica narave hidroenergetike, temveč so pogosto povezane z dolgotrajnimi spolnimi normami in strukturnimi ovirami, zaradi katerih v številnih družbah ženske zaradi prevladujočih družbenih norm zaostajajo za moškimi pri dostopu do priložnosti, dohodkov, premoženja in znanja. Druga percepcija, ki je pomembna za sektor, je lahko v slabi prepoznavnosti in majhni privlačnosti hidroenergetike v primerjavi z nastajajočimi tehnologijami za pridobivanje energije, kot so veter, sonce, biomasa in drugi podsektorji. Izjave tehničnih univerz kažejo, da je delež prihajajočih

⁰⁰ Raziskava, ki je bila izvedena po vsej EU, je pokazala, da je treba elektrarne ROR upravljati kot porazdeljeno proizvodnjo in jih ne obravnavati kot del centraliziranega nacionalnega sistema kot tradicionalne velike hidroelektrarne. Vendar je to odvisno od lokacije in velikosti, največje elektrarne pa bi bilo treba upravljati tako z lokalnim kot z nacionalnim okoljem.

^{PP} Trenutno je zastopanih 34 držav, od tega 21 držav ITC. Vsaka država lahko imenuje največ dva delegata, ki sta v upravljalnem odboru (MC) odgovorna za uspeh CA21104. Struktura omogoča širok razpon informacij in prispevkov v CA v skladu z memorandumom o soglasju (MoS).

novih študentk je nad 30%, če ga imenujemo "okoljski inženiring", medtem ko je naslovnica daleč pod "hydraulic engineering" still attracts 20% žensk.

Kljub izzivom se za ženske v hidroenergetiki odpirajo nove priložnosti, vendar pa v razvitih in nerazvitih državah, v EU ali zunaj nje, močno primanjkuje splošnega pristopa za to panogo in veljavnih priporočil. Primeri najboljše prakse, zbrani v poročilu UNIDO (ICSHP, 2023)⁹⁹,¹³²,

show that women's participation can lead to izboljšano upravljanje sektorja in proizvodnje energije iz obnovljivih virov na splošno. Navedbe o tem so lahko tudi

Mednarodno združenje za hidroenergijo (IHA) in GWNET (Energy Transition) (objava v pripravi)¹³⁰

izhodišče za vse male in velike hidroelektrarne (objava v pripravi)¹³⁰

. To poročilo je oktobra 2023 uradno predstavila agencija ESMAP¹³¹. Organizacija GWNET je od svoje ustanovitve pred sedmimi leti uspešno podpirala številne mentorske programe, ki so bili odločni spodbujati ženske v vseh vrstah obnovljivih virov energije, pa tudi v vseh podsektorjih, dejavnih na področju energetskega prehoda - od obnovljivih virov energije prek skladiščenja do čistega kuhanja. Institucije, ki sodelujejo v programih GWNET, so nemške in avstrijske vladne agencije/ministrstva ali globalne organizacije, kot so OVSE (Organizacija za varnost in sodelovanje v Evropi) in Združeni narodi. Obstajajo nove pobude prek različnih

WISH (Women in Sustainable Hydropower), ki trenutno združuje IHA, NHA (ZDA), GWNET, Women in Hydropower Mentoring, ICOLD, CEATI in pobudo Dams za ženske pod enim okriljem za skupno delovanje in zastopanje vseh žensk v hidroenergetiki za večjo prepoznavnost, izboljšanje dobrih praks in sodelovanje.

Mentorski program Women in Hydropower^{rr} od leta 2017 omogoča ženskam, da se povežejo, ustvarijo nova prijateljstva in mreže ter si izmenjajo izkušnje v podpornem okolju, ki poudarja močan prispevek žensk z vsega sveta v hidroenergetski industriji.

Če se osredotočimo na CA21104, je skupni delež žensk 30,8 %. Glede na to, da je pri tehničnih disciplinah odstotek ženskih članov precej nizek, je 30 % pri CA211 program coachinga na vodilnih položajih. Večina vodilnic so mlade ženske, ki jih podpira program mentorstva in coachinga. Kot presežna dejavnost akcije je bila izvedena prva cohort of 6 tandems has been started as specific a women's mentoring in spring 2024. This so poleg tandemov mentorjev in mentorice, ki so si prizadevali za spodbujanje mladih in inovativnih žensk na področju raziskovanja v akciji, vključevali tudi prenos znanja in usposabljanje o vodenju, samozavedanju, samorefleksiji in presentation skills. The goal targets at mentees' spodbuda, da stopijo v ospredje, spregovorijo in zasedejo vodilne položaje ter tako postanejo vzornice, ki druge mlade ženske pritegnejo k sodelovanju v hidroenergetskem sektorju, vključno z delom v akciji, hkrati pa opazno povečajo delež žensk na delovnih ravneh akcije do njenega zaključka leta 2026.

Glede na trenutna spoznanja so jasne ovire za ženske v standardih in normah ter dojemanju izvajanja hidroelektrarn tako v nizko razvitih kot tudi v razvitih okoljih. Čista dejanska podlaga available so far shows a steady low representation in the sector of around 27% women's share, z naraščajočo ravno vodenja se močno zmanjšuje.

Med glavnimi ovirami so prevladujoče predstave tako na ženski kot na moški strani, na primer:^{ss}

⁹⁹ poročilo UNIDO o malih hidroelektrarnah je zajelo 20 žensk (4 iz EU) in 21 mladih strokovnjakov (6 iz EU, med njimi Emanuele Quaranta), ki delujejo v sektorju malih hidroelektrarn.

^{rr} <https://www.womeninhydropower.org/>

^{ss} *Večina informacij temelji na poročilu UNIDO o malih hidroelektrarnah o enakosti spolov 2022 ali izhaja iz naključnih udeležb insights through the GWNET Global Women's Network on the Energy Transition from their mentoring programs and study (www.globalwomennet.org).*

- hidroenergetika je tehnična in moška domena.
- pomanjkanje ozaveščenosti o razlikah med spoloma v sektorju in o tem, kako jih odpraviti.
- pomanjkanje informacij sektorja o možnostih zaposlovanja za ženske.
- spolna pristranskost v postopku zaposlovanja in pomanjkanje raznolikih skupin za zaposlovanje.
- pomanjkanje vzornikov in mentorjev za ženske, ki so ali želijo vstopiti v ta sektor.
- pomanjkanje ozaveščenosti žensk o možnostih zaposlitve v tem sektorju.
- manjše število žensk s kvalifikacijami STEM (znanost, tehnologija, inženiring in matematika).
- workplace policies that are not responsive to women's needs

Priporočila iz trenutne analize na različnih ravneh ukrepanja so lahko usmerjena v:

- Več izobraževanja na področju STEM za dekleta in mlade ženske.
- Vodna energija naj postane privlačno področje za inovativno in v prihodnost usmerjeno delo.
- Spodbujanje usposabljanj o pristranskosti v organizacijah za ženske in moške.
- Pomoč ženskam pri rasti v sektorju s programi mentorstva.
- Predstavitev poslovnih primerov za enakost spolov v hidroenergetiki

Po mnenju UNIDO lahko mladi po vsem svetu igrajo ključno vlogo pri ustvarjanju sprememb, ki so potrebne za preoblikovanje svetovnega energetskega sistema, in tako prispevajo k regionalnim in mednarodnim razvojnim ciljem, vključno s cilji trajnostnega razvoja Združenih narodov, hkrati pa iščejo in ustvarjajo priložnosti za svoj poklicni in osebni razvoj. Dejavno sodelovanje mladih v mali hidroenergiji ima lahko ključno vlogo pri doseganju trajnostnega energetskega sistema, saj lahko mladi prinesejo ustvarjalno in v prihodnost usmerjeno razmišljanje, ki je potrebno za hiter energetski prehod. Vendar se mladi pri dostopu do potrebnih znanj in spretnosti še vedno soočajo z več ovirami, saj pogosto niso deležni politične, institucionalne in finančne podpore, ki bi jim pomagala pri vključevanju v sektor hidroenergetike r.¹³²

Glede na stroškovni ukrep EU CA 21104 je delež mladih raziskovalcev in inovatorjev 55,8 % članov CA 21104 (mlajših od 40 let). Akcije COST so za mlade raziskovalce privlačnejše kot druge pobude. To je zagotovo tudi posledica različnih ukrepov, ki podpirajo mobilnost YRI ter izmenjavo znanja in izkušenj med YRI in SR (starejšimi raziskovalci). COST je dobra priložnost za mlade raziskovalce, da razširijo svojo poklicno mrežo in že danes sodelujejo s kolegi prihodnosti. Eden od ukrepov v tej smeri je organizacija šol za usposabljanje (TS) o trajnostni hidroenergiji.

Tu so predstavljene vse delovne skupine, ki prispevajo k izmenjavi znanja in poučevanju o trajnostni hidroenergiji. CA 21104 podpira YRI z dodatno ponudbo kratkoročnih znanstvenih misij (STSM). Drugi ukrep je podpora udeležbi na konferencah. YRI iz ciljnih držav vključenosti (ITC) lahko zaprosijo za finančno podporo za udeležbo na konferencah. CA21104 bo sledil svoji poti podpiranja mlajših raziskovalcev, da bi jim približal področje hidroenergije za reševanje nalog prihodnosti v zvezi z neto ničlo, zelenim dogovorom ali modrim gospodarstvom. Vse pobude potrebujejo usposobljene in motivirane mlade raziskovalce in CA21104 ima med drugimi organizacijami pomembno vlogo pri privabljanju mladih.

3.4 Vloga podjetij EU 's

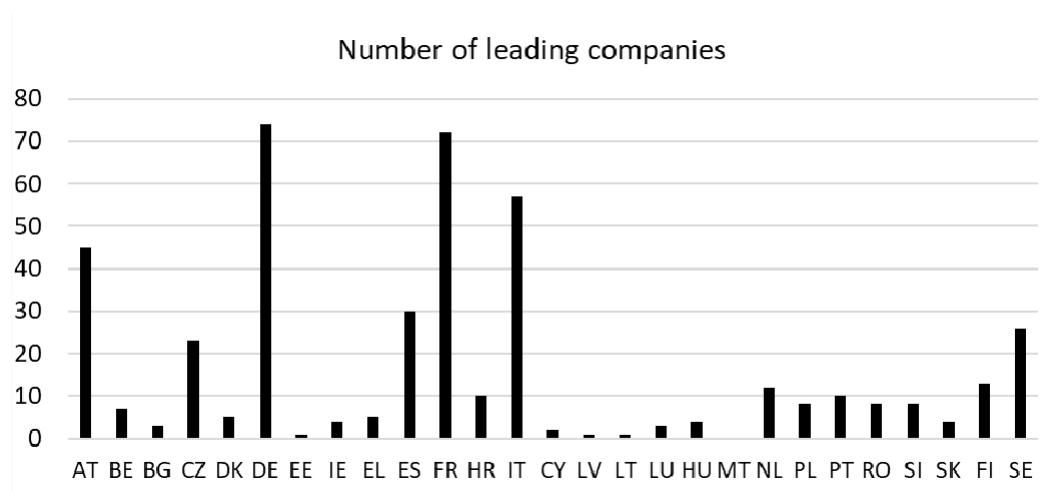
Skupno raziskovalno središče je pred kratkim pripravilo podatkovno zbirko podjetij iz EU's , ki delujejo v sektorju hidroenergije: vključuje 524 vnosov (brez tistih, ki zagotavljajo storitve, npr. inženirsko svetovanje, hidrološke študije)¹⁰¹ . Največji del podjetij s sedežem v EU predstavljajo gospodarske družbe (85 %).

Ta podjetja se ukvarjajo z načrtovanjem, proizvodnjo in dobavo opreme za hidroelektrane, vključno s sistemi za avtomatizacijo in nadzor. Dejavnost so tudi na področju svetovanja, raziskav in razvoja ter gradnje gradbenih objektov. Manjše število podjetij je nacionalnih (≈10%) in mednarodnih (≈5%) organizacije, dejavne na področju hidroenergije.

Na sliki 31 je prikazan delež vodilnih organizacij/podjetij za hidroenergetiko in gradnjo jezov v državah članicah EU na podlagi podatkov o 436 podjetjih v EU's , ki so na voljo v drugi podatkovni zbirki (dostop je bil opravljen junija 2024)¹³³ . Poudarja, da so glavna središča hidroenergetske dejavnosti v Franciji, Nemčiji in Italiji ter da jih je v nekaterih državah, kot so Avstrija, Španija, Švedska in Češka, precejšnje število.

Proizvodna zmogljivost podjetij EU je zelo pomembna, njihova izvozna zmogljivost pa velika, saj podjetja EU prispevajo skoraj 50 % k svetovnemu izvozu opreme za hidroelektrane. Številna evropska inženirska in svetovalna podjetja ponujajo znanje, strokovno znanje ali svetovanje za hidroenergetske projekte v Evropi in zunaj nje. V hidroelektrarnah se ne uporabljajo kritični materiali, zato proizvodnja ni odvisna od tretjih držav (npr. Kitajske). Podjetja iz EU imajo tudi več patentov in izumov visoke vrednosti, ki so bili obravnavani že v prejšnjih poglavjih.

Slika 31. Vodilne organizacije/podjetja za gradnjo hidroelektrarn in jezov na EU's članice Stat e .¹³³



Vir: Hidroelektrane in jezovi

3.5 Zaposlovanje

Uvajanje obnovljivih virov energije ustvarja številne zaposlitvene možnosti v različnih sektorjih z različnimi stopnjami kvalifikacij in trajanja. Razlikujemo med neposrednimi, posrednimi in induciranimi delovnimi mesti. Neposredna delovna mesta se nanašajo na delovna mesta, ki jih neposredno ustvarjajo osnovne dejavnosti (vrednostna veriga izvajanja). Posredno zaposlovanje vključuje delovna mesta v predhodnih panogah, ki oskrbujejo in podpirajo osnovne dejavnosti (npr. za trajnost, vrednostna veriga prilagajanja podnebnim spremembam). Spodbujena delovna mesta (ki jih ustvarja produktivna končna raba) zajemajo delovna mesta, ki so posledica dodatnega dohodka, porabljenega za blago in storitve v širšem gospodarstvu, kot je hrana,

oblačila, prevoz in zabava (vrednostna veriga uporabe). Zaposlenost se lahko meri na različne načine. Število delovnih mest, enakovrednih polnemu delovnemu času, je enako eni osebi, ki dela s polnim delovnim časom v enem letu. Človekodni izražajo količino dela, ki ga opravi ena oseba s polnim delovnim časom v enem dnevu.

Zaposlovanje v hidroenergetski industriji zajema različne elemente vrednostne verige, kot so načrtovanje projektov, proizvodnja, gradnja projektov ter obratovanje in vzdrževanje. Zaposlovanje v sektorju na splošno vključuje inženirje, geologe, ekologe, ekonomiste, tehnike in kvalificirane delavce. Prav tako zagotavlja zaposlitev znanstvenikom ter širokemu krogu znanstvenikov, ki delajo v podjetjih in akademskih raziskovalnih in razvojnih dejavnostih.

Na podlagi obstoječih naprav agencija IRENA ocenjuje, da vsaka 1 MW hidroelektrarne v lasti skupnosti ustvari deset delovnih mest za polni delovni čas v vsakem letu obratovanja. To je bistveno več kot pri drugih proizvodnih tehnologijah, vključno z naslednjo najuspešnejšo, sončno fotovoltaiko v lasti skupnosti, ki zagotavlja približno tri delovna mesta za polni delovni čas na 1 MW. Za izvedljivost, načrtovanje in nabavo, proizvodnjo, namestitve in priključitev, obratovanje in vzdrževanje ter razgradnjo male hidroelektrarne je skupaj potrebnih več kot 17 000 delovnih dni za piko hidroelektrarno (povprečno 5 kW), približno 64 000 delovnih dni za mikro hidroelektrarno (50 kW) in več kot 160 000 delovnih dni za mini hidro sistem (500 kW). Potrebe po delovni sili se razlikujejo po vrednostni verigi. Obratovanje in vzdrževanje sta potrebna v celotni življenjski dobi sistema, ki je ocenjena na približno 40 let in zato predstavljata velik del potrebnega dela (94 %, 87 % in 78 % vseh človekodni za piko, mikro in mini hidroelektrarne). Naslednji največji delež predstavljajo namestitve in priključitev ter proizvodnja (do 4 %, 11 % in 15 % za mikro-, mikro- in mini hidroelektrarne). Razgradnja je vključena, vendar je njen delež zanemarljiv.¹³⁴

IRENA je izračunala, da bo na svetovni ravni leta 2021 v hidroenergetskem sektorju neposredno delalo približno 2,36 milijona ljudi, kar je največ v zadnjem desetletju. Večjo stopnjo zaposlenosti med tehnologijami za proizvodnjo čiste električne energije sta izkazovali le bioenergija (3,44 milijona) in fotovoltaika (4,29 milijona). Globalno gledano sta bili skoraj dve tretjini teh delovnih mest v proizvodnji, 30 % v dejavnostih gradnje in namestitve, približno 6 % pa v storitvah obratovanja in upravljanja. Kitajska je največ prispevala k neposrednim delovnim mestom v hidroenergetiki, in sicer 37 % svetovnih delovnih mest. Indija je prispevala približno 18 % svetovnih delovnih mest v hidroenergetiki, sledile so Brazilija, Vietnam, Pakistan, Združene države Amerike, Ruska federacija in Kolumbija. Leta 2021 se je Etiopija povzpela na deveto mesto med delodajalci na področju hidroenergetike, kar je posledica gradnje velikih novih struktur, kot je Veliki etiopski jez renesanse, največji hidroenergetski projekt v Afriki. Kanada je zaokrožila vrh te n.¹³⁵

Številke, povezane z zaposlitvijo, se razlikujejo glede na vir. Glede na študijo, ki sta jo po naročilu Evropske izvajalske agencije za podnebje, infrastrukturo in okolje (CINEA) izvedli družbi Prognos AG, Berlin, in COWI SE, Kopenhagen, naj bi bilo leta 2023 v EU 3500 zaposlenih v proizvodnji, 98.300 v gradbeništvu in 240 v raziskavah in razvoju; alpske države, tj. Avstrija, Francija, Italija in Nemčija - so bile najpomembnejši delodajalci. Po podatkih EurObserv se število neposrednih delovnih mest na področju hidroenergetike giblje med 74.000 in 87.000¹⁰³ v letu 2019, po ocenah agencije IRENA¹³⁵ pa 89.000 v letu 2021, kar predstavlja 7,2 % neposrednih delovnih mest v sektorju obnovljivih virov energije, skoraj še 30.000 delovnih mest pa je bilo ustvarjenih na področju zunanjih storitev hidroenergetike^{101,t}. Z 10-odstotnim povečanjem hidroenergije leta 2030 bi v EU nastalo 27.000 delovnih mest, večinoma zunaj samega hidroenergetskega sektorja.¹⁰⁴ Po ocenah According to some recent EurObserv'ER's bi bilo leta 2021 49.000 neposrednih in 79.000 posrednih delovnih mest, leta 2022 pa 79.000.

Po podatkih Evropske federacije za obnovljive vire energije (EREF) je v EU na področju male hidroenergije prisotnih 4500 MSP, ki zaposlujejo približno 60.000 ljudi.¹³⁶

Če se posebej osredotočimo na število delovnih mest v hidroenergetskem sektorju, je treba opozoriti na širok razpon števila zaposlenih v hidroenergetskem sektorju. Gradbeni, hidravlični, strojni in električni inženirji,

¹³⁴ Podatki o zaposlenosti in prometu, ki temeljijo na Eu

rObserv'ER include also construction and consulting services, which in the primeru hidroelektrarn, predstavljajo večji delež CAPEX kot proizvodnja. Podatki temeljijo na modeliranju, ki temelji na naložbah CAPEX, pri čemer se učinki na delovna mesta in promet pripisujejo letu začetka izvajanja projekta. Zato so v primeru hidroelektrarn velike razlike med leti.

hidrologi so najbolj značilni profili. Osnovno znanje o hidravličnih strojih (izbira tipa stroja, hidravlično načrtovanje, delovni režimi itd.), hidravličnih strukturah ter dobro razumevanje električnega načrtovanja in stabilnosti omrežja so prav tako pomembni vidiki izobrazbe. Hidroenergetski projekti morajo upoštevati okoljske predpise in ublažiti morebitne ekološke vplive. Okoljski strokovnjaki, pogosto okoljski inženirji, imajo ključno vlogo pri izvajanju ocen vplivov, načrtovanju sistemov za prehod rib, obnovi biotopov in zagotavljanju skladnosti z okoljskimi standardi, zlasti z vidika podaljšanja koncesije. Ključna so tudi tehnična znanja, vključno z varjenjem: zadostno število preprostih brusilcev in varilcev bi lahko v prihodnosti postalo problem, saj je vse manj ljudi, ki opravljajo ročna dela, postopki avtomatizacije pa so težavni in dragi. Druga znanja in spretnosti, ki so potrebna v hidroenergetskem sektorju, so povezana z vodenjem projektov, pogodbami, upravljanjem sredstev, energetiko, nadzorom pri montaži ter obratovanjem in vzdrževanjem. Med spretnosti, ki bodo sčasoma postale pomembnejše, sodijo strokovnjaki za podatke in digitalizacijo, ki lahko prakse digitalizacije vključijo v načrtovanje hidroenergetskih sistemov. Tudi število elektroinženirjev z visokonapetostno izobrazbo se sčasoma zmanjšuje, zato je treba spodbujati ta sklop znanj. Poleg tega bo v prihodnosti še pomembnejše spodbujati multidisciplinarne pristope, saj bo hidroenergija vključena v omrežje, novi dosežki pa bodo imeli večnamensko uporabo. Zbiranje in analiza podatkov iz senzorjev in nadzornih sistemov postajata sestavni del optimizacije delovanja hidroelektrarn. Podatkovni analitiki, usposobljeni za statistično analizo, strojno učenje in programiranje, pomagajo pri pridobivanju vpogledov in izboljšanju operativne učinkovitosti. Strokovnjaki, specializirani za energetske politike in predpise, bodo ključni pri oblikovanju politik, spodbud in okvirov za razvoj hidroelektrarn. Analizirali bodo tržne trende, ocenjevali posledice politike in prispevali k rasti panoge.¹³⁷

3.6 Energetska intenzivnost / Produktivnost dela / Proizvodnja

Hidravlične turbine so pomembne komponente in zanesljiv približek naložbe, saj določajo moč elektrarne. Na trgu velikih enot (nad 10 MW) prevladuje majhno število podjetij, medtem ko v EU in po svetu obstaja veliko proizvajalcev turbin, od katerih se večina osredotoča izključno na male turbine. To poglavje se osredotoča izključno na svetovni trg velikih turbin, ki običajno gostujejo v projektih, vrednih več sto milijonov EUR (ali celo več milijard EUR naložb). V denarnem smislu takšne naložbe predstavljajo velik delež svetovnega trga hidroenergije. Poleg tega se trg malih turbin ne spremlja sistematično. Dodatna posebnost trga hidroelektrarn je, da se velik del naložb ne spremlja, saj se nanaša na gradbena dela in povezane svetovalne storitve.

Za spremljanje trendov v razvoju hidroenergetske tehnologije so bile v Eurostatovi podatkovni zbirki izbrane kode Prodcom za proizvodnjo hidravličnih turbin in njihovih delov (preglednica 17).

Preglednica 17. Izbor kod Prodcom kot približka za proizvodnjo hidroenergetskih tehnologij.

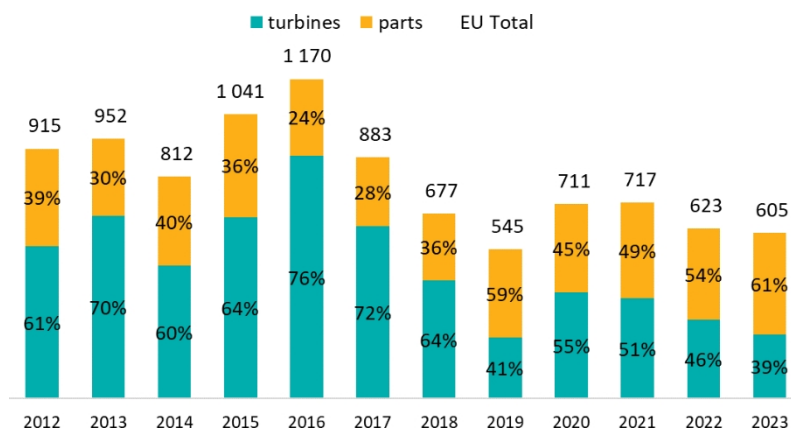
Koda Prodcom	Opis	Vzdevek
28112200	Hidravlične turbine in vodna kolesa	turbine
28113200	Deli za hidravlične turbine in vodna kolesa (vključno z regulatorji)	deli

Vir: Prodcom

Leta 2023 se bo vrednost proizvodnje hidravličnih turbin in delov v EU rahlo zmanjšala na 605 milijonov EUR, pri čemer bodo več kot 60 % proizvodnje EU predstavljali deli (slika 32). Proizvodnja delov v EU se je povečala za 11 %, medtem ko se je proizvodnja hidravličnih turbin zmanjšala za -20 %. Nemčija in Avstrija sta bili največji proizvajalki v EU, ki sta skupaj proizvedli več kot polovico celotne proizvodnje EU, sledita ji Italija in Češka. Češka je proizvedla 10,650 in 840 milijonov EUR v letih 2021, 2022 in 2023, kar je v skladu z vrednostjo proizvodnje

EUR, medtem ko je bilo na spletnih straneh "Construction and Operation" and EUR 60, 28 in 29 milijonov EUR, 93,4, 73,3 in 75,6 milijonov EUR in "Research and Development".

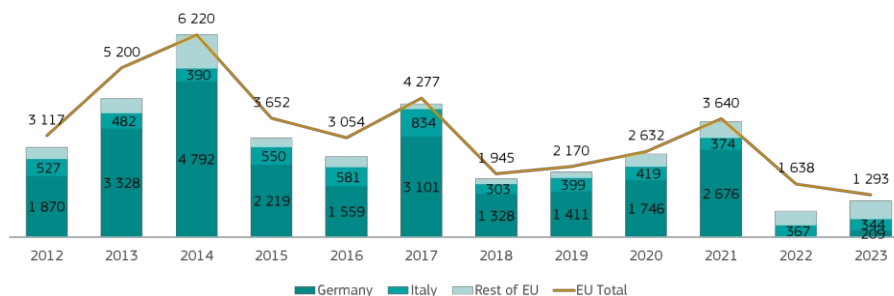
Slika 32. Vrednost proizvodnje v EU na blago [v milijonih EUR].



Vir: JRC na podlagi podatkov PRODCOM.

Glede količin so države članice razkrile le podatke o proizvodnji turbin (slika 33). Nemčija in Italija imata skupaj več kot polovico proizvodnje EU.

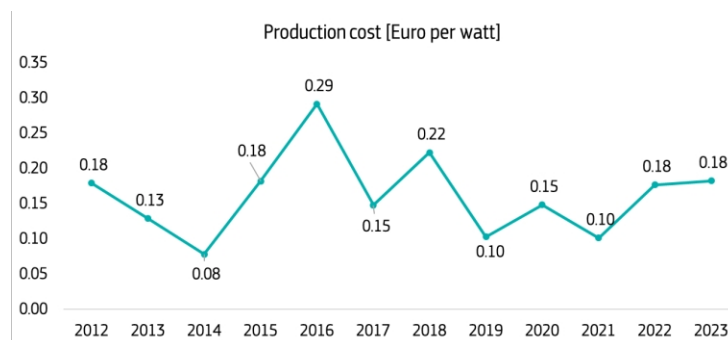
Slika 33. Vrednost proizvodnje v EU na blago [MW]



Vir: JRC na podlagi podatkov PRODCOM

Vrednost of EU production cost of hydraulic turbines is relatively stable at 0.18€/W (slika 34).

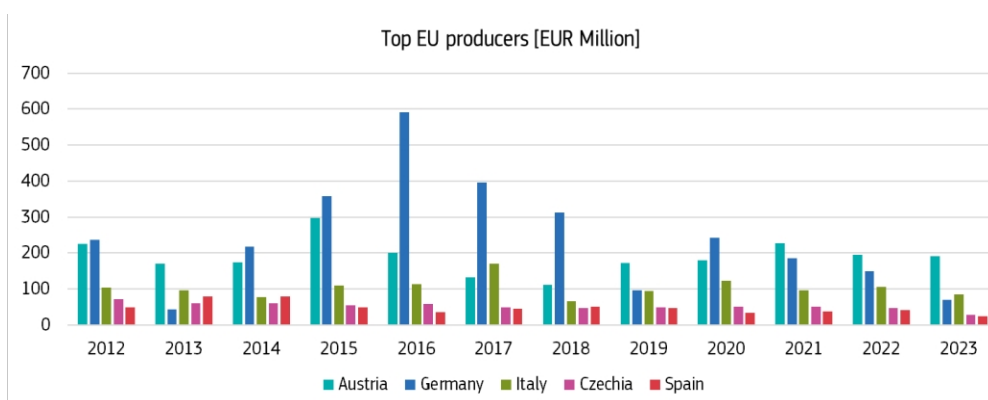
Slika 34. Proizvodna vrednost EU na količino hidravličnih turbin [EUR na vat]



Vir: JRC na podlagi podatkov PRODCOM

V obdobju 2012-2023 so bile največje proizvajalke v EU Avstrija, Nemčija, Italija, Češka in Španija, vendar vse države članice niso razkrile podatkov za vsa leta (slika 35). Nemčija in Avstrija imata skupaj več kot polovico proizvodnje EU. Opozoriti je treba, da se vrednosti proizvodnje nanašajo izključno na turbine in pripadajoče dele. Če bi upoštevali vse tehnologije, povezane z verigo hidroelektrarn (približno 150 vrst, npr. vključno s cevmi, ponikovalnicami, ventili, zapornicami), bi po ugotovitvah evropske hiše Ambrosetti te številke znašale 27,7 milijarde EUR za Italijo in 43,4 milijarde EUR za Nemčijo, namesto 107 milijonov EUR oziroma 150 milijonov EUR leta 2022, for a total EU's . Vrednost proizvodnje prvih desetih držav članic EU znaša 132,3 milijarde EUR, namesto 562 milijonov EUR leta 2022 .¹³⁸

Slika 35. Največji proizvajalci EU med državami članicami, ki so razkrile podatke [v milijonih EUR]. Vir: JRC na podlagi podatkov PRODCOM.



Vir: JRC

Koristi hidroelektrarn so veliko večje od trgovine z opremo. Leta 2015 je hidroenergija prispevala 25 milijard EUR k bruto domačemu proizvodu (BDP) EU in Združenega kraljestva (proizvodnja električne energije in izvoz), kar je približno 500.000 EUR na ekvivalent polnega delovnega časa. Glavni del tega prispevka (> 90 %) je izhajal iz proizvodnje električne energije iz vodnih virov. Ob vključitvi Norveške, Švice in Turčije je BDP znašal 38 milijard EUR, do leta 2030 pa se lahko poveča na 75-90 milijard EUR. Večnamenske koristi pomenijo pomemben dodaten prihodek, ki ga je sicer zelo težko količinsko opredeliti, vendar lahko znaša med 10 in 20 milijardami EUR na leto, v prihodnosti pa naj bi se povečal, če se bodo hidroenergetski rezervoarji uporabljali tudi za upravljanje voda in blaženje poplav. Neposredni davčni prispevek je ocenjen na približno 2 oziroma 15 milijard EUR v EU+Združenem kraljestvu in Evropi, kar je nekajkrat več od subvencij, ki se plačujejo sektorju male hidroelektrarne¹⁰⁴. Promet je leta 2021 znašal 6,4 milijarde EUR, BDV pa 2,7 milijarde EUR (nove naložbe, obratovanje in vzdrževanje, proizvodnja in trgovina).

4 Tržni položaj EU in globalna konkurenčnost

4.1 Vodilni na svetovnem trgu in trgu EU: vloga podjetij iz EU 's

Evropska podjetja so vodilna na svetu. Veliki evropski upravljavci (med drugim EDF, EDP, ENEL, ENGIE, ENBW, Iberdrola, PPC, Statkraft, UNIPER, Vattenfall) še naprej vlagajo v številne hidroenergetske projekte zunaj Evrope. Številna evropska inženirska in svetovalna podjetja ponujajo znanje, strokovno znanje ali svetovanje za hidroenergetske projekte zunaj Evrope, kjer je v hidroenergetskem sektorju opazna precejšnja rast (med drugim Artelia, Lombardi, ISL, AFRY - prej Pöyry in AF -, Sweco, MESYSolexperts, Tractebel - prej Lahmeyer in Coyne et Bellier -).

Medtem številna gradbena podjetja (Webuild, Skanska, Strabag, Vinci, Walo in druga) delujejo kot gradbeni izvajalci ali celo kot EPC (Engineering, Procurement and Construction) v okviru projektov na ključ.¹¹ V podporo evropski hidroenergiji je bila nedavno ustanovljena Evropska hidroenergetska zveza, ki združuje naslednja energetska podjetja: EDF, EDP, Enel, Engie, Fortum, Iberdrola, Statkraft in Uniper, Vattenfall and Verbund. The Alliance is committed to advancing sustainable hydropower vlogo pri uresničevanju ciljev EU na področju zelenega posla in pobude Fit for 55. Zavezništvo podpira razvoj integriranega trga z električno energijo brez ogljika v Evropi z zagotavljanjem cenovno dostopne, obnovljive, dispečerske in varne električne energije, ki zagotavlja čim večjo vključenost obnovljivih virov energije.

Cilj zavezništva je povečati prepoznavnost hidroenergije kot:

- Pomemben vir energije in prožnosti, ki prispeva k zanesljivosti oskrbe in energetski neodvisnosti EU.
- Ključni obnovljivi vir energije z razvojnim potencialom, ki prispeva k razogljičenju, prilagajanju podnebnim spremembam in odpornosti.
- Trajnostni vir energije, ki spoštuje biotsko raznovrstnost.
- Proizvodna tehnologija z večnamenskimi koristmi, ki niso povezane z električno energijo.

Po številu prodanih turbinskih enot za velike elektrarne po vsem svetu so bili v obdobju 2013-2017 na vodilnih mestih Andritz, Voith in GE. Samo v letu 2017 so ta tri podjetja iz EU prodala 93 enot (>10 MW) ali 62 % vseh prodanih enot.

Brez upoštevanja dobavljenih zmogljivosti na Kitajskem so tri podjetja s sedežem v EU dobavila 73,5 % vseh naročil glede na moč (2013-2017). Podjetje Voith je dobavilo 10,7 GW, podjetje Andritz 9,1 GW, podjetje General Electric (evropski sedež) pa 6,6 GW. Vsi kitajski proizvajalci skupaj so zunaj Kitajske dobavili 15,5 % skupne zmogljivosti, preostali delež pa so si skoraj enakomerno razdelila japonska, indijska in norveška podjetja¹⁰¹. Velik delež podjetij iz EU je lahko delno tudi posledica njihovega vodilnega položaja na področju izumov visoke vrednosti.

V nedavni preteklosti se je instalirana zmogljivost hidroelektrarn najbolj povečala na Kitajskem, sledile so ji Indija, Brazilija in Etiopija. Zato so tehnološka podjetja s sedežem na Kitajskem prejela velik del naročil za hidroenergetske turbine. Podjetji Dongfang Electric in Harbin Electric sta med letoma 2013 in 2017 na Kitajskem prodali približno 40 GW zmogljivosti. Prodor podjetij s sedežem v EU na kitajski trg je bil v istem obdobju precejšen, pri čemer je podjetje Voith Hydro zagotovilo 11,5 GW, General Electric 10,5 GW in Andritz skoraj 1 GW zmogljivosti. V skladu s tem so podjetja iz EU v analiziranem obdobju pridobila 36 % vseh naročil zmogljivosti na Kitajskem. Za več podrobnosti glej oddelek 4.2.

4.2 Trgovina (uvoz/izvoz) in trgovinska bilanca

Mednarodna trgovina se spremlja z uporabo šestmestnih oznak harmoniziranega sistema (HS)¹³⁹, namenjenih hidravličnim turbinam in njihovim delom (preglednica 18), čeprav ti sestavni deli predstavljajo le majhen del celotne proizvodnje, kot je bilo obravnavano pri proizvodni vrednosti.

Preglednica 18. Izbor oznak HS kot približka za spremljanje trgovine z vodno energijo.

Oznaka HS	Opis	Vzdevek
841011	Hidravlične turbine in vodna kolesa, z močjo ≤ 1.000 kW (razen hidravličnih motorjev in motorjev iz tarifne številke 8412)	turbine S
841012	Hidravlične turbine in vodna kolesa, z močjo > 1.000 kW, vendar ≤ 10.000 kW (razen hidravličnih motorjev in motorjev iz tarifne številke 8412)	turbine M
841013	Hidravlične turbine in vodna kolesa, z močjo > 10.000 kW (razen hidravličnih motorjev in motorjev iz tarifne številke 8412)	turbine L
841090	Deli hidravličnih turbin in vodnih koles, vključno z regulatorji	deli

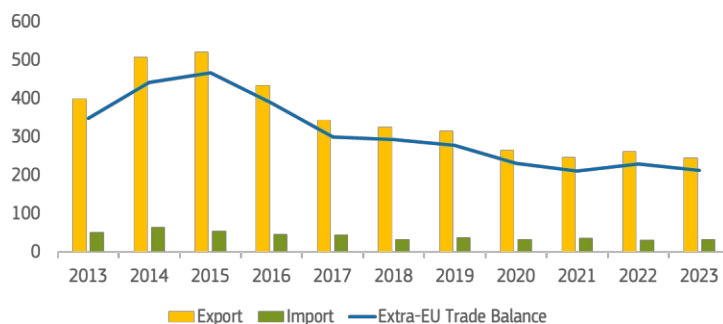
Vir: Usklajeni sistem

Svetovni (in EU, ki združuje izvoz zunaj EU in znotraj EU) izvoz je znašal 772 (370) EUR, 776 (390) EUR, 521 (171) milijonov v letih 2021, 2022 in 2023. V obdobju 2021-2023 se je delež EU v svetovnem izvozu zmanjšal na 44 % v primerjavi s študijo iz leta 2023 (49 % v obdobju 2020-2022), izvoz zunaj EU se je od leta 2022 do 2023 zmanjšal za -6 % in po oceni COMEXT (leta 2023) dosegel približno 246 milijonov EUR, medtem ko je ComTrade ocenil 171 milijonov EUR skupnega izvoza EU leta 2023, kar je manj od ocene COMEXT (slika 37).

Uvoz v EU je v letih 2021, 2022 in 2023 znašal 125, 128 in 137 milijonov EUR, od tega 89, 97 in 105 milijonov EUR znotraj EU. Leta 2023 se je uvoz hidravličnih turbin in delov zunaj EU v primerjavi z letom 2022 povečal za 3 % in dosegel skoraj 33 milijonov EUR, vendar je ostal precej pod uvozom znotraj EU (105 milijonov EUR). Delež uvoza (obdobje 2021-2023) iz EU (74 %) je ostal podoben ravni iz študije iz leta 2023 (obdobje 2020-2022) (slika 37).

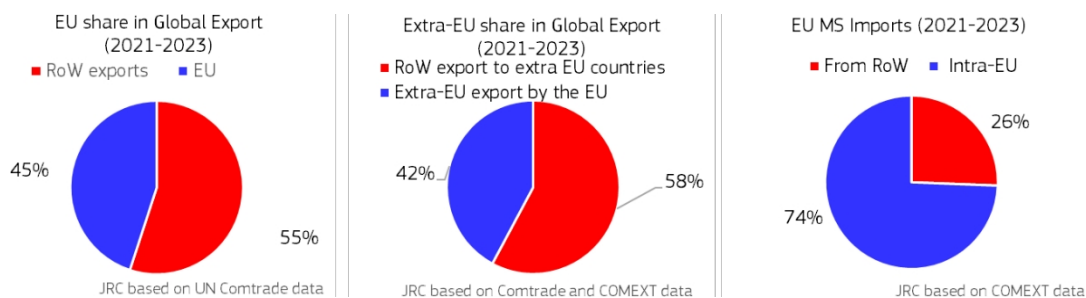
Trgovinski presežek se je zmanjšal za -7 % na 213 milijonov EUR (slika 36). Avstrija, Nemčija in Italija ostajajo države članice z največjim trgovinskim presežkom (+24, +56 oziroma +39 milijonov EUR leta 2023), medtem ko imajo Grčija, Švedska in Luksemburg največji trgovinski primanjkljaj (-1, -2 oziroma -1 milijon EUR leta 2023).

Slika 36. Trgovina zunaj EU s hidravličnimi turbinami in deli [v milijonih EUR]



Vir: JRC na podlagi podatkov COMEXT.

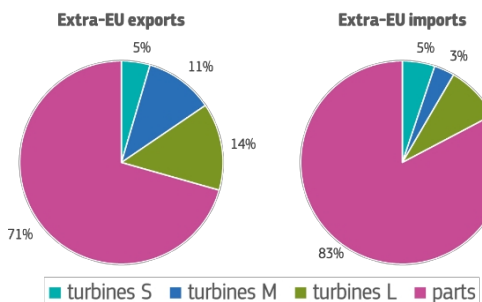
Slika 37. Delež EU v svetovnem izvozu (levo), delež zunaj EU v svetovnem izvozu (sredina) in uvoz EU (desno) [2021-2023].



Vir: JRC na podlagi podatkov COMEXT in COMTRADE.

V istem obdobju (2021-2023) je bila večina izvoza zunaj EU povezana z deli (71 %), sledile so turbine L (14 %) in M (11 %), medtem ko je bilo 83 % uvoza zunaj EU povezanih z deli (slika 38).

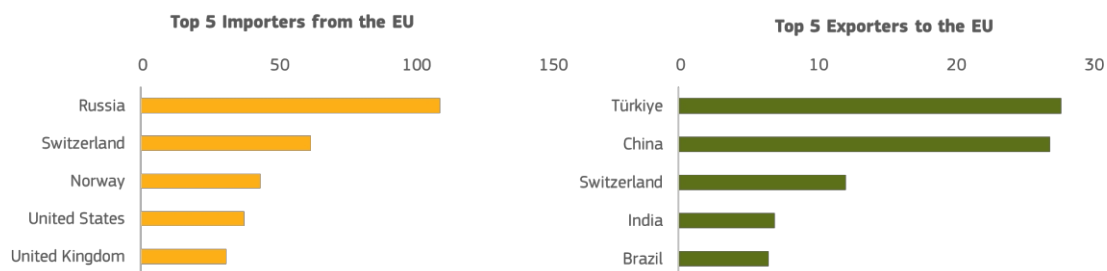
Slika 38. Delež tržne vrednosti hidroenergije [2021-2023]



Vir: JRC na podlagi podatkov COMEXT.

V obdobju 2021-2023 je Turčija postala največja izvoznica v EU z 28 % uvoza zunaj EU, while China's share remained at 27%. Extra-EU je izvažala predvsem v Rusijo, Švico in Norveška (slika 39).

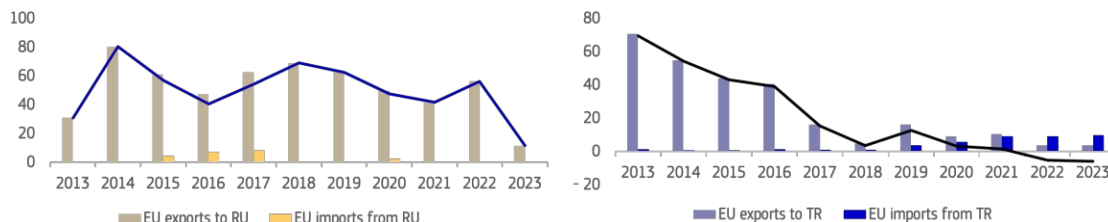
Slika 39. Glavne države uvoznice (levo) in izvoznice (desno) EU (2021-2023) [v milijonih EUR].



Vir: JRC na podlagi podatkov COMEXT.

Čeprav je Rusija ostala največji uvoznik iz EU, se je izvoz iz EU leta 2023 zaradi nadzora izvoza^{uu} močno zmanjšal (slika 40). Uvoz iz Turčije se je začel povečevati po letu 2019 in dosegel 10 milijonov EUR v letu 2023. Od leta 2022 je trgovinska bilanca EU s Turčijo negativna.

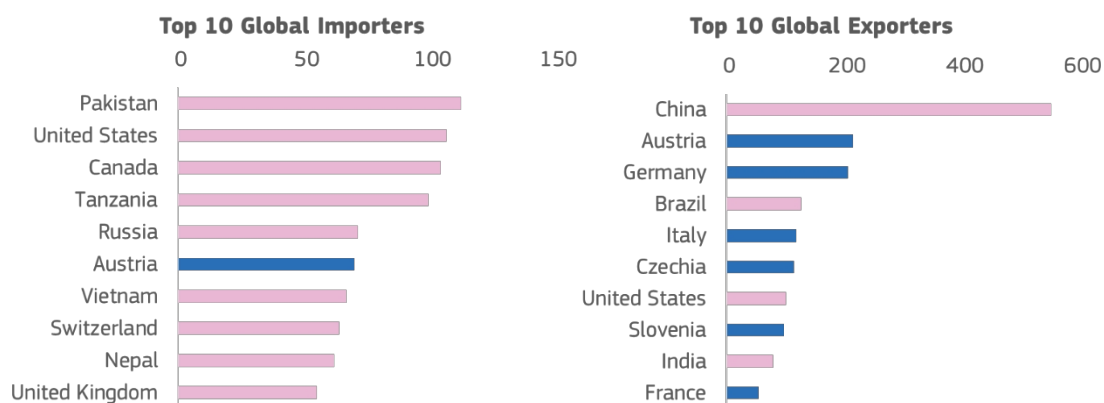
Slika 40. Trgovina EU z Rusijo (levo) in Turčijo (desno) [v milijonih EUR].



Vir: JRC na podlagi podatkov COMEXT.

EU je bila še naprej močno prisotna med največjimi svetovnimi izvozniki, medtem ko je med največjimi uvozniki ostala le Avstrija (slika 41).

Slika 41. Največji svetovni uvozniki (levo) in izvozniki (desno) (2021-2023) [v milijonih EUR]

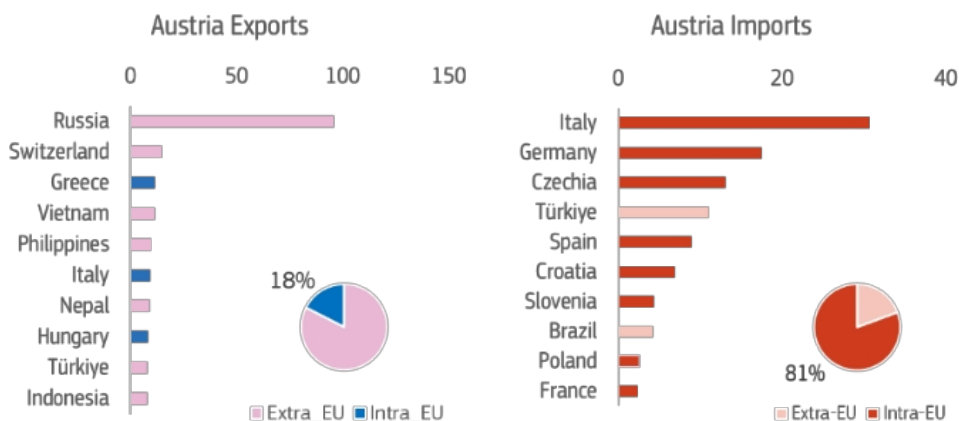


Vir: JRC na podlagi podatkov COMEXT in COMTRADE.

V obdobju 2021-2023 je Avstrija 81 % svojega uvoza opravila iz drugih držav članic, 52 % celotnega uvoza zunaj EU pa iz Turčije (slika 42). V druge države članice je izvozila le 18 % svojega izvoza, 42 % svojega izvoza zunaj EU pa je poslala v Rusijo.

^{uu} Uredba 0833/14, UL L 229, 31.7.2014, str. 1- o omejevalnih ukrepih zaradi dejanj Rusije, ki destabilizirajo razmere v Ukrajini. Dostopno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02014R0833-20240625>.

Slika 42. Države, v katere Avstrija izvažata (levo) in iz katerih uvažata (desno) [v milijonih EUR].



Vir: JRC na podlagi podatkov COMEXT.

Kar zadeva rastoče trge^w v obdobju 2020-2022^{ww}, se je neto uvoz najbolj povečal v Tanzaniji, sledita Kanada in Nepal. EU je pomembno prodrla na trge (delež EU > 25 %) na Japonskem, v ZDA, Tadžikistanu in Švici (preglednica 19).

Preglednica 19. Rastoči trgi na podlagi dvoletnega povprečja neto spremembe uvoza.

Država	Skupni uvoz (2020-2022) [v milijonih EUR]	% uvoza iz EU	2-letno povprečje sprememb neto uvoza
Tanzanija	36	3%	15
Kanada	99	24%	6
Nepal	81	7%	5
Uzbekistan	42	11%	5
Tadžikistan	53	44%	5
Švica	57	97%	3
Združeno kraljestvo	37	21%	3
Združene države Amerike	102	29%	1
Etiopija	64	19%	1
Japonska	41	25%	1

Vir: JRC na podlagi podatkov COMTRADE.

V prihodnosti je velika priložnost za podjetja EU njihov izvozni potencial, povezan z inovativno opremo in malimi hidroelektrarnami (izumi visoke vrednosti, glej poglavje 2.7), pa tudi pomoč pri celovitem načrtovanju in delovanju hidroelektrarn.

^w Izračunano kot $net\ import\ change = [(import_{2021} - import_{2020}) + (import_{2022} - import_{2021})] / 2$

^{ww} Podatki za zadnje leto (2023) so za Comtrade morda nepopolni, ker ne zagotavlja ocen za manjkajoče vrednosti, kot to počne Comext.

4.3 Učinkovitost in odvisnost virov v povezavi s konkurenčnostjo EU

Hidroenergija in črpalna hidroenergija sta strateškega pomena za energetski sistem EU in lahko prispevata k odpornosti EU.¹⁴⁰

Hidravlična in mehanska oprema hidroelektrarn je običajno izdelana iz materialov, ki so na voljo v večini delov sveta, kot so jeklo, beton in v manjši meri – baker, tako da širitev hidroelektrarn morda ni omejena z razpoložljivostjo materialov. Beton se uporablja za gradnjo jezov in potrebna gradbena dela, vključno z elektrarno. V velikih elektrarnah se beton uporablja pri gradnji predorov in kavern. Pri izdelavi mehanskih sestavnih delov se običajno uporablja jeklo. Jeklo, ki se uporablja v turbinah, in beton v stavbah so ključnega pomena za celoten učinek elektrarne. Običajno se uporabljajo lokalni materiali, kar pojasnjuje visoko dodano vrednost hidroelektrarn za lokalna gospodarstva. Baker se uporablja v razmeroma majhnih količinah v generatorskih sklopih. V zadnjem desetletju so bili v hidroenergetskem sektorju uvedeni in/ali se preizkušajo novi materiali, npr. z vlakni ojačani kompoziti za male hidroelektrarne⁹⁴. Ocenjuje se, da skupna teža elektromehanske opreme (tekač, razdelilnik, generator, vlečna cev in ohišje) v EU znaša skoraj 900 kt (Quaranta, 2023)¹⁴¹.

Oprema za hidroelektrarne ne vsebuje kritičnih materialov, kot so litij in kobalt (ki se uporabljata v električnih vozilih) ali neodim, prazeodim in disprozij (ki se uporabljajo v električnih vozilih in vetrnih elektrarnah). Zato je vodna energija najboljša obnovljiva energija za zmanjšanje pritiska na mineralne vire (Slika 43 in Slika 44). Kazalnik pridobivanja mineralnih virov se meri v kilogramih ekvivalenta antimona (kgeq.Sb) na kilogram pridobljenega, da se upoštevajo obstoječe zaloge, the rate of extraction and the “depletion” vsake mineralne snovi: vrednost za hidroenergijo je 0,017, medtem ko je za premog 0,04, za veter 0,3 in za fotovoltaike 14¹⁴². Na sliki 43 so povzete te ugotovitve, podrobnejše informacije pa so na voljo v poročilu IEA (2023)¹⁴³, v katerem je poudarjena široka uporaba kritične snovi v drugih tehnologijah obnovljivih virov energije. Vendar pa vrednosti, izračunane za PV, odražajo vpliv PV energije izpred let^{xx}, od takrat pa se je učinkovitost zelo izboljšala.¹⁴⁴

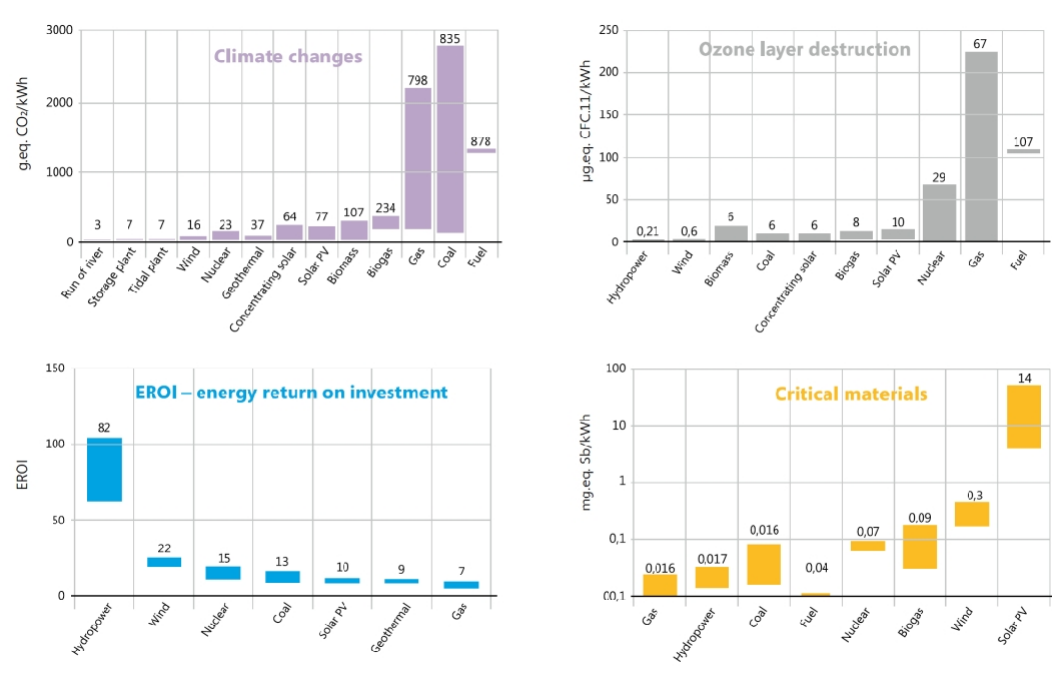
Stroji s spremenljivo hitrostjo temeljijo na dveh novih tipih generatorjev, ki uporabljata močnostne elektronske pretvornike: indukcijski stroj z dvojnimi napajanjem in sinhronski stroj s pretvornikom (Kougias et al. 2019). Generatorji s trajnimi magneti s spremenljivo hitrostjo bi lahko bili alternativa za hidroelektrarne z zelo nizkim pretokom (vodna kolesa, Arhimedovi vijaki). Vendar bi lahko v bližnji prihodnosti prišlo do pomanjkanja materialnih sestavin trajnih magnetov, ki ga še poslabšuje kitajski dobavni monopol (EU ima pomembno vlogo le v fazi montaže, kjer njen delež presega 50%)^{145,146}. To naj bi spodbudilo razvoj nove elektromehanske opreme in izboljšanje življenjskega cikla teh materialov (npr. recikliranje). Razvoj hidroelektrarn lahko vključuje obsežne izkope in predore, ki zahtevajo velike količine energije za delovanje ustreznih strojev in betona za gradnjo jezov. Zlasti v državah, kjer se hidroenergija močno širi, lahko gradnja velikih jezov zahteva veliko količino betona, kar povzroča velike emisije ogljika. Poleg tega je beton odvisen od razpoložljivosti peska, ki je za vodo drugi najbolj uporabljen vir na Zemlji. Pesek se pogosto izkopava iz rek, koplje ob obalah in koplje. Ta vidik je treba upoštevati: Mednarodna komisija za velike jezove (ICOLD) preučuje ta vidik in si prizadeva zmanjšati ogljični odtis gradnje jezov, na primer z uporabo novih gradbenih metod in materialov (ICOLD, osebno sporočilo, konferenca HYDRO2023, in glej npr. Wolfsburg et al., 2023).¹⁴⁷

Grožnje in priložnosti v trenutnih družbenih, energetskih, geopolitičnih in podnebnih razmerah so

^{xx} Poleg tega je vprašanje kritičnih mineralov preveč zapleteno, da bi ga bilo mogoče obnoviti z eno samo vrednostjo. Poleg tega se tudi karakteristični faktor, ki se uporablja za združevanje vrednosti v Sb.eq, opira na podatke USGS (U.S. Geological Survey) o pridobivanju iz prejšnjega stoletja, ki imajo očitno določene omejitve. Kar zadeva vpliv mineralov na vrednost PV, če se opira na vrednostecoinvent, je večina tukaj predstavljenega vpliva posledica indija, ki se šteje za izčrpanega, ko se cink pridobiva iz rudnikov (tako da je bolj povezan z načinom, kako so zgrajeni nekateri LCI, kot pa z uporabo resnično kritičnega materiala za PV).

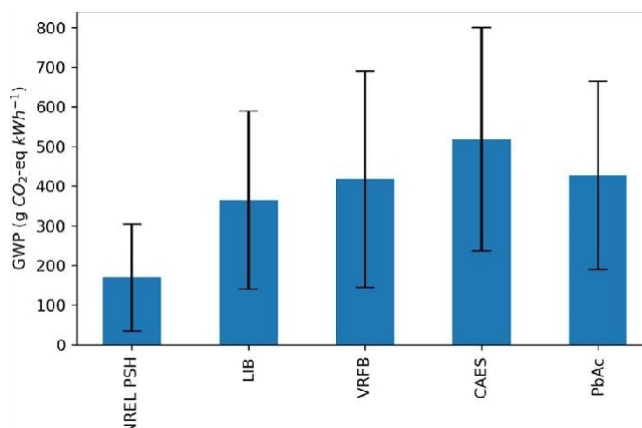
obravnavane v izdaji tega poročila za leto 2022.

Slika 43. Kazalniki učinka iz projekta ETIP Hydropower Europe (projekt EU), z najmanjšimi in največjimi vrednostmi (stolpec) ter povprečno vrednostjo (številke). EROI, včasih imenovan tudi povrnjena energija na vloženo energijo (ERoEI) ali faktor izkoristka energije ali faktor pridobivanja energije in je razmerje med količino uporabne energije (energije), dobavljene iz določenega energetskega vira, in količino energije, porabljene za pridobitev tega energetskega vira.



Vir: ETIP Hidroelektrarne

Slika 44. Potencial globalnega segrevanja (GWP) zaprte zanke PSH (NREL PSH) v primerjavi z literaturnimi vrednostmi GWP za skladiščenje z litij-ionskimi baterijami (LIB), vanadijeve redoks pretočne baterije (VRFB), skladiščenje energije s stisnjanim zrakom (CAES) in skladiščenje energije s svinčevo kislino (PbAc). Višina stolpca označuje povprečno vrednost GWP za vsako tehnologijo, črte napak pa standardni odklon GWP.¹⁴⁸



Vir: NREL

5 Sklepi

Vodna energija je do zdaj največji obnovljivi vir energije z globalno inštalirano močjo 1416 GW in letno proizvodnjo 4185 TWh v letu 2023. Vodna energija je v zadnjem desetletju v EU v povprečju zagotovila 360 TWh/leto (vključno s približno 40 TWh/leto iz PSH, ki pa prav tako absorbira približno enako količino za črpanje). Četrtnina svetovne inštalirane zmogljivosti turbin PSH je v EU.

Za hidroenergetski sektor je značilnih več prednosti in prednosti v primerjavi z drugimi tehnologijami obnovljivih virov in tehnologijami skladiščenja. Donosnost naložbe v energijo (EROI) je najvišja, pri tradicionalni opremi za hidroenergijo pa se ne uporabljajo redki in kritični materiali. Rezervoarji zagotavljajo dodatne storitve v izrednih razmerah, npr. shranjevanje vode in energije za namakanje in gašenje požarov, nadzor poplav in blaženje suše ter plovbo, čeprav so lahko te uporabe včasih v medsebojnem nasprotju. Poleg tega so faktorji zmogljivosti hidroelektrarn v EU na splošno višji od faktorjev zmogljivosti fotovoltaike in nekoliko višji od faktorjev zmogljivosti vetrnega sektorja. Skupna učinkovitost hidroelektrarn je približno 5-krat in 3-krat višja od učinkovitosti fotovoltaike in vetrnih elektrarn. Vodna energija je najbolj prilagodljiva tehnologija, ki zagotavlja prilagodljivost in stabilnost omrežja, na primer s preprečevanjem izpadov električne energije. Ker se prodor spremenljivih virov energije (predvsem vetrne in sončne energije) povečuje, je prožnost, ki jo zagotavlja delovanje hidroelektrarn, bistvenega pomena. PSH je zrela tehnologija, zato je njen tehnološki in proizvodni/tržni položaj precej bolj napreden kot pri drugih tehnologijah shranjevanja energije (npr. baterijsko shranjevanje, vztrajniki, toplotno in kemično shranjevanje). PSH lahko shranjuje vodno energijo (z dnevnim, mesečnim in sezonskim shranjevanjem, odvisno od nameščene zmogljivosti in rezervoarjskega volumna) bolj stroškovno učinkovito (najnižji tehtani stroški električne energije LCOE-) kot kateri koli drugi vrsta energije, in lahko dajo in absorbirajo energijo na voljo v nekaj sekundah. PSH je stroškovno najučinkovitejša tehnologija dolgoročnega (npr. sezonskega) skladiščenja.

Ker pa so hidroelektrarne ključni primeri povezave voda-energija-prehrana-ekosistem, obstajajo številne ovire in izzivi. Prva velika ovira so prizadevanja za hkratno doseganje energetske, podnebne in okoljske ciljeve, pri čemer imajo hidroelektrarne različne in včasih sporne vloge. Odvisno od konteksta lahko hidroenergija povzroča več škodljivih učinkov na okolje, čeprav lahko ocenjenih manj kot 30.000 hidroelektrarn glede na 450.000 pregrad na rekah EU's nakazuje, da je manj kot 10 % pregrad na rekah EU's namenjenih hidroenergiji. Najprimemnejše lokacije v EU so že izkoriščene ali pa so zaščitene z okoljsko zakonodajo (npr. zavarovana območja, naravni parki), tako da bi nove velike elektrarne, čeprav ni izključeno, da bi bile postavljene na zavarovanih območjih, raje postavili na manj ugodnih lokacijah, kar bi povečalo stroške, zlasti za izvajanje omilitvenih ukrepov za okolje. Podnebne spremembe vplivajo tudi na razvoj hidroenergetike (pomanjkanje vode, sezonskost, ekstremi), po drugi strani pa lahko hidroenergetski rezervoarji pomagajo ublažiti učinke podnebnih sprememb (zagotavljanje nadzora nad poplavami in blaženje suše). Nastajajoča težava je upravljanje sedimentov v rezervoarjih, pri čemer se razvija več novih tehnologij in strategij upravljanja. Hidroenergetski projekti imajo daljši časovni okvir pred razvojem, gradnjo in obratovanjem kot druge tehnologije obnovljivih virov energije, zanje pa so na splošno značilni visoki naložbeni stroški, zato imajo večje finančno tveganje, kar zahteva posebne politične instrumente in spodbude ter dolgoročno politično perspektivo in vizijo. Stroškovno učinkovit način za zagotavljanje varne in cenovno dostopne oskrbe z energijo je dobro delujoč in integriran energetski trg EU's; vendar evropski upravljavci hidroelektrarn niso plačani za vse svoje storitve (npr. prožnost). Zato je še en velik izziv opredelitev vrednosti vseh koristi, ki je potrebna za razprave in pogajanja med različnimi uporabniki vode. Vključevanje javnega sektorja je pri hidroenergiji ključnega pomena, inovativni finančni mehanizmi pa so bistveni za pravično in učinkovito delitev koristi med uporabniki vode. Izziv je najti načine za oblikovanje dolgoročnih strategij, zagotavljanje dolgoročnih finančnih virov in njihovo čim učinkovitejšo zaščito pred kratkoročnimi omejitvami.

Glede na obstoječe znanstvene ocene (npr. Quaranta et al., 2021 in 2022) bi lahko sedanjo proizvodnjo električne energije iz hidroelektrarn povečali za 10 % s posodobitvijo obstoječih hidroelektrarn (kar bi delno izravnalo učinke podnebnih sprememb in omejitve, ki jih nalaga okoljska zakonodaja). Dodatne +3 % je mogoče doseči z izkoriščanjem skritega potenciala v obstoječi infrastrukturi (mlini, obstoječe pregrade, čistilne naprave in omrežja za distribucijo vode), medtem ko je prispevek hidrokinetičnih turbin omejen. Možnosti male hidroelektrarne v podeželskem okolju in vključene v obstoječe objekte lahko zagotavljajo decentralizirano energijo, kadar električno omrežje ni na voljo, ga je težko priključiti ali se izogniti nadaljnji širitvi omrežja. Novi sistemi za shranjevanje vode, zasnovani kot večnamenski projekti, bodo morda potrebni za storitve upravljanja vode, ki bi jih bilo mogoče izkoristiti tudi za shranjevanje in proizvodnjo energije. V južnoevropskih državah so lahko novi zbiralniki koristni za blažitev že vidnih učinkov podnebnih sprememb (poplave, suše in požari), v Alpah pa za shranjevanje dodatne vode zaradi umikanja ledenikov.

Vodna energija ima velik potencial za hibridizacijo. Fotonapetostne sisteme je mogoče namestiti kot plavajočo rešitev na vodne zbiralnike, da se zmanjša raba zemljišč za PV in optimizira splošna učinkovitost hidroelektrarne-PV (npr. zmanjšanje izhlapevanja, povečanje učinkovitosti PV). Zaradi različnih značilnosti glede odzivnega časa in prostornine shranjevanja lahko hidroelektrarne in baterije v številnih primerih predstavljajo odlično kombinacijo. Odpadna toplota se lahko pridobiva iz hladilnega sistema generatorja. Tehnologije hidroelektrarn se lahko po prilagoditvi in optimizaciji uporabljajo za proizvodnjo energije iz plimovanja in valovanja.

Hidroenergetska podjetja v EU so zelo konkurenčna in strateško pomembna, zlasti glede na trenutne geopolitične razmere (npr. zahtevana neodvisnost od Rusije in konkurenčnost Kitajske). Evropska podjetja imajo veliko izvozno zmogljivost svojih izdelkov in znanja na področju trajnostnih in blažilnih rešitev, novih turbinskih tehnologij ter obratovanja in vzdrževanja, pri čemer svoje svetovalne storitve izvajajo po vsem svetu. 47 % izumov visoke vrednosti med desetimi največjimi podjetji si delita dve podjetji iz EU. Poleg tega je EU v dobrem položaju glede znanstvenih objav, pri čemer ji najbolj konkurira Kitajska. Globalni izvoz v obdobju 2021-2023 je znašal 2,1 milijarde EUR, pri čemer so imele države EU 55 % tega deleža, pri čemer so se osredotočile le na turbine, vendar je lahko celotna razsežnost trga (cevi, gradbena dela) za 2 velikostni razred višja. Pomemben delež naložb in dejavnosti v hidroenergetskem sektorju se nanaša na gradbena dela in povezane svetovalne storitve, ki na splošno predstavljajo dve tretjini stroškov gradnje novih velikih elektrarn. Podatke o gradbenih delih je težko spremljati, zato je zbiranje podatkov in napovedi zahtevno.

Zato je za ohranitev konkurenčnega hidroenergetskega sektorja EU v svetu, ki se spopada z vse večjimi izzivi, ključna močna usposobljenost (znanstvena in industrijska) podjetij in institucij EU's . Močno se spodbujata dialog in sodelovanje z nekaterimi evropskimi državami, ki niso članice EU in so zelo odvisne od vodne energije, kot sta Norveška in Švica. Bistveno je povečati ozaveščenost javnosti o prednostih hidroenergije kot potrebnega katalizatorja za varen in neodvisen energetski prehod. Dostopnost informacij, dialog z družbo in strategije za družbeno sprejemanje pridruženih koristi v različnih družbenih, tehničnih, okoljskih in gospodarskih okvirih so ukrepi, ki jih je treba takoj preučiti. Po drugi strani pa se morajo razvijalci hidroelektrarn zavedati vplivov hidroelektrarn na okolje, pri obratovanju in gradnji hidroelektrarn pa je treba upoštevati kompleksne vplive na okolje. Čezmejni projekti in vodni zbiralniki so lahko v nekaterih primerih vir konfliktov (podnebne spremembe lahko potencialne konflikte še poglobijo), lahko pa so tudi priložnost za donosno sodelovanje in delitev s tem povezanih koristi. Bistveni so boljša komunikacija med zainteresiranimi stranmi (npr. institucijami, akademijo, industrijo in državljanji) in strokovnjaki (npr. inženirji, okoljskimi strokovnjaki, ekologi, ihtiologi, hidrologi, ekonomisti in geologi) ter pregleden postopek za iskanje ravnovesja med različnimi cilji politike, vplivi in koristmi ter konfliktnimi interesi večnamenskih rezervoarjev.

Dodatek 1: Trajnostni kazalniki

Preglednica 20. Zbirna tabela s trajnostnimi kazalniki.

Parameter/kazalnik	Vhod
Okolje	
standardi LCA, PEFCR ali najboljše praksa, podatkovne zbirke LCI	Yes ^{149, 115, 116, 120}
Emisije toplogrednih plinov	IPCC navaja, da hidroenergija povzroča povprečne emisije toplogrednih plinov (TGP) intensity of 24 gCO ₂ -eq/kWh (grami ekvivalenta ogljikovega dioksida na kilovatno uro proizvedene električne energije v celotnem življenjskem ciklu). Za primerjavo: mediana za gas is 490 gCO ₂ -eq/kWh. Odvisna je tudi od geografskega konteksta, npr. alpsko ali nealpsko območje. Vodna energija pomaga zmanjšati emisije CO ₂ ¹⁵⁰ . Dodatne razmisleke lahko povzamemo po Gemechu in Kumarju (2022) ¹⁵¹ , ki sta pregledala gCO ₂ eq/kWh, povezane z več hidroelektrarnami (HE), od njihove proizvodnje do razgradnje. Pod 5 MW so rezultati precej razpršeni, saj se nanašajo na mikro/mini hidroelektrarne. Relativni vplivi takšnih hidroelektrarn so namreč zelo majhni, če so nameščene v obstoječe strukture in umetne obstoječe kanale (in še vedno manjši od vplivov večjih hidroelektrarn), medtem ko so lahko relativni vplivi precej veliki, če so povezani z novimi pregradami v sladkovodnih sistemih. Njihov relativni vpliv se giblje med skoraj 0 in 75 gCO ₂ eq/kWh (čeprav se večina giblje med 0 in 35 gCO ₂ eq/kWh). Nad 5 MW so relativne emisije razmeroma majhne in precej konstantne, na splošno pod 5 gCO ₂ eq/kWh, in je lahko povezana predvsem z rezervoarjem. Če se uporabijo samo evropske študije primerov, ni bilo ugotovljene nobene povezave med emisijami in inštalirano močjo.
Energijska bilanca	EROI = 60-100 ¹⁵² , najvišji med energetskimi tehnologijami. Vodni zbiralniki zagotavljajo skladiščno zmogljivost, hidroelektrarne pa prilagodljivost. EROI (Energy return on investment) je razmerje, ki meri količino uporabne energije, dobavljene iz v primerjavi s količino energije, ki se porabi za pridobivanje tega vira energije.
Vpliv na ekosistem in biotsko raznovrstnost	Nove ovire imajo lahko več učinkov. Tudi zastarele in obstoječe pregrade so vzrok za drobljenje rek, vendar večina od njih ni namenjena hidroenergetski rabi ali pa ne more biti katerih primarna raba je hidroenergija. Glej besedilo v tem oddelku, oddelek 2.2.1.
Poraba vode	Povprečni pretok, ki ga izpustijo evropske hidroelektrarne z rezervoarji, je 10,5 m ³ /kWh (obdelava podatkov iz baze hidroelektrarn, Quaranta et al., 2021 ³⁴). V elektrarnah ROR se voda uporablja za proizvodnjo energije in izpušča dolvodno, medtem ko se v elektrarnah z rezervoarji (RSHP) spreminja naravni hidrološki režim in prihaja do izgub zaradi izhlapevanja. Vodni odtis hidroelektrarn v EU v fazi gradnje znaša 3,6 m ³ /GWh, kar je 90-krat manj kot pri sončni energiji (leta 2019, vendar se zdaj PV tehnologija izboljšuje in se lahko ta razlika nekoliko ublaži) in podobno kot pri vetrni energiji ¹⁵³ . Vodni odtis za obratovanje (brez turbinskega pretoka) je skoraj nič za ROR in 32 m ³ /MWh za RSHP (predvsem izhlapevanje), kar je za več kot 1 red velikosti več kot za PV. Na svetovni ravni približno 507 GW hidroenergije konkurira namakanju. Medtem ko lahko rezervoarji hidroelektrarn podpirajo namakanje, so znani primeri, ko zmanjšuje razpoložljivost vode za namakanje hrane, na primer na Portugalskem. ¹⁵⁴
Kakovost zraka	Med obratovanjem ni neposrednih emisij onesnaževal, vendar lahko pride do emisij metana zaradi v nekaterih rezervoarjih zaradi razgradnje organskih snovi. ¹⁵⁵
Raba zemljišč	Gostote vodne energije (W/m ²) se v literaturi precej razlikujejo, saj so odvisne od geografskih in topoloških pogojev. Rezervoarji vključujejo dodatna zemljišča, potrebna za zaježitev, ki pa lahko služijo tudi za več namenov. Po podatkih podatkovne zbirke ICOLD 2023 je vrednost gostote za hidroenergijo v rezervoarjih 34 W/m ² (50° percentil) v rezervoarjih za en namen, medtem ko je 10 W/m ² in 2 W/m ² v rezervoarjih za več namenov, kjer je hidroenergija prva oziroma druga (ali več) uporaba, pri čemer se površina rezervoarja upošteva kot vodni odtis. Če 50° percentilno vrednost pomnožimo s faktorjem zmogljivosti (0,38), z močjo v obratovalni točki (90 % inštalirane) in z razmerjem infrastrukture (0,62), postane gostota moči približno 6 W/m ² , kar je več od povprečne svetovne vrednosti, ki se giblje med 0,25 in 0,75 W/m ² , izračunane v van Zalk in Behrens (2018) ¹⁵⁶ . Infrastrukturno razmerje (ki predstavlja dodatno površino za rudnike, ceste, temelje itd.) znaša 0,62, kar je več kot pri vetru (0,10) in nekoliko manj kot pri fotovoltaiki (0,73-0,91). Infrastrukturno razmerje elektrarn na biomaso je najvišje (0,90). ¹⁵⁶ (infrastrukturno razmerje = 1 je optimalna/idealna vrednost). Vrednost energijske gostote vetrnih elektrarn je primerljiva z gostoto energije hidroelektrarn. ¹⁵⁷
Zdravje tal	Sprememba prenosa sedimentov, možni zemeljski plazovi pri velikih projektih, vendar tudi izboljšanje vzdrževanje in dodatno spremljanje okolja.

<i>Nevarni materiali</i>	Glej oddelek 4.3. Kritični materiali se ne uporabljajo pogosto.
<i>Ekonomski</i>	
<i>Parameter/kazalnik</i>	<i>Vhod</i>
<i>Standardi ali najboljše prakse LCC</i>	Zakery in Syri (2015) ¹⁵⁸ sta ugotovila, da so letni stroški življenjskega cikla (LCC) za PSH med 200 in 270 EUR/kW/leto, kar je za polovico manj od LCC baterij. Donnelly in drugi, (2010) ¹⁵⁹ so ugotovili, da je LCC znašal 66 USD/MWh za hidroelektrarno z rezervoarjem, 88 USD/MWh za elektrarno ROR ter 103 USD/MWh, 405 USD/MWh, 99 USD/MWh, 66 USD/MWh za vetrno, sončno, jedrsko in premogovne elektrarne. Za celovitejši pregled z vidika hidroelektrarn glej ¹⁶⁰
<i>Stroški energije</i>	Glej oddelek 2.4.
<i>Kritične surovine</i>	Ne, glejte poglavje 4.3.
<i>Učinkovita raba virov in recikliranje</i>	Življenjska doba gradbenih objektov lahko doseže 80 let, če se izvaja redno vzdrževanje, nato pa je potrebna naknadna usposobitev. Jezovi morajo biti zasnovani tako, da vzdržijo 1000-letne poplave. Življenjska doba elektromehanske opreme je 20-30 let. Splošna učinkovitost (od odvzema vode do izpusta turbine) je na splošno nad 80 % pri velikih elektrarnah in nad 65 % pri malih elektrarnah, lahko pa doseže 90 %. Toplotne izgube generatorjev se lahko povrnejo in uporabijo za ogrevanje, razvijajo pa se tudi tehnologije za zajemanje metana za zajemanje degaziranega metana za turbinami. Rezervoarji lahko imajo več namenov.
<i>sposobnost preživetja industrije in možnost širitve</i>	Glej oddelek 2.3.
<i>Vpliv trgovine</i>	Sektor hidroenergije vključuje industrijo, okolje in velike finančne naložbe. Glej oddelek 4.2.
<i>Povpraševanje na trgu</i>	Glej oddelek 3.
<i>Zaklepanje tehnologije/inovacije blokada</i>	Glej oddelek 2.1. V teku je več raziskovalnih in razvojnih dejavnosti, čeprav je glavna tehnologija dobro uveljavljena. Za gradnjo se lahko uporabijo lokalni materiali.
<i>Dovoljenja za posamezne tehnologije zahteve</i>	Več postopkov izdaje dovoljenj za rabo zemljišč in vode. ¹⁶¹
<i>Trajnostno certificiranje sheme</i>	Orodje, ki ga je razvila IHA, glej glavno besedilo, in ki ga nadzira hidroelektrarna Zavezništvo za trajnostni razvoj.
<i>Družabni</i>	
<i>S-LCA standardni ali najboljši praksa</i>	Glej besedilo.
<i>Zdravje</i>	Neposrednih emisij ni.
<i>Sprejemanje javnosti</i>	Veliki projekti lahko zahtevajo prerazporeditev ljudi in izčrpanje vodnih virov na območju izkoriščanja reke. Po drugi strani pa je ozaveščenost o večnamenskih koristih vodnih zbiralnikov in hidroenergetskih sistemov pogosto pomanjkljiva. Številne pobude za mladih in žensk v hidroenergetskem sektorju.
<i>Možnosti izobraževanja in potrebuje</i>	Zlasti kadar je hidroenergija povezana z industrijsko in kulturno dediščino (npr. vodni mlini). ^{162, 163}
<i>Zaposlovanje in pogoji</i>	Za podatke o zaposlovanju glej oddelek 3.5.
<i>Prispevek k BDP</i>	Glej oddelek 3.
<i>Vpliv na razvoj podeželja</i>	Zlasti na podeželskih območjih, kjer so vodni mlini in hidravlična infrastruktura. 80% of the EU's installed capacity is in rural areas. ¹⁶⁴
<i>Vpliv industrijskega prehoda</i>	Hidroenergija lahko zagotavlja prožnost in se lahko kombinira z drugimi energetskimi tehnologijami. (npr. plavajoča fotovoltaika, proizvodnja vodika, proizvodnja toplote, baterije).
<i>Cenovno dostopen dostop do energije (SDG7)</i>	Če je hidroenergija dobro upravljana, lahko zagotovi boljše upravljanje vodnih virov in mikrohidravlične elektrarne je mogoče namestiti v oddaljenih krajih.
<i>Varnost in (kibernetska) zaščita</i>	Digitalizacija je nastajajoča strategija za izboljšanje proizvodnje, podaljšanje življenjske dobe in ublažitev vplivov, zato je kibernetika varnost zelo pomembna. EU je vodilna izvoznica, thus the hydropower's manufacturing activity is a secure market for the EU, with no odvisnost od tujih držav, drugače kot npr. v solarnem sektorju, kjer se večina materialov (večina kritičnih materialov) uvaža s Kitajske.

<i>Energetska varnost</i>	Shranjevanje vode in energije. Energijo je mogoče shranjevati v velikih rezervoarjih in PSH v večjih količinah v primerjavi z baterijami. Na primer, shranjena energija v rezervoarju PSH Blåsjø, na Norveškem 's largest reservoir (8 TWh), is equivalent to more than 40,000 krat park baterij Hornsdale v Avstraliji. V EU je največji rezervoar za hidroelektrarne s 3,12 TWh; nahaja se v Španiji in je PSH z instalirano močjo turbin in črpalk 851 oziroma 1184 MW (baza podatkov o hidroelektrarnah JRC).
<i>Varnost preskrbe s hrano</i>	V EU je 120 velikih rezervoarjev namenjenih hidroenergiji in namakanju kot prvi in drugi uporabi, 30 velikih rezervoarjev pa namakanju in hidroenergiji kot prvi in drugi uporabi, iz podatkovne zbirke ICOLD2023.
<i>Odgovorno pridobivanje materialov</i>	Ne.

Reference

-
- ¹ Blakers, A., Stocks, M., Lu, B. in Cheng, C. (2021). Pregled shranjevanja energije s črpalnimi hidroelektrarnami. *Progress in Energy*, 3(2), 022003.
- ² Quaranta, E., Bahreini, A., Riasi, A. in Revelli, R. (2022). Turbina z zelo majhnim naklonom za proizvodnjo električne energije v obstoječih hidravličnih infrastrukturah: (1): stanje tehnike in prihodnji izzivi. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 51, 101924.
- ³ Andaroodi, M., & Schleiss, A. (2006). Standardizacija gradbenih inženirskih del malih hidroelektrarn z visoko gladino in razvoj orodja za optimizacijo. *Communication 26, Laboratory of Hydraulic Constructions (LCH), Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)*.
- ⁴ Kampa, E. (2022). Okvir politike za blažitev posledic rabe hidroenergije. In: V: Vlada Republike Slovenije, Ministrstvo za okolje in prostor: Rutschmann, P., et al. *Novel Developments for Sustainable Hydropower*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99138-8_1
- ⁵ Bauhofer, P. in Zoglauer, M. (2021). Varovanje podnebnih ciljev: Vodne elektrarne: objekti za prožnost (Hydropower Flexibility Facilities). *Chemie Ingenieur Technik*, 93(4), 632-640.
- ⁶ Quaranta (2023). Hidroenergija v Evropski uniji: stanje, prihodnje priložnosti in glavna vprašanja v sedanjih družbenih, energetskih, geopolitičnih in podnebnih razmerah. Poglavlje v knjigi *Sustainable Development of Renewable Energy technologies*, Elsevier, v tisku.
- ⁷ Quaranta, E. (2024). Hidroenergija v Evropski uniji: stanje, prihodnje priložnosti in glavna vprašanja v sedanjih družbenih, energetskih, geopolitičnih in podnebnih razmerah. In *Trajnostni razvoj obnovljivih virov energije* (str. 281-302). Academic Press.
- ⁸ Huhta, K., Soininen, N., & Vesa, S. (2024). Ekološka trajnost energetskega prehoda v pravu EU: pro et contra hidroenergija. *Journal of Energy & Natural Resources Law*, 1-17.
- ⁹ Ramos, H. M., Vargas, B. in Saldanha, J. R. (2022). Idealizacija nove celovite energetske rešitve: (Hy4REN): Hibrid za omrežje obnovljivih virov energije (Hybrid for Renewable Energy Network - Hy4REN). *Energies*, 15(11), 3921.
- ¹⁰ Tan, Q., Wen, X., Sun, Y., Lei, X., Wang, Z. in Qin, G. (2021). Vrednotenje tveganja in koristi dopolnilnega obratovanja velikega sistema vetrna-fotovoltaična-hidroelektrična energija ob upoštevanju negotovosti napovedi. *Applied Energy*, 285, 116442.
- ¹¹ Hydropower Europe (2021). Tehnologije za hidroenergijo. The State-of-the-Art. <https://hydropower-europe.eu/>
- ¹² Lee, N., Grunwald, U., Rosenlieb, E., Mirlitz, H., Aznar, A., Spencer, R. in Cox, S. (2020). Hibridni plavajoči sistemi sončne fotovoltaike in hidroelektrarne: koristi in globalna ocena tehničnega potenciala. *Renewable Energy*, 162, 1415-1427.
- ¹³ Goričanec, D., Pozeb, V., Tomšič, L., & Trop, P. (2014). Exploitation of the waste-toplota iz hidroelektrarn elektrarne. *Energija*, 77, 220-225.
- ¹⁴ Quaranta, E., Muntean, S. (2023). Zapravljena in presežna energija v sektorju hidroenergije: evropska ocena hidrokinetičnega potenciala repnih rokavov, zajemanja metana iz degaziranja in rekuperacije odpadne toplote. *Applied Energy*, 329, 120213.
- ¹⁵ Dolci, F., Georgakaki, A., Letout, S., Kuokkanen, A., Mountraki, A., Ince, E., Shtjefni, D., Joanny Ordonez, G., Eulaerts, O. in Grabowska, M. (2022). Vodikova elektroliza v Evropski uniji– 2022 Poročilo o stanju Observatorija za tehnologijo čiste energije o razvoju tehnologije, trendih, vrednostnih verigah in trgih, EUR, Evropska komisija, 2022.

-
- ¹⁶ Valente, A., Iribarren, D., Dufour, J., & Spazzafumo, G. (2015). Učinkovitost vodika kot rešitve za upravljanje energije v hidroelektrarnah v celotnem življenjskem ciklu: A case study in Central Italy: A case study in Central Italy. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(46), 16660-16672.
- ¹⁷ Tapoglou, E., Georgakaki, A., Letout, S., Kuokkanen, A., Mountraki, A., Ince, E., Shtjefni, D., Joanny Ordonez, G., Eulaerts, O. in Grabowska, M. (2022). Ocean energy in the European Union - 2022 Status report on Technology development, Trends, Value Chains and Markets (Energija oceanov v Evropski uniji - poročilo o stanju na področju razvoja tehnologije, trendov, vrednostnih verig in trgov), Urad za publikacije Evropske unije, Luxembourg, 2022, doi:10.2760/162254, JRC130617.
- ¹⁸ Yang, W., Norrlund, P., Saarinen, L., Witt, A., Smith, B., Yang, J. in Lundin, U. (2018). Obremenitev hidroenergetskih enot za kratkoročno izravnavo elektroenergetskih sistemov na obnovljive vire energije. *Nature communications*, 9(1), 2633.
- ¹⁹ Kougiyas, I., Aggidis, G., Avellan, F., Deniz, S., Lundin, U., Moro, A., ... & Theodossiou, N. (2019). Analiza nastajajočih tehnologij v sektorju hidroenergetike. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113, 109257
- ²⁰ Oladosu, G. A., George, L. in Wells, J. (2021). 2020 Cost Analysis of Hydropower Options at Non-Powered Dams (Analiza stroškovnih možnosti hidroelektrarn na jezovih brez pogona) (št. ORNL/TM-2020/1656). Nacionalno laboratorij Oak Ridge. (ORNL), Oak Ridge, TN (Združene države Amerike).
- ²¹ Fry, J.J., Misech, A., Morris, M., Schleiss, A.J. (2022). Raziskovalne teme in strateški ukrepi za spodbujanje hidroenergije kot katalizatorja energetskega prehoda v Evropi. *Journal on Hydropower & Dams (Časopis za hidroenergijo in jezove)*. 29(3): 37-47.
- ²² Quaranta, E., & Wolter, C. (2021). Ocena trajnosti vodnih koles hidroelektrarn z modeliranjem migracij rib v spodnjem toku in udarcev lopatic. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 43, 100943.
- ²³ Quaranta, E., & Revelli, R. (2018). Gravitacijska vodna kolesa kot mikro vodni vir energije: Pregled na podlagi zgodovinskih podatkov, metod načrtovanja, učinkovitosti in sodobnih optimizacij. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97, 414-427
- ²⁴ Lashofer, A., Hawle, W. in Pelikan, B. (2012). Stanje tehnologije in smernice za načrtovanje Arhimedove vijačne turbine. *Zbornik Hydro*, 14, 1-35.
- ²⁵ Timilsina, A. B., Mulligan, S., & Bajracharya, T. R. (2018). Tehnologija hidroelektrarn z vodnim vrtincem: pregled najnovejšega stanja in razvojnih trendov. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20, 1737-1760.
- ²⁶ <https://amber.international/>
- ²⁷ UNIDO, ICSHP (2022). Svetovno poročilo o razvoju malih hidroelektrarn 2022. Organizacija Združenih narodov za industrijski razvoj, Dunaj, Avstrija; Mednarodni center za male hidroelektrarne, Hangzhou, Kitajska. Dostopno na www.unido.org/WSHPDR2022.
- ²⁸ Habel M, Mechkin K, Podgorska K, Saunes M, Rabiński J, Chalov S, ... & Oholewski K. (2020). Projekti odstranjevanja jezov in rezervoarjev: Vključevanje družbeno-ekoloških trendov in zmanjševanja stroškov. *Znanstvena poročila*, 10(1), 1-16.
- ²⁹ Mouchlianitis F.A. (2024). Napredek pri odstranjevanju jezov 2023. World Fish Migration Foundation.
- ³⁰ Mednarodno združenje za hidroenergijo (IHA), (2023). World Hydropower Outlook, Central Office IHA, Združeno kraljestvo.
- ³¹ Mednarodno združenje za hidroenergijo (IHA), (2024). World Hydropower Outlook, Central Office IHA, Združeno kraljestvo.
- ³² IRENA (2023), Statistika zmogljivosti obnovljivih virov energije 2023, Mednarodna agencija za obnovljivo energijo, Abu Dabi.
- ³³ Xu, J., Ni, T. in Zheng, B. (2015). Trendi razvoja hidroenergetike z vidika tehnološke paradigme. *Energy Conversion and Management*, 90, 195-206.

-
- ³⁴ Quaranta, E., Aggidis, G., Boes, R. M., Comoglio, C., De Michele, C., Patro, E. R., ... & Pistocchi, A. (2021). Ocena energetskega potenciala posodobitve evropskega hidroenergetskega parka. *Energy Conversion and Management*, 246, 114655.
- ³⁵ Kougias, I., & Szabó, S. (2017). Pumped hydroelectric storage utilization assessment: Vključevanje obnovljivih virov energije: predhodnik vključevanja obnovljivih virov energije ali trojanski konj? *Energy*, 140, 318-329.
- ³⁶ Eurostat (2019). Energetska statistika - Oskrba, pretvorba in poraba električne energije - letni podatki 2019.
- ³⁷ Wagner, B., Hauer, C. in Habersack, H. (2019). Trenutni razvoj hidroenergetike v Evropi. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 37, 41-49.
- ³⁸ Manzano-Agugliaro, F., Taher, M., Zapata-Sierra, A., Juaidi, A., & Montoya, F. G. (2017). Pregled raziskav in razvoja energije za male hidroelektrarne v Evropi. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 476-489.
- ³⁹ Arsalis, A. Venizelou, V. (2018). Pregled potenciala za črpalne hidroakumulacije, <https://energy.gov.cy/assets/entipo-iliko/JRC%203%20PUMPED%20STORAGE.pdf>
- ⁴⁰ Kuljevan, F., Camlibel, A. Christian, M., Entriken, R., March, P., True, J., Wolff, P. (2023). Okvirno orodje za prožnost hidroelektrarn: (1): Vodni pristop za kvantifikacijo prožnosti hidroelektrarn. Hydrolink, IAHR. <https://www.iahr.org/library/infor?pid=28044>
- ⁴¹ Nikolaos, P. C., Marios, F. in Dimitris, K. (2023). Pregled črpalnih hidroakumulacijskih sistemov. *Energies*, 16(11), 4516.
- ⁴² <https://www.hydropower.org/hydropower-pumped-storage-tool>
- ⁴³ IEA (Mednarodna agencija za energijo) (2023b). ETP Vodnik po tehnologiji čiste energije, <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/etp-clean-energy-technology-guide>.
- ⁴⁴ Svetovna banka (2024). Moč prožnosti. Pospesevanje energetskega prehoda s hibridnimi hidroenergetskimi rešitvami. Tehnično poročilo.
- ⁴⁵ IEA (Mednarodna agencija za energijo) (2021). Posebno tržno poročilo o hidroenergiji Analiza in napovedi do leta 2030 (str. 126). Mednarodna agencija za energijo, <https://www.iea.org/reports/hydropower-special-market-report>.
- ⁴⁶ IHA (Mednarodno združenje za hidroenergijo) (2024). <https://www.hydropower.org/factsheets/pumped-storage>
- ⁴⁷ Graabak, I., Jaehnert, S., Korpås, M. in Mo, B. (2017). Norveška kot baterija za prihodnji evropski elektroenergetski sistem - vpliva na hidroenergetski sistem. *Energies*, 10(12), 2054.
- ⁴⁸ Adamović, M., Bisselink, B., De Felice, M., De Roo, A., Dorati, C., Ganora, D., Medarac, H., Pistocchi, A., Van De Bund, W. in Vanham, D. (2019). Water-Energy Nexus in Europe, Magagna, D., Bidoglio, G., Hidalgo Gonzalez, I. in Peteves, E. editor(s), EUR 29743 SL, Urad za publikacije Evropske unije, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-03386-8, doi:10.2760/285180, JRC115853.
- ⁴⁹ Alsaleh, M. in Abdul-Rahim, A. S. (2021). Ali dejavniki globalne konkurenčnosti vplivajo na trajnostne prakse v industriji? Dokazi iz evropske hidroenergetske industrije. *Journal of Cleaner Production*, 310, 127492.
- ⁵⁰ <https://www.swissinfo.ch/eng/politics/switzerland-outlines-15-alpine-hydro-projects-for-the-future/47190566>
- ⁵¹ Hassan, Q., Nassar, A. K., Al-Jiboory, A. K., Viktor, P., Telba, A. A., Awwad, E. M., ... & Barakat, M. (2024). Mapping Europe renewable energy landscape: Insights into solar, wind, hydro, and green hydrogen production (Kartiranje evropske pokrajine obnovljivih virov energije: vpogled v sončno, vetrno in vodno energijo ter proizvodnjo zelenega vodika). *Tehnologija v družbi*, 102535.

-
- ⁵² Partnerstvo za prehod na čisto energijo (2020). Povzetek dialoga interesnih skupin načrta SET Pregled pomembnih izzivov na področju raziskav, razvoja in inovacij, opredeljenih v dialogu interesnih skupin načrta SET pri pripravi strateškega programa za raziskave in inovacije CETP.
- ⁵³ Evropska komisija (2018). Smernice o zahtevah za hidroelektrarne v zvezi z zakonodajo EU o naravi. Luxembourg: Urad za publikacije Evropske unije, 2018.
- ⁵⁴ Neuwahl, F., Wegener, M., Jaxa-Rozen, M., Salvucci, R., Sikora, P., Gea Bermudez, J., in Rózsai, M. Scenarij POTEnCIA CETO 2024.
- ⁵⁵ Schmitz, A., Schade, B., Garaffa, R., Keramidas, K., Dowling, P., Fosse, F., Díaz Vázquez, A., Russ, P., Weitzel, M., *Impacts of enhanced learning for clean energy technologies on global energy system scenarios (Učinki izboljšane učenja za čiste energetske tehnologije na scenarije globalnega energetskega sistema)*, v pripravi.
- ⁵⁶ Tarvydas D., Observatorij za tehnologijo čiste energije: (2): Napovedi na področju čiste energije: D.: Analiza in kritični pregled 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets, Urad za publikacije Evropske unije, Luxembourg, 2022, doi:10.2760/309952, JRC130719.
- ⁵⁷ Calheiros, T., Beça, P., Capela Lourenço, T., Egger, L., Mediavilla, M., Ferreras-Alonso, N., ... & Pastor, A. (2024). Assessing Hydropower Potential under Shared Socioeconomic Pathways Scenarios Using Integrated Assessment Modelling (Ocenjevanje hidroenergetskega potenciala na podlagi scenarijev skupnih socialno-ekonomskih poti z uporabo integriranega ocenjevalnega modeliranja). *Sustainability*, 16(4), 1548
- ⁵⁸ Schmitt, R. J. P., & Rosa, L. (2024). Jezovi za hidroenergijo in namakanje: : trendi, izzivi in alternative. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 199, 114439.
- ⁵⁹ IRENA (2023), Spreminjajoča se vloga hidroenergije: Izzivi in priložnosti, Mednarodna agencija za obnovljivo energijo, Abu Dabi.
- ⁶⁰ <https://www.hydropower-dams.com/world-atlas/>
- ⁶¹ Zarfl, C., Lumsdon, A. E., Berlekamp, J., Tydecks, L. in Tockner, K. (2015). Globalni razcvet gradnje jezov za hidroelektrarne. *Aquatic Sciences*, 77, 161-170.
- ⁶² Gøtske, E. K., & Victoria, M. (2021). Prihodnje obratovanje hidroelektrarn v Evropi v razmerah velikega deleža obnovljivih virov in podnebnih sprememb. *Iscience*, 24(9), 102999.
- ⁶³ Schleiss, A. J., Franca, M. J., Juez, C. in De Cesare, G. (2016). Sedimentacija v rezervoarjih. *Journal of Hydraulic Research*, 54(6), 595-614.
- ⁶⁴ Panagos, P., Matthews, F., Patault, E., De Michele, C., Quaranta, E., Bezak, N., ... & Borrelli, P. (2024). Razumevanje stroškov erozije tal: Ocena stroškov odstranjevanja sedimentov iz rezervoarjev Evropske unije. *Journal of Cleaner Production*, 434, 140183.
- ⁶⁵ Quaranta, E., Bódis, K., Kasiulis, E., McNabola, A., & Pistocchi, A. (2022). Ali obstaja preostali in skriti potencial za male in mikro hidroelektrarne v Evropi? A screening-level regional assessment (Regionalna ocena na ravni pregleda). *Upravljanje vodnih virov*, 36(6), 1745-1762.
- ⁶⁶ Punys, P., Kvaraciejus, A., Dumbrasuskas, A., Šilinis, L., & Popa, B. (2019). An assessment of micro-hidroenergetski potencial na zgodovinskih lokacijah vodnih mlinov, jezov in jezov brez pogona v izbranih državah EU. *Renewable energy*, 133, 1108-1123.
- ⁶⁷ Bódis, K., Monforti, F., & Szabó, S. (2014). Ali bi Evropa lahko imela več mini hidroelektrarn? Analiza primernosti na podlagi celinsko usklajenih geografskih in hidroloških podatkov. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 794-808.
- ⁶⁸ Koolen, D., De Felice, M. in Busch, S., Flexibility requirements and the role of storage in future European power systems, Urad za publikacije Evropske unije, Luxembourg, 2022, doi:10.2760/384443, JRC130519.
- ⁶⁹ Evropska komisija, Generalni direktorat za energijo, Hoogland, O., Fluri, V., Kost, C., et al., Study on energy storage, Urad za publikacije Evropske unije, 2023, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/333409>

⁷⁰ Quaranta, E., Boes, M. R., Hunt, J., Szabò, S., Tattini, J., Pistocchi, A. (2024). Considerations on the existing capacity and future potential for energy storage in the European Union's hydropower reservoirs and pumped-storage hydropower (Razmisleki o rezervoarjih in črpalni hidroelektrarni),

Journal of Energy Storage (Časopis za shranjevanje energije), v recenziji.

⁷¹ Stocks, M., Stocks, R., Lu, B., Cheng, C. in Blakers, A. (2021). Global atlas of closed-loop pumped hydro energy storage (Globalni atlas zaprtega črpalnega shranjevanja energije iz vodnih virov). *Joule*, 5(1), 270-284.

⁷² Wörman, A., Uvo, C. B., Brandimarte, L., Busse, S., Crochemore, L., Lopez, M. G., ... & Riml, J. (2020). Virtual energy storage gain resulting from the spatio-temporal coordination of hydropower over Europe (Dobiček iz virtualnega shranjevanja energije zaradi prostorsko-časovne koordinacije hidroenergije v Evropi). *Applied Energy*, 272, 115249.

⁷³ Gimeno-Gutiérrez, M., & Lacal-Arántegui, R. (2015). Assessment of the European potential for pumped hydropower energy storage based on two existing reservoirs (Ocena evropskega potenciala za shranjevanje energije v črpalni hidroelektrarni na podlagi dveh obstoječih rezervoarjev). *Renewable energy*, 75, 856- 868.

⁷⁴ Hoffstaedt, J.P., Truijen, D.P.K., Fahlbeck, J., Gans, L.H.A., Qudaih, M., Laguna, A.J., De Koning, J.D.M., Stockman, K., Nilsson, H., Storli, P.T., Engel, B., Marence, M., Bricker, J.D. (2022). Črpalni hidroakumulacijski sistemi z nizko gladino: A review of applicable technologies for design, grid integration, control and modelling, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, 112119.

⁷⁵ Rogeau, A., Girard, R. in Kariniotakis, G. (2017). Generična metoda na podlagi GIS za vrednotenje potenciala majhnih črpalnih hidroelektrarn (PHES) v velikem merilu. *Applied energy*, 197, 241-253.

⁷⁶ Fauriel, J., Filliez, J., Felix, D. in Boes, R. M. (2023). Dodatno shranjevanje vode in električne energije v švicarskih Alpah: od študij potenciala do izvedbe. In *Vloga jezov in rezervoarjev pri uspešnem energetskega prehodu (Role of Dams and Reservoirs in a Successful Energy Transition)* (str. 303-311). CRC Press.

⁷⁷ Hunt, J.D., Zakeri, B., Nascimento, A., Brandão, R. (2022), 3 - Črpalne hidroelektrarne (PSH), Editor: Trevor M. Letcher, *Storing Energy (Second Edition)*, Elsevier, str. 37-65.

⁷⁸ Farinotti, D., Pistocchi, A., Huss, M. (2016). Vse manj vode iz ledenikov in upanje v tehnologiji. Kraljevo geografsko društvo. JRC101997

⁷⁹ Stocks, M, Stocks, R, Weber, T, Palethorpe, E, Nadolny, A, Blakers, A, Lu, B & Cheng, C (2024), ANU RE100 Map, na voljo na: <https://re100.anu.edu.au/> [dostop 30. julij 2024].

⁸⁰ Bielewski, M., Pfrang, A., Bobba, S., Kronberga, A., Georgakaki, A., Letout, S., Kuokkanen, A., Mountraki, A., Ince, E., Shtjefni, D., Joanny, G., Eulaerts, O., Grabowska, M. (2022). Battery for energy storage in the European Union - 2022 Clean Energy Technology Observatory Status Report on Technology Development Trends, Value Chains and Markets (Baterije za shranjevanje energije v Evropski uniji - 2022, poročilo o stanju Opazovalnega centra za tehnologijo čiste energije o trendih tehnološkega razvoja, vrednostnih verigah in trgih), EUR, Evropska komisija, 2022, ISBN 978-92-76-56961-9, doi:10.2760/808352, JRC130724.

⁸¹ Quaranta, E. in Hunt, J. (2022). Retrofitting and Refurbishment of hydropower plants: case studies and novel technologies (Nadgradnja in prenova hidroelektrarn: študije primerov in nove tehnologije). In *Renewable Energy Production and Distribution (Proizvodnja in distribucija obnovljivih virov energije)*, 301-322. Academic Press.

⁸² Kougiyas, I., Bódis, K., Jäger-Waldau, A., Monforti-Ferrario, F., & Szabó, S. (2016). Izkoriščanje obstoječih jezov za namestitve solarnih fotovoltaičnih sistemov. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 24(2), 229-239.

⁸³ Hunt, J. D., Byers, E., Wada, Y., Parkinson, S., Gernaat, D. E., Langan, S., ... & Riahi, K. (2020). Global resource potential of seasonal pumped hydropower storage for energy and water storage (Globalni potencial sezonskega črpalnega shranjevanja vodne energije za shranjevanje energije in vode). *Nature communications*, 11(1), 947.

⁸⁴ Menéndez, J., Loredó, J., Fernández, J. M., & Galdo, M. (2017, junij). Podzemne črpalne hidroelektrarne z rudniško vodo v opuščenih premogovnikih. In Proceedings of the IMWA 13th international congress, 1, 6-13. Lappeenranta, Finska.

⁸⁵ Weber, T., Stocks, R., Blakers, A., Nadolny, A. in Cheng, C. (2024). Globalni atlas črpalnih hidro sistemov, ki ponovno uporabljajo obstoječa rudarska območja. *Renewable Energy*, 120113.

-
- ⁸⁶ Farinotti, D., Round, V., Huss, M., Compagno, L. in Zekollari, H. (2019). Velika hidroenergija in potencial za shranjevanje vode v porečjih brez ledenikov v prihodnosti (Large hydropower and water-storage potential in future glacier-free basins). *Nature*, 575(7782), 341-344.
- ⁸⁷ Garrett, K., McManamay, R. A. in Wang, J. (2021). Svetovna širitev hidroenergije brez gradnje novih jezov. *Environmental Research Letters*, 16(11), 114029.
- ⁸⁸ Quaranta, E., Tagliaferro, B., Viccione, G. (2022). Harnessing the rainfall on building roofs for micro hydropower generation in the European Union (Izkoriščanje padavin na strehah stavb za proizvodnjo mikro hidroenergije v Evropski uniji), 3. kongres mladih strokovnjakov IAHR.
- ⁸⁹ Mitrović, D., Chacón, M. C., García, A. M., Morillo, J. G., Diaz, J. A. R., Ramos, H. M., ... & McNabola, A. (2021). Ocena razpoložljivega potenciala za pridobivanje energije z uporabo mikrohidravlične energije v omrežjih za pitno vodo, tlačno namakanje in odpadno vodo na ravni več držav, ki zajema del EU. *Voda*, 13(7), 899.
- ⁹⁰ Kakoulaki, G., Gonzalez-Sanchez, R., Gracia Amillo, A., Szabó, S., De Felice, M., Farinosi, F., De Felice, L., Bisselink, B., Seliger, R., Kougias, I., Jäger-Waldau, A. (2022). Prednosti združevanja plavajočih fotovoltaičnih sistemov s hidroenergetskimi rezervoarji v Evropi (nacionalna in regionalna raven). Dostopno na SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4074448> ali <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4074448>.
- ⁹¹ IRENA (2023). Stroški proizvodnje energije iz obnovljivih virov leta 2022. Mednarodna agencija za obnovljive vire energije. Abu Dabi, Združeni arabski emirati: 2023.
- ⁹² Evropska komisija (2020). Stroški energije, davki in vpliv vladnih posegov na naložbe. Končno poročilo Stroški energije (LCOE)
- ⁹³ Patro, E. R., Kishore, T. S., & Haghighi, A. T. (2022). Levelizirani stroški proizvodnje električne energije s projekti malih hidroelektrarn v okviru mehanizma čistega razvoja v Indiji. *Energies*, 15(4), 1473.
- ⁹⁴ Quaranta, E. in Davies, P. (2021). Emerging and Innovative Materials for Hydropower Engineering Applications (Nastajajoči in inovativni materiali za uporabo v hidroenergetiki): Vrhunski materiali: turbine, ležaji, tesnila, jezovi in vodne poti ter energija oceanov. *Inženiring*, 8, 148-158.
- ⁹⁵ Quaranta, E., Bonjean, M., Cuvato, D., Nicolet, C., Dreyer, M., Gaspoz, A., ... & Bragato, N. (2020). Zbirka študij primerov s področja hidroenergetike: Inovativne turbine z nizkim pretokom in ekološko izboljšane turbine, hidroenergija v obstoječih infrastrukturah, zmanjševanje hidroenergije, digitalizacija in sistemi upravljanja. *Sustainability*, 12(21), 8873.
- ⁹⁶ <https://www.energy.gov/eere/water/water-power-technologies-office-budget#>
- ⁹⁷ Pasimeni, F. et al. (2019). Assessing private R&D spending in Europe for climate change mitigation technologies via patent data, *World Patent Information*, 59, 101927. doi: 10.1016/j.wpi.2019.101927.
- ⁹⁸ Fiorini, A. et al. (2017). Monitoring R&I in Low-Carbon Energy Technologies, EUR 28446 EN, Evropska komisija, Luxembourg, 2017, ISBN 978-92-79-65591-3, doi: 10.2760/434051, JRC 105642.
- ⁹⁹ Jiang, H., Qiang, M. in Lin, P. (2016). Bibliometrično raziskovanje raziskav na področju hidroenergetike na podlagi modeliranja tem. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 226-237.
- ¹⁰⁰ Deliza, E. E. V., de Almeida, F. M., de São, F., Filho, P., da Luz Neto, L. S., Calderaro, I. F. N., & Arenhardt, V. Repowering of Small Hydropower Plants: V: bibliometrična študija v podatkovni zbirki Scopus.
- ¹⁰¹ Evropska komisija (2020a). Poročilo Komisije Evropskemu parlamentu in Svetu o napredku na področju konkurenčnosti čiste energije.
- ¹⁰² Kirchherr, J., & Matthews, N. (2018). Prenos tehnologije v hidroenergetiki: An analysis of Chinese dam developers' undertakings in Europe and Latin America. *Energy Policy*, 113, 546-558.
- ¹⁰³ EurObserv'ER (2019). Stanje obnovljivih virov energije v Evropi. 19th EurObserv'ER Rep 2019,

153.

-
- ¹⁰⁴ DNV, GL. (2015). The Hydropowersector's Contribution to a sustainable and prosperous Europe (Prispevek k trajnostni in uspešni Evropi).
- ¹⁰⁵ Brás, T., Simoes, S. in Amorim, F. (2023). Kako močno so ekstremni vremenski dogodki vplivali na proizvodnjo električne energije v Evropi v zadnjih 30 letih? Raziskave za trajnost, 1-4.
- ¹⁰⁶ Quaranta, E., Bejarano, M. D., Comoglio, C., Fuentes-Pérez, J. F., Pérez-Díaz, J. I., Sanz-Ronda, F. J., ... & Tuhtan, J. A. (2023). Digitalizacija in nadzor v realnem času za ublažitev okoljskih vplivov ob rekah: V ospredju so umetne pregrade, hidroenergetski sistemi in evropske prednostne naloge. *Science of The Total Environment*, 875, 162489.
- ¹⁰⁷ Branche, E. (2017). Večnamenska raba vode v hidroenergetskih rezervoarjih: Koncept SHARE. *Comptes Rendus Physique*, 18(7-8), 469-478.
- ¹⁰⁸ <https://www.ntnu.edu/documents/1324510245/1334216255/sushp-23-p4-04-sparrevik.pdf/f7145d0c-c96d-fb62-85ef-18144480480b?t=1687854615036>
- ¹⁰⁹ Simão, M. in Ramos, H. M. (2020). Hibridne rešitve za shranjevanje energije s črpalno hidroelektrarno za integracijo vetra in fotovoltaike: (v angleščini): Improvement on flexibility, reliability and energy costs (Izboljšanje prilagodljivosti, zanesljivosti in stroškov energije). *Voda*, 12(9), 2457.
- ¹¹⁰ Mednarodna agencija za energijo (IEA) (2021). Posebno poročilo o analizi in napovedi trga hidroenergije do leta 2030.
- ¹¹¹ Lu, S., Dai, W., Tang, Y. in Guo, M. (2020). Pregled vpliva hidroenergetskih rezervoarjev na globalne podnebne spremembe. *Science of The Total Environment*, 711, 134996.
- ¹¹² Alsaleh, M. in Abdul-Rahim, A. S. (2021). Približevanje trajnostnemu okolju: The effects of hydropower industry on water quality in EU economies (Učinki hidroenergetike na kakovost vode v gospodarstvih EU). *Energy & Environment*, 0958305X211039452.
- ¹¹³ Mahmud, M. A. P., Huda, N., Farjana, S. H., & Lang, C. (2018, maj). Ocena okoljske trajnosti hidroelektrarne v Evropi z uporabo ocene življenjskega cikla. V seriji konferenc IOP: Materials science and engineering (Vol. 351, No. 1, p. 012006). IOP Publishing.
- ¹¹⁴ Ueda, T., Roberts, E. S., Norton, A., Styles, D., Williams, A. P., Ramos, H. M., & Gallagher, J. (2019). Ocena življenjskega cikla gradbene faze enajstih mikro hidroelektrarn v Združenem kraljestvu. *Journal of cleaner production*, 218, 1-9.
- ¹¹⁵ Mahmud, M. P., Huda, N., Farjana, S. H., & Lang, C. (2019). Strateška presoja vplivov hidroelektrarn na alpskih in nealpskih območjih Evrope. *Applied Energy*, 250, 198-214.
- ¹¹⁶ Dones, R., Bauer, C., Bolliger, R., Burger, B., Faist Emmenegger, M., Frischknecht, R., ... & Tuchschnid, M. (2007). Inventarizacija življenjskega cikla energetskih sistemov: rezultati za sedanje sisteme v Švici in drugih državah UCTE. Končno poročilo ecoinvent data v2.0, 5.
- ¹¹⁷ Alsaleh, M. in Abdul-Rahim, A. S. (2022). Pot k zmanjšanju onesnaževanja v regiji EU-28 (The pathway towards pollution mitigation in the EU28 region): Ali rast hidroenergije kaj spremeni? *Renewable Energy*, 185, 291-301.
- ¹¹⁸ Fan, P., Cho, M. S., Lin, Z., Ouyang, Z., Qi, J., Chen, J. in Moran, E. F. (2022). Nedavno zgrajeni hidroenergetski jezovi so bili povezani z zmanjšano gospodarsko proizvodnjo, prebivalstvom in zelenjem na bližnjih območjih. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(8), e2108038119.
- ¹¹⁹ Sovacool, B. K., & Walter, G. (2018). Velike hidroenergetske države, trajnostni razvoj in energetska varnost: (1): Vpogledi iz predhodne navzkrižne primerjalne ocene. *Energy*, 142, 1074- 1082.
- ¹²⁰ Immendoerfer, A., Tietze, I., Hottenroth, H. in Viere, T. (2017). Vpliv skladiščenja črpalne hidroenergije in baterijskega skladiščenja na življenjski cikel. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 8(3), 231-245.
- ¹²¹ Evropska komisija (2020b). DELOVNI DOKUMENT SLUŽB KOMISIJE O VPLIVU POROČILO O OCENI. Spremni dokument Predlog uredbe Evropskega parlamenta in Sveta o baterijah in odpadnih baterijah, razveljavitvi Direktive 2006/66/ES in spremembi Uredbe (EU) 2019/1020

-
- ¹²² Abazaj, J. (2016). Vprašanja skladnosti med podnebjem, energijo in vodo na primeru evropske hidroenergije: Ali lahko imamo vse?. V *Pravni vidiki trajnostnega razvoja*, 347-370. Springer, Cham.
- ¹²³ Fruhmann, C., Tuerk, A., Kulmer, V. in Gubina, A. F. (2019). Uravnoteženje okoljskih koristi in škode proizvodnje električne energije v malih hidroelektrarnah pri oblikovanju politik: ocena izvajanja nasprotujočega si političnega okvira EU v Avstriji in Sloveniji. *International Journal of Sustainable Energy*, 38(1), 37-49.
- ¹²⁴ Kampa, E. (2022). Okvir politike za blažitev posledic rabe hidroenergije. In *Novel Developments for Sustainable Hydropower*, 1-11. Springer, Cham.
- ¹²⁵ Moran, E. F., Lopez, M. C., Moore, N., Müller, N. in Hyndman, D. W. (2018). Sustainable hydropower in the 21st century (Trajnostna vodna energija v 21. stoletju). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(47), 11891-11898.
- ¹²⁶ Netzband, A., Brils, J., Brauch, H. J., Liska, I., Miloradov, M., Nachtnebel, H. P., ... & Slob, A. (2007). Upravljanje s sedimenti: bistveni elementi načrtov upravljanja povodij. *Journal of Soils and Sediments*, 7(2), 117-132.
- ¹²⁷ Quaranta, E., Pérez-Díaz, J. I., Romero Gomez, P. in Pistocchi, A. (2021). Okolju prijazne turbine za hidroelektrarne: (Current Technology and Future Perspective): trenutna tehnologija in perspektiva za prihodnost. *Frontiers in Energy Research*, 592.
- ¹²⁸ Jeftenić, G., Kolaković, S., Panić, M., Kolaković, S., & Mandić, V. (2021). A Methodology Proposal for Selecting the Optimal Location for Small Hydropower Plants. *Tehnički vjesnik*, 28(5), 1462-1470.
- ¹²⁹ Venus, T. E., Hinzmann, M., Bakken, T. H., Gerdes, H., Godinho, F. N., Hansen, B., ... & Sauer, J. (2020). Dojemanje hidroenergije, ki se pridobiva z delovanjem po reki, s strani javnosti v Evropi. *Energy Policy*, 140, 111422.
- ¹³⁰ <https://www.hydropower.org/news/new-gender-study-to-explore-womens-employment-in-hydroenergija>
- ¹³¹ <https://www.esmap.org/Gender-and-Hydropower>
- ¹³² UNIDO, ICSHP (2022). *Svetovno poročilo o razvoju malih hidroelektrarn 2022. Tematska publikacija: Tematska publikacija: Perspektive za mlade v sektorju malih hidroelektrarn in Tematska publikacija: Prospects for Women in the Small Hydropower Sector*, Organizacija Združenih narodov za industrijski razvoj, Dunaj, Avstrija; International Center on Small Hydro Power, Hangzhou, Kitajska. Na voljo na www.unido.org/WSHPDR2022
- ¹³³ Hidroelektrarne in jezovi (2020). *Hidroelektrarne in jezovi - Atlas sveta*. Int. J. Hydropower Dams, https://www.hydropower-dams.com/industry-guide/?fwp_industry_guide.
- ¹³⁴ IRENA (2023), *Renewable energy benefits: Mednarodna agencija za obnovljive vire energije*, Abu Dabi.
- ¹³⁵ IRENA (2022). *Renewable Energy and Jobs Annual Review 2022 (Letni pregled obnovljivih virov energije in delovnih mest 2022)*. Mednarodna agencija za obnovljivo energijo. Abu Dabi, Združeni arabski emirati.
- ¹³⁶ https://eref-europe.org/wp-content/uploads/2020/09/EREF_brochure_Italian.pdf#:~:text=Nei%2027%20Stati%20membri%20dell%27UE%2C%20circa%2025.000%20piccoli,emissioni%20di%20CO2%20associa-te%20alla%20produzione%20di%20energia.
- ¹³⁷ EUREC, Združenje evropskih raziskovalnih centrov za obnovljivo energijo (2024). *ZNANJA V SEKTORJU OBNOVLJIVIH ENERGIJ Vizije evropskih platform za tehnologijo in inovacije*
- ¹³⁸ Evropska hiša – Ambrosetti, A2A, Edison, Enel, "Le concessioni idroelettriche in Italia: incertezze e opportunità per il rilancio del Paese", 2023.

¹³⁹ Svetovna carinska organizacija (WCO), nomenklatura HS, izdaja 2022

<https://www.wcoomd.org/en/topics/nomenclature/instrument-and-tools/hs-nomenclature-2022-edition.aspx>

¹⁴⁰ Evropska komisija (2021). Gérard, F., Gorenstein Dedecca, J., Ying Lee, L., Guevara Opinska, L., Yearwood, J., Hoogland, O. (2021). Study on the resilience of critical supply chains for energy security and clean energy transition during and after the COVID-19 crisis (Študija o odpornosti kritičnih dobavnih verig za energetska varnost in prehod na čisto energijo med krizo COVID-19 in po njej), Evropska komisija, Bruselj, ISBN 978-92-76-38453-3.

¹⁴¹ Quaranta (2023). Ocena količine jekla v elektromehanski opremi evropskega parka hidroelektrarn. Znanstvena poročila, 13, 16792

¹⁴² Fry, J.J., Schleiss, A.J., Morris, M. (2022). Vodna energija kot katalizator energetskega prehoda v okviru evropskega zelenega dogovora, del I: nujnost zelenega dogovora in vloga vodne energije. E3S Web of Conferences, Sharing Water: Večnamenskost rezervoarjev in inovacije, 346, 04015

¹⁴³ IEA (2023). Raziskovalec podatkov o kritičnih mineralih. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/critical-minerals-data-explorer>

¹⁴⁴ Besseau, R., Tannous, S., Douziech, M., Jolivet, R., Prieur-Vernat, A., Clavreul, J., ... & Pérez-López, P. (2023). Odprtokodni parameterizirani model življenjskega cikla za oceno okoljske učinkovitosti fotovoltaičnih sistemov na osnovi silicija. Progress in Photovoltaics: Research and Applications.

¹⁴⁵ Bobba, S., Carrara, S., Huisman, J., Matheux, F. in Pacel, C. (2020). Kritične surovine za strateške tehnologije in sektorje v EU. A Foresight Study, Luxembourg, Evropska unija.

¹⁴⁶ Stegen, K. S. (2015). Težke redke zemlje, trajni magneti in obnovljivi viri energije: Vrhunska kriza: neizogibna kriza. Energetska politika, 79, 1-8.

¹⁴⁷ R. Wolfsborg, A. Larsson in E. Nordström (2023). Inovativna zasnova in prenova sheme Lilla Edet na Švedskem. Hysdropwoer and Dams, 30(2), 68-72.

¹⁴⁸ Simon, T. R., Inman, D., Hanes, R., Avery, G., Hettinger, D. in Heath, G. (2023). Life Cycle Assessment of Closed-Loop Pumped-storage Hydropower in the United States (Ocena življenjskega cikla hidroelektrarn z zaprto zanko in črpališčem v Združenih državah Amerike). *Environmental Science & Technology*.

¹⁴⁹ Briones-Hidrovo, A., Uche, J., & Martínez-Gracia, A. (2020). Določanje neto okoljske učinkovitosti hidroelektrarn: (2): nov metodološki pristop z združevanjem ocene življenjskega cikla in ekosistemskih storitev. Science of the Total Environment, 712, 136369.

¹⁵⁰ Mohsin, M., Orynassarov, D., Anser, M. K., & Oskenbayev, Y. (2023). Ali hidroenergija prispeva k zmanjšanju emisij CO₂ v državah Evropske unije? evidence from quantile ocenjevanje. Razvoj okolja, 45, 100794.

¹⁵¹ Gemechu, E. in Kumar, A. (2022). Pregled uporabe ocene življenjskega cikla za ocenjevanje okoljskih vplivov hidroenergije. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 167, 112684.

¹⁵² Hall, C. A., Lambert, J. G. in Balogh, S. B. (2014). EROI različnih goriv in posledice za družbo. Energetska politika, 64, 141-152.

¹⁵³ Vanham, D., Medarac, H., Schyns, J. F., Hogeboom, R. J. in Magagna, D. (2019). The consumptive water footprint of the European Union energy sector (Potrošni vodni odtis energetskega sektorja Evropske unije). Environmental research letters, 14(10), 104016.

¹⁵⁴ Fortes, P., Simoes, S. G., Brás, T. A., & Amorim, F. (2022). Competing water uses between agriculture and energy (Konkurenčna raba vode med kmetijstvom in energetiko): Kvantifikacija prihodnjih vplivov podnebnih sprememb za portugalski energetski sektor. Journal of Cleaner Production, 371, 133629.

¹⁵⁵ Hertwich, E. G. (2013). Obravnavanje biogenih emisij toplogrednih plinov iz hidroelektrarn v LCA. Environmental science & technology, 47(17), 9604-9611.

-
- ¹⁵⁶ van Zalk, J., & Behrens, P. (2018). The spatial extent of renewable and non-renewable power generation: Pregled in metaanaliza gostote električne energije ter njena uporaba v ZDA. *Energy Policy*, 123, 83-91.
- ¹⁵⁷ Bakken, T. H., Aase, A. G., Hagen, D., Sundt, H., Barton, D. N., & Lujala, P. (2014). Prikaz novega okvira za primerjavo okoljskih vplivov malih in velikih projektov hidroelektrarn in vetrnih elektrarn. *Journal of Environmental Management*, 140, 93-101.
- ¹⁵⁸ Zakeri, B., & Syri, S. (2015). Sistemi za shranjevanje električne energije: (1): Primerjalna analiza stroškov življenjskega cikla. *Renewable and sustainable energy reviews*, 42, 569-596.
- ¹⁵⁹ Donnelly, C. R., Carias, A., Ali, M., Wood, N., Morgenroth, M. in Bridgeman, A. (2010). Ocena stroškov življenjskega cikla in emisij toplogrednih plinov za alternativne proizvodne tehnologije.
- ¹⁶⁰ IHA (2021). Črpalne hidroelektrarne Zmogljivosti in stroški Delovna skupina za zmogljivosti, stroške in inovacije September 2021.
- ¹⁶¹ Glachant, J. M., Saguan, M., Rious, V. in Douguet, S. (2015). Režimi za podelitev pravice do uporabe vodne energije v Evropi.
- ¹⁶² Kuban, N. (2021). Hidroelektrarne in jezovi kot industrijska dediščina v kontekstu medsebojnih odnosov med naravo in kulturo: Pregled primerov v Turčiji. *Energies*, 14(5), 1281.
- ¹⁶³ Quaranta, E., Pujol, T. in Grano, M. C. (2023). The repowering of vertical axis water mills preserving their cultural heritage: techno-economic analysis with water wheels and Turgo turbines (Ponovno napajanje vodnih mlinov z navpično osjo, ki ohranjajo kulturno dediščino: tehnično-ekonomska analiza z vodnimi kolesi in turbinami Turgo). *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, 13(2), 269-287.
- ¹⁶⁴ Perpiña Castillo, C., Hormigos Feliu, C., Dorati, C., Kakoulaki, G., Peeters, L., Quaranta, E., Taylor, N., Uihlein, A., Auteri, D. in Dijkstra, L., *Renewable Energy production and potential in EU Rural Areas*, Urad za publikacije Evropske unije, Luxembourg, 2024, doi:10.2760/458970, JRC135612.
- ¹⁶⁵ Mantzos, L., Matei, N. A., Rózsai, M., Russ, P. in Ramirez, A. S. (2017, junij). POTENCIALNA KAZALNICA: (novi model energetskega sektorja za celotno EU). In *Zbornik štirinajste mednarodne konference o evropskem energetske trgu (EEM) (str. 1-5)*. IEEE.
- ¹⁶⁶ Mantzos, L., Wiesenthal, T., Neuwahl, F. in Rózsai, M. (2019). *Osrednji scenarij POTEnCIA. An EU Energy Outlook to 2050 (Energetska napoved EU do leta 2050)*. Poročilo EUR 29881 SL. Urad za publikacije Evropske unije, Luxembourg.
- ¹⁶⁷ Rózsai, M., Jaxa-Rozen, M., Salvucci, R., Sikora, P., Tattini, J. in Neuwahl, F., (2024) *JRC-IDEES- 2021: The Integrated Database of the European Energy – SystemData update and technical documentation*, Urad za publikacije Evropske unije, Luxembourg, doi:10.2760/614599, JRC137809.
- ¹⁶⁸ Després, J., Keramidas, K., Schmitz, A., Kitous, A., Schade, B., Diaz Vazquez, A., Mima, S., Russ, H. in Wiesenthal, T. (2018), *POLES-JRC model documentation*, Urad za publikacije Evropske unije, Luxembourg, doi:10.2760/814959, JRC113757.
- ¹⁶⁹ IIASA (2024), *Mednarodni inštitut za uporabno sistemsko analizo, dokumentacija GLOBIOM*, Laxenburg, <https://globiom.org/documentation.html>
- ¹⁷⁰ Chatzipanagi, A., Jaeger-Waldau, A., Cleret De Langavant, C., Gea Bermudez, J., Letout, S., Mountraki, A., Schmitz, A., Georgakaki, A., Ince, E., Kuokkanen, A. in Shtjefni, D. (2023). *Observatorij za tehnologijo čiste energije: Urad za publikacije Evropske unije*, Luxembourg, doi:10.2760/732675, JRC135034.
- ¹⁷¹ IEA (2024). *Obnovljivi viri energije 2024 Analiza in napoved do leta 2030*.

Seznam kratic in opredelitev pojmov

AU = Avstralija

BR = Brazilija

CA = Kanada

CAPEX = kapitalski izdatki

CF = faktor zmogljivosti (-)

CH = Švica

ES = Evropska komisija

EROI = donosnost naložbe v energijo

EU = Evropska unija EU27

BDP = bruto domača proizvodnja GW =
gigavat

ICOLD = Mednarodna komisija za velike jezove IEA =
Mednarodna agencija za energijo

IHA = Mednarodno združenje za hidroenergijo

IRENA = Mednarodna agencija za obnovljive vire
energije JP = Japonska

JRC = Skupno raziskovalno

središče KR = Koreja

LCOE = ocenjeni stroški električne
energije DČ = država članica

MX = Mehika

NO =

Norveška

NZ = Nova Zelandija

O&M = obratovanje in vzdrževanje P
= inštalirana moč (kW, GW)

PSH = črpalna hidroelektrarna PV =
fotovoltaika

R&D = raziskave in razvoj ROR = run
of the river

RoW = preostali svet

RSHP = hidroelektrarna z akumulacijo v
rezervoarju TR = Türkiye

TRL = stopnja tehnološke pripravljenosti

TWh = teravat na uro

U.K. = Združeno kraljestvo

ZDA = Združene države Amerike

WEFE = voda-energija-prehrana-
ekosistem y = leto

Seznam slik

Slika 1. Skica hidroelektrarne z rezervoarjem, s poudarkom na elektrami.....	10
Slika 2. (a) RSHP (jez Mooserboden, Avstrija), (b) elektrarna ROR (Ruppoldingen v Švici, s stransko reko za migracijo rib), (c) elektrarna PSH z dvema rezervoarjema (Limberg II in Kopswerk II, Avstrija), (d) mikroelektrarna z vodnim kolesom v odvodnem kanalu.....	11
Slika 3. Delež tipov turbin v EU glede na podatkovno zbirko Voith Hydro in njihovo območje delovanja (od leta 2020). Deriaz, Girard sta bila vključena v tip Francis (Voith Hydro ter Quaranta in Muntean (2023)). Na spodnji sliki F-K pomeni mejo med razponom Francisovih in Kaplanovih turbin, F-P pa Francisove in Peltonove	17
Slika 4. Instalirana zmogljivost turbin (a) in proizvodnja električne energije v EU (b in c), vključno s proizvodnjo električne energije iz PSH. Mixed_net (slika b) pomeni neto proizvodnjo električne energije iz mešane (tj. odprte zanke) PSH (proizvodnja električne energije minus adsorbirana za črpanje, ki je približno enaka proizvodnji električne energije iz naravnega dotoka, ob približni predpostavki, da sta učinkovitost črpanja in turbine približno enaka). Na sliki b se os y začne pri 150 TWh	21
Slika 5. Porazdelitev hidroenergije v Evropi po podatkovni zbirki JRC o hidroenergiji (o d 254 GW je vključenih 194 GW, leto 2019). Iz: https://energy-industry-geolab.jrc.ec.europa.eu/ in brez večine malih hidroelektrarn	22
Slika 6. Porazdelitev elektrarn PSH (vir: forum PSH Mednarodnega združenja za hidroenergijo). Modra = delujoče, oranžna = v gradnji ali načrtovane	25
Slika 7. Instalirana zmogljivost hidroelektrarn in proizvodnja električne energije v EU, 2025-2050. Proizvodnja električne energije iz soproizvodnje vključuje električno energijo iz zaprte zanke in tisto iz črpane vode v odprti zanki električne energije iz soproizvodnje	31
Slika 8. Urna proizvodnja električne energije (označeno območje) in obremenitev (označene črte) v letih 2020, 2030 in 2040 glede na 2020's hourly average load (put as 100% as restanje ferenca), združene po vrstah, na spomladanski dan v južnoevropski državi. Razkladanje skladišča = proizvodnja. Skladiščenje vključuje PSH, po letu 2030 pa tudi baterije.	31
Slika 9. Vodni projekti v Evropi, 2022-2037	32
Slika 10 Hydropower additional potential production in EU's municipalities estimated from modernization of starih obratov, novega razvoja vodovodnih omrežij, kanalizacijskih sistemov in vodnih mlinov. Potencial je prikazan po občinah na enoto površine. Rdeče pike označujejo primerne vodne zbiralnike za sisteme FPV. LAU je lokalna upravna enota. Za več podrobnosti glej Perpiña Castillo et al., (2024).....	37
Slika 11. Portfelj EIB za hidroelektrarne po regijah. Pretekle zaveze v primerjavi z načrtovanimi.....	40
Slika 12. Stroški LCOE in veleprodajna cena vodne energije v Evropski uniji.....	42
Slika 13. Javne naložbe EU v raziskave in razvoj [v milijonih EUR]. Vir: JRC na podlagi podatkov IEA, CIndECS2022. Nerazporejeno = ni določeno	44
Slika 14. Javne naložbe v raziskave in razvoj na področju hidroenergije v državah članicah EU v obdobju 2012-2021. Vir: CIndECS2022. Za kratice, ki niso iz EU, glej seznam nomenklature. EU (EC FP) označuje financiranje iz okvirnih programov EU (H2020) in je na voljo šele od leta 2014 naprej	45
Slika 15. Naložbe tveganega kapitala. JRC na podlagi Pitchbook.....	46
Slika 16. Gibanje naložb v zgodnji in poznejši fazi.....	47
Slika 17. Naložbe tveganega in zasebnega kapitala po vrsti posla v EU (levo) in na ROW (desno), za posle v zgodnji fazi (zgoraj) in posle v poznejši fazi (spodaj)	48
Slika 18. Naložbe v raziskave in razvoj	49
Slika 19. Naložbe tveganega kapitala in kapitala v 10 največjih državah upravičenkah po obdobjih za vse posle, posle v zgodnji fazi in posle v poznejši fazi	49
Slika 20. Inovativna podjetja	50

Slika 21. Patentna dejavnost za različne kategorije lastnikov (izumi visoke vrednosti)	51
Slika 22. Število izumov z visoko vrednostjo (levo) in prvih 10 držav (desno)	52
Slika 23. Podjetja, ki največ patentirajo	52
Slika 24. Število znanstvenih člankov, objavljenih v recenziranih revijah, za EU in druge države	54
Slika 25. Število znanstvenih člankov, objavljenih v recenziranih revijah, v državah članicah EU	54
Slika 26. Prejeta sredstva in število projektov po državah (projekti Interreg niso vključeni), 2015-2022. 56	
Slika 27. Promet s hidroenergijo v EU, podatki Eurostata	59
Slika 28. Bruto dodana vrednost (BDV) za vsako državo članico EU leta 2021 (levo) in 2022 (desno), EurObserv'ER's data.	60
Slika 29. Prednosti in vplivi hidroenergije	61
Slika 30. Na vrhu: Uporaba v velikih vodnih zbiralnikih (sklic: ICOLD, 2023)	64
Slika 31Leading hydropower and dam engineering organisations/companies per EU's Member State.....	68
Slika 32. Vrednost proizvodnje v EU na blago [v milijonih EUR].....	71
Slika 33. Vrednost proizvodnje v EU na blago [MW].....	71
Slika 34. Proizvodna vrednost EU na količino hidravličnih turbin [EUR na vat]	71
Slika 35. Največji proizvajalci EU med državami članicami, ki so razkrile podatke [v milijonih EUR]. Vir: JRC na podlagi podatkov PRODCOM	72
Slika 36. Trgovina zunaj EU s hidravličnimi turbinami in deli [v milijonih EUR].....	74
Slika 37. Delež EU v svetovnem izvozu (levo), delež zunaj EU v svetovnem izvozu (sredina) in uvoz EU (desno) [2021-2023].....	75
Slika 38. Delež tržne vrednosti hidroenergije [2021-2023].....	75
Slika 39. Glavne države uvoznice (levo) in izvoznice (desno) EU (2021-2023) [v milijonih EUR]	75
Slika 40. Trgovina EU z Rusijo (levo) in Turčijo (desno) [v milijonih EUR]	76
Slika 41. Največji svetovni uvozniki (levo) in izvozniki (desno) (2021-2023) [v milijonih EUR]	76
Slika 42. Države, v katere Avstrija izvažata (levo) in iz katerih uvažata (desno) [v milijonih EUR]	77
Slika 43. Kazalniki učinka iz projekta ETIP Hydropower Europe (projekt EU), z najmanjšimi in največjimi vrednostmi (stolpec) ter povprečno vrednostjo (številke). EROI, včasih imenovan tudi povmjena energija na vloženo energijo (ERoEI) ali faktor izkoristka energije ali faktor pridobivanja energije in je razmerje med količino uporabne energije (energije), dobavljene iz določenega energetskega vira, in količino energije, porabljene za pridobitev tega energetskega vira.....	79
Slika 44. Potencial globalnega segrevanja (GWP) zaprte zanke PSH (NREL PSH) v primerjavi z literaturnimi vrednostmi GWP za skladiščenje z litij-ionskimi baterijami (LIB), vanadijeve redoks pretočne baterije (VRFB), skladiščenje energije s stisnjenim zrakom (CAES) in skladiščenje energije s svinčevo kislino (PbAc). Višina stolpca označuje povprečno vrednost GWP za vsako tehnologijo, črte napak pa standardni odklon GWP	79
Slika 45. Pregled modela POTEnCIA.....	102
Slika 46. Shematski prikaz arhitekture modela POLES-JRC	104

Seznam tabel

Preglednica 1. Analiza SWOT družbe CETO za konkurenčnost hidroenergetskega sektorja (s poudarkom na EU)	7
Preglednica 2. Instalirana moč turbin (v % glede na skupno 152 GW) na ravni EU, razvrščena glede na hydropower plant type (RoR, RSHP, PSH) and installed power class P (MW). For PSH the turbine's installed zmogljivost se šteje za	19
Preglednica 3. Instalirana moč turbin P v MW: skupaj in razdeljeno po kategorijah (na podlagi podatkov Eurostata za leto 2022), including installed capacity of pumps (from IHA's PSH tracking tool), za leto 2022. ROR = pretok reke, mešani = odprta zanka, čisti = zaprta zanka, PSH = črpalna hidroelektrarna, RSHP = akumulacijska hidroelektrarna	23
Preglednica 4. Letna proizvodnja energije v GWh: skupaj in razdeljeno po kategorijah, vključno z adsorbirano električno energijo za črpanje, za leto 2022 (na podlagi podatkov Eurostata za leto 2022). ROR = vodni tok, mešani = odprta zanka, čisti = zaprta zanka, PSH = črpalna hidroelektrarna, CF = faktor zmogljivosti za tradicionalno hidroelektrarno (brez PSH) in učinkovitost zaprte zanke za zaprto PSH sta prav tako izračunana. RSHP = hidroelektrarna s skladiščenjem v rezervoarju.	24
Preglednica 5. Instalirana moč velikih sistemov PSH (nad 1000 MW) po državah (leto 2023)	26
Preglednica 6. Izzivi za razvoj hidroenergije v državah članicah	30
Preglednica 7. PSH v gradnji, načrtovanju in skoraj pripravljena (leta 2022). Prazna celica = podatki niso na voljo	32
Preglednica 8. Zelo veliki jezovi (višina > 60 m) v gradnji/ načrtovanju/ skoraj pripravljene (2022). H = vodna energija, S = oskrba z vodo, I = namakanje, reg = regulacija/zadrževanje, div = preusmeritev. Diverzijski jezero je jezero, ki v celoti ali delno preusmeri tok reke iz njenega naravnega toka. Diverzijski jezovi običajno ne zadržujejo vode v rezervoarju; regulacijski jezovi uravnavajo pretok vode na območjih pod jezero.	33
Preglednica 9. Energetski potencial [gigavatne ure] neprekrivajočih se območij PSH (Evropska unija). Vse" ni enako vsoti zaščitenega potenciala in nezaščitenega potenciala, ker se nekatera območja na zaščitenih območjih lahko prekrivajo z območji zunaj zaščitenih območij (glej Prilogo 5).	36
Preglednica 10. Potencial različnih strategij za hidroenergijo in PVO (v EU, če ni navedeno)	38
Preglednica 11. Razčlenitev kapitalskih stroškov za glavne vrste hidroelektrarn v Evropi, 2021. Civilna industrija: jezero, predori, cevovodi, elektrarna (nadzemna ali podzemna), ceste. Mehanski del: turbina, vodohran, zapornice, ventili, hidravlika. Električna: generator, transformator, kabli, povezava z omrežjem	41
Preglednica 12. Število izumov in delež izumov visoke vrednosti ter mednarodna dejavnost (2019-2021). Izračunani so tudi odstotki od skupnega števila	51
Preglednica 13. Visoko citirani članki o hidroenergiji (10 % najbolj citiranih člankov, normiranih na leto in področje) ...	55
Preglednica 14. Seznam glavnih avtorjev in število člankov v obdobju 2020-2024 (posodobljeno avgusta 2024) s ključno besedo Hydropower (vir: Scopus)	55
Preglednica 15. Seznam projektov Horizon (2015-2022) in število partnerjev	57
Preglednica 16. Vodni projekti v Evropi, ki so bili ocenjeni na podlagi orodja za trajnostno rabo vodne energije ...	62
Preglednica 17. Izbor kod Prodcom kot približka za proizvodnjo hidroenergetskih tehnologij	70
Preglednica 18. Izbira oznak HS kot približka za spremljanje trgovine z vodno energijo	74
Preglednica 19. Rastoči trgi na podlagi dvoletnega povprečja sprememb neto uvoza	77
Preglednica 20. Zbirna tabela s trajnostnimi kazalniki	82

Priloga 1 Zbirna tabela virov podatkov za kazalnike CETO

Tema	Kazalnik	Glavni vir podatkov
Tehnološka zrelost stanje, razvoj in trendi	Stopnja tehnološke pripravljenosti	Znanstvena literatura
	Instalirana zmogljivost in proizvodnja energije	Eurostat, IHA, IRENA, IEA
	Stroški tehnologije	IEA, IRENA, Hydropower Europe, znanstvena literatura
	Javno in zasebno financiranje R&I	JRC
	Trendi patentiranja	JRC, znanstveni članki
	Trendi znanstvenih objav	JRC, Scopus
	Ocena razvoja projektov R&I	JRC, CORDIS
Vrednost anali za verige	Obrat	JRC
	Bruto dodana vrednost	JRC
	Okoljska in družbeno-ekonomska trajnost	Znanstvena literatura
	Podjetja in vloge v EU	JRC, spletna stran o hidroelektrarnah in jezovih
	Zaposlovanje	JRC, IRENA, EUROBSERVER
	Energetska intenzivnost in produktivnost dela	JRC
	Industrijska proizvodnja EU	JRC
Globalno trg in EU pozicioniranje	Rast svetovnega trga in ustrezne kratko- do srednjeročne napovedi	JRC, IEA
	Tržni delež EU v primerjavi z deležem tretjih držav, vključno z vodilnimi na trgu EU in vodilnimi na svetovnem trgu	JRC
	Trgovina EU (uvoz, izvoz) in trgovinska bilanca	JRC
	Učinkovitost virov in odvisnosti (v povezavi s konkurenčnostjo EU)	Znanstvena literatura

Priloga 2: podrobnosti o naložbah

Zasebni kapital se nanaša na kapitalske naložbe (lastništvo ali delež) v podjetja, ki ne kotirajo na borzi. Tvegani kapital je oblika zasebnega kapitala in vrsta financiranja, ki ga vlagatelji zagotavljajo novoustanovljenim podjetjem in malim podjetjem, ki imajo dolgoročni potencial rasti.

Kazalniki zgodnjih in poznejših faz, ki združujejo različne vrste kapitalskih naložb v izbranih podjetjih in na različnih stopnjah njihove rasti. Vključujemo samo podjetja pred tveganim kapitalom (ki so prejela angelsko ali semensko financiranje ali so stara manj kot dve leti in niso prejela financiranja) in podjetja s tveganim kapitalom (podjetja, ki so bila v določenem trenutku del portfelja podjetja za naložbe tveganega kapitala).

Kazalnik zgodnje faze vključuje naložbe pred začetkom, pospeševalnik/inkubator, angelske, semenske in zgodnje faze VCyy; vključuje tudi javna nepovratna sredstva. V času, ko podjetja pridobijo takšne naložbe, jih običajno lahko štejemo za zagonska podjetja. Čeprav se ta podjetja pogosto zanašajo na inovativne rešitve

and business models, such investments aim at financing the companies' operational expenditures in naložbenih potreb, dokler ne bodo lahko povečali svojih prihodkov in jih ne bo mogoče prilagoditi financiranju raziskav in inovacij.

Kazalnik za poznejše faze odraža naložbe v rast, namenjene povečanju obsega novoustanovljenih podjetij ali večjih MSP. Vključuje naložbe tveganega kapitala v pozni faziz, majhne združitve in prevzemeaaa ter rast/širitev zasebnega kapitala. Zelo veliki posli v zgodnji fazi (izstopajoči primeri) so prav tako prerazvrščeni med posle v poznejši fazi. Majhne združitve in prevzemi se nanašajo na pridobitev neobvladljivega deleža delujočega podjetja v podjetju pred ustanovitvijo tveganega kapitala ali tveganega kapitala s strani delujočega podjetja. Naložbe v poznejših fazah ne vključujejo: odkupnega zasebnega kapitala in javnih naložb.

Seznama podjetij vključujeta dve različni populaciji: tveganega kapitala in podjetja.

Korporativna podjetja so izbrana podjetja z ustreznimi patentnimi dejavnostmi med hčerinskimi družbami največjih vlagateljev v raziskave in razvoj iz preglednice EU o industrijskih naložbah v raziskave in razvoj.

Podjetja tveganega kapitala so izbrana na podlagi njihovega opisa dejavnosti (posebna izbira ključnih besed za vsako tehnologijo in prispevki strokovnjakov), pri čemer se ta izbira ne opira na patente. Ta izbor se skuša čim bolj osredotočiti na podjetja, ki razvijajo in izdelujejo tehnološke rešitve. Ne vključuje npr. operaterjev, razvijalcev projektov, posebnih aplikacijapplications (...)

Ti izbori vključujejo vsa identificirana podjetja za vsako tehnologijo, ne glede na njihov trenutni operativni status ali dejstvo, da imajo v tekočem obdobju ustrezne naložbe ali dejavnosti patentiranja. Podjetja tveganega kapitala so lahko npr. trenutno zagonska podjetja, lahko so bila zagonska podjetja ali večja MSP, ki so prerasla v večja zasebna podjetja, postala javna ali pa so jih prevzela večja podjetja. Morda trenutno tudi ne poslujejo več.

Ker se seznama osredotočata na dve posebni populaciji, predstavljata le podskupine vseh tržnih udeležencev v posameznih vrednostnih verigah. Vendar je cilj prikazati dinamiko nastajajočih inovatorjev s potencialom rasti in velikih podjetniških inovatorjev (ki so odgovorni za večino zasebnih naložb v raziskave in inovacije).

V podporo tej analizi število podjetij ustreza številu aktivnih podjetij v tekočem obdobju. Aktivna podjetja imajo patente visoke vrednosti v tekočem obdobju. Aktivna podjetja tveganega kapitala so bila ustanovljena (ne glede na prejete naložbe) ali so prejela naložbe (ne glede na leto ustanovitve) v tekočem obdobju.

^{yy} Običajno seriji A in B, ki se pojavita v petih letih od datuma ustanovitve podjetja

^{zz} Običajno serije od serije B do serije Z+ in/ali več kot pet let po ustanovitvi podjetja, pa tudi nerazkrite serije

^{aaa} Majhni združitve in prevzemi se nanašajo na pridobitev nenadzorovanega deleža s strani delujočega podjetja.

Priloga 3: podrobnosti o patentih

Družine patentov (izumi) vključujejo vse dokumente, ki se nanašajo na posamezen izum (npr. prijave pri več organih).

Statistični podatki se pripravijo na podlagi prosilcev, pri čemer se upoštevajo prošnje za vse urade in poti.

Kadar je s prijavo povezan več kot en prijavitelj ali tehnološka koda, se za porazdelitev prizadevanj med prijavitelji ali tehnološkimi področji uporabi deljeno štetje, s čimer se prepreči večkratno štetje. Za izum se šteje, da ima visoko vrednost, če vsebuje patentne prijave pri več kot enem uradu.

Patentne prijave, zaščitene v državi, ki ni država prijaviteljevega stalnega prebivališča, se štejejo za mednarodne.

Pri izumih visoke vrednosti se države EU obravnavajo ločeno, pri mednarodnih izumih pa se evropske države obravnavajo kot ena makro kategorija.

Klasifikacija CPC se pri IPO v Aziji ne uporablja enako dosledno. Podatke o skupnem številu izumov za azijske države je treba uporabljati previdno. To ne vpliva na statistične podatke o izumih visoke vrednosti in mednarodnih izumih.

- Družine patentov (ali izumi) merijo izumiteljsko dejavnost. Družine patentov vključujejo vse dokumente, ki se nanašajo na posamezen izum (npr. prijave pri več organih), kar preprečuje večkratno štetje. Del družine se dodeli vsakemu prijavitelju in ustrezni tehnologiji.
- Izumi visoke vrednosti (ali družine patentov visoke vrednosti) se nanašajo na družine patentov, ki vključujejo patentne prijave, vložene pri več kot enem patentnem uradu.
- Družine podeljenih patentov predstavljajo delež podeljenih prijav v eni družini. Delež je nato povezan z deleži v družini.
- Tok izumov (ali namembnost patentnih družin) označuje, kje (pri katerem nacionalnem patentnem uradu) se vložijo izumi. To se lahko uporabi za analizo mednarodnega pretoka izumov.

Priloga 4: Modeli in scenariji: POTEnCIA in POLES

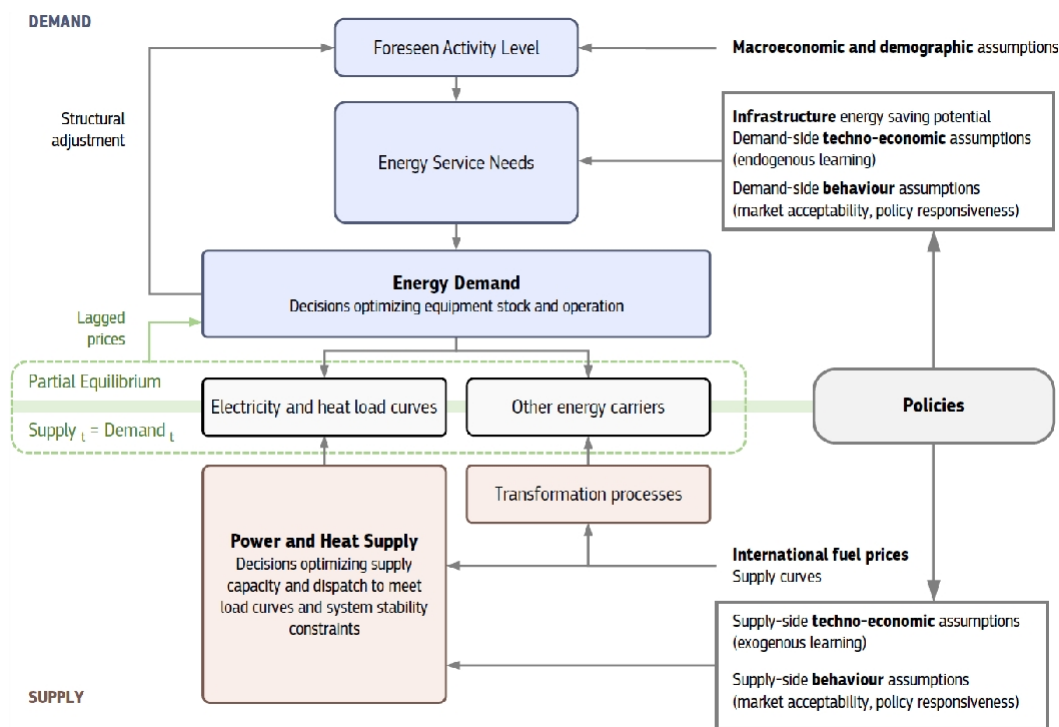
4.1.1 Pregled modela

Politično usmerjeno orodje za oceno učinka energije in podnebnih sprememb (POTEnCIA) je simulacijski model energetskega sistema, namenjen primerjavi alternativnih poti za energetski sistem EU, ki zajema oskrbo z energijo in vse sektorje povpraševanja po energiji (industrija, stavbe, promet in kmetijstvo). Razvit v house by the European Commission's Joint Research Centre (JRC) to podpira analizo politik EU, POTEnCIA pa omogoča skupno vrednotenje politik, usmerjenih v tehnologijo, skupaj s politikami, ki obravnavajo odločanje uporabnikov energije. V ta namen:

- S simuliranjem odločanja ob nepopolnem predvidevanju na visoki ravni tehnično-ekonomskih podrobnosti POTEnCIA realistično prikazuje sprejemanje in delovanje novih energetskih tehnologij v različnih političnih režimih;
- S kombinacijo letnih časovnih korakov za načrtovanje in naložbe na strani povpraševanja z urno ločljivostjo za energetski sektor POTEnCIA zagotavlja visoke assess rapid structural changes in the EU's energy system; časovne podrobnosti za ustrezno
- S sledenjem letnim obdobjem zaloge kapitala za ponudbo in povpraševanje po energiji POTEnCIA natančno predstavlja starost in zmogljivost nameščene energetske opreme ter omogoča oceno odvisnosti od poti, strategij za naknadno opremljanje ali umik iz uporabe ter tveganj za nasedla sredstva.

Osrednji pristop modeliranja v okviru projekta POTEnCIA (slika 45; podrobno v Mantzos et al., 2017, 2019^{165,166}) se osredotoča na ekonomsko pogojeno delovanje energetskih trgov in ustrezne interakcije med ponudbo in povpraševanjem na podlagi rekurzivne dinamične metode delnega ravnovesja. Kot tak ta pristop za vsak sektor ponudbe in povpraševanja po energiji predpostavlja reprezentativnega agenta, ki skuša maksimirati svojo korist ali minimizirati svoje stroške ob upoštevanju omejitev, kot so razpoložljive tehnologije in goriva, vedenjske preference in podnebne politike.

Slika 45. Model POTEnCIA na prvi pogled.



Vir: (Mantzos et al., 2019)

Ta temeljni pristop modeliranja se izvaja za vsako državo članico EU posebej, da se upoštevajo razlike v makroekonomskih strukturah in strukturah energetskega sistema, tehnoloških predpostavkah in omejitvah virov. Izvajanje nacionalnih modelov je podprto s prostorsko eksplicitnimi analizami za realistično opredelitev potencialov obnovljivih virov energije in stroškov infrastrukture za prevoz vodika in CO₂. Tipični rezultati modela so na voljo v letnih časovnih korakih v obdobju 2000-2070; zgodovinski podatki (2000-2021) so umerjeni na Eurostatove in druge uradne statistične podatke EU, da se zagotovijo natančni začetni pogoji z uporabo posodobljene različice integrirane zbirke podatkov JRC o evropskem energetskega sistema (JRC-IDEES; Rózsai et al., 2024).¹⁶⁷

4.1.2 Scenarij POTEnCIA CETO 2024

Projekcije tehnologij, ki jih zagotavlja model POTEnCIA, so pridobljene na podlagi scenarija podnebne nevtralnosti, ki je usklajen s splošnimi cilji zmanjšanja toplogrednih plinov v okviru evropskega zelenega dogovora. Po tem scenariju se neto emisije toplogrednih plinov v EU do leta 2030 zmanjšajo za 55 %, do leta 2040 pa za 90 % v primerjavi z letom 1990, do leta 2050 pa se neto emisije v EU izničijo. Da bi ustrezno modelirali uporabo različnih tehnologij v okviru te trajektorije dekarbonizacije, scenarij vključuje predstavitev splošnih podnebnih in energetske politik na ravni EU, kot je določanje cen emisij v okviru sistema trgovanja z emisijami, ter ključnih instrumentov politike, ki odločilno vplivajo na uporabo posebnih tehnologij. Deleži porabe energije in obnovljivih virov energije za leto 2030 na primer odražajo cilje direktive EU o obnovljivih virih energije in direktive o energetske učinkovitosti. Podobno je sprejetje alternativnih pogonskih sklopov in goriv v prometu skladno s posodobljenimi standardi emisij CO₂ v cestnem prometu ter cilji uredb ReFuelEU o letalstvu in FuelEU o pomorstvu. Podrobnejši opis scenarija POTEnCIA CETO 2024 bo na voljo v prihodnjem poročilu (Neuwahl et al., 2024⁵⁴).

4.2 Model POLES-JRC

4.2.1 Pregled modela

POLES-JRC (Prospective Outlook for the Long-term Energy System, slika 46) je globalni energetski model, ki je zelo primeren za oceno razvoja povpraševanja po energiji in njene ponudbe v glavnih svetovnih gospodarstvih s prikazom mednarodnih energetskih trgov. Gre za simulacijski model, ki temelji na rekurzivni metodi dinamičnega delnega ravnovesja. POLES-JRC gostuje v Skupnem raziskovalnem središču in je bil zasnovan za ocenjevanje svetovnih in nacionalnih podnebnih in energetskih politik.

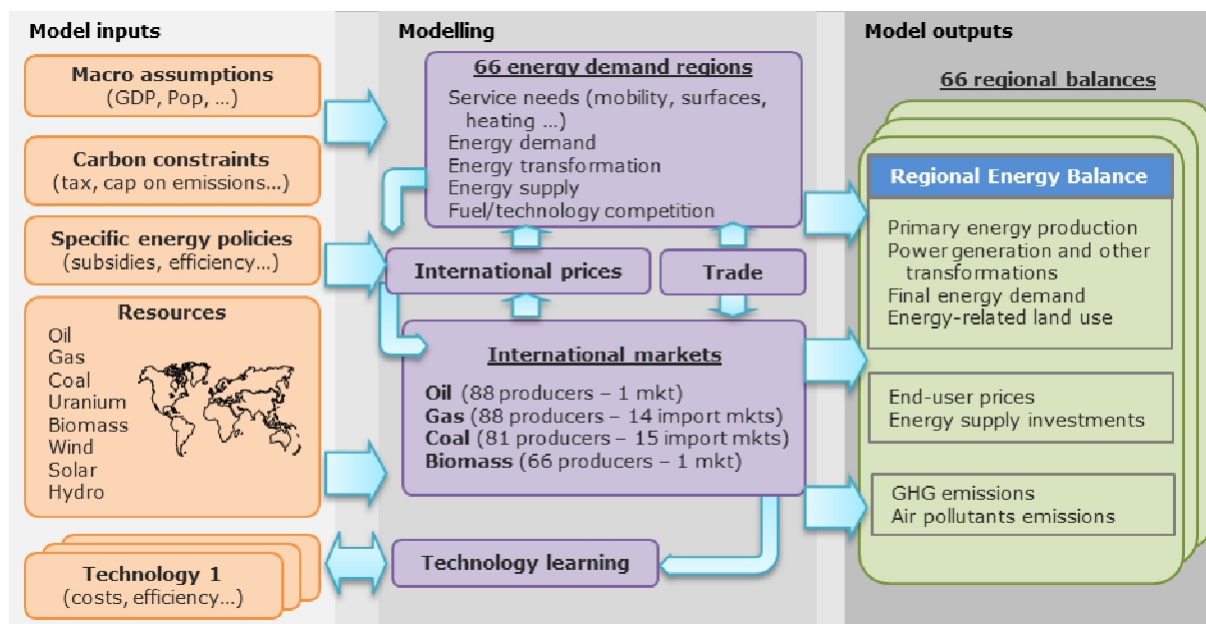
POLES-JRC pokriva celoten energetski sistem, od primarne oskrbe (fosilna goriva, obnovljivi viri energije) do pretvorbe (energija, biogoriva, vodik in goriva, pridobljena iz vodika, kot so sintetična goriva) in končnega sektorskega povpraševanja (industrija, stavbe, promet). Mednarodni trgi in cene energetskih goriv se izračunavajo endogeno. Visoka raven regionalnih podrobnosti (66 držav in regij, ki pokrivajo svet s popolnimi energetskimi bilancami, vključno z vsemi podrobnimi državami OECD in G20) in opis sektorjev omogočata oceno širokega spektra energetskih in podnebnih politik v vseh regijah v doslednem globalnem okviru: dostop do virov energije, davčna politika, energetska učinkovitost, tehnološke preference itd. POLES-JRC deluje na letni ravni do leta 2100 in se vsako leto posodobi z najnovejšimi informacijami.

Model POLES-JRC, ki se uporablja za projekt CETO, je posebej izboljššan in spremenjen, da zajame učne učinke tehnologij čiste energije.

Rezultati POLES-JRC so objavljeni v seriji letnih publikacij "Global Climate and Energy GECO. Poročila Outlooks" – GECO skupaj s podrobnimi bilancami energije in toplogrednih plinov po državah ter spletni vmesnik za vizualizacijo je na voljo na: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/scientific-activities-z/geco_en

Podrobna dokumentacija modela POLES-JRC je na voljo v (Després et al., 2018).¹⁶⁸

Slika 46. Shematski prikaz arhitekture modela POLES-JRC.



Vir: Model POLES-JRC

4.2.2 POLES-JRC Opis modela

Napajalni sistem

Energetski sistem upošteva vse ustrezne tehnologije za proizvodnjo električne energije, vključno s tehnologijami fosilne, jedrske in obnovljive energije. Vsaka tehnologija je modelirana na podlagi njenih trenutnih zmogljivosti in tehnično-ekonomskih značilnosti. Razvoj stroškov in učinkovitosti se modelira z učenjem tehnologije.

Kar zadeva energetske tehnologije, ki jih zajema CETO, model vključuje sončno energijo (fotonapetostne elektrane za gospodinjstva in gospodinjstva, koncentrirano sončno energijo), vetrno energijo (na obali in na morju), hidroenergijo in energijo oceanov. Poleg tega so upoštevane tehnologije čiste toplotne energije s parnimi turbinami na biomaso, uplinjanjem biomase, energetskimi tehnologijami CCS in geotermalno energijo. Poleg tega so vključene tudi tehnologije shranjevanja električne energije, kot so črpalne hidroelektrane in baterije.

Pri sončni in vetrni energiji se spremenljiva proizvodnja upošteva z reprezentativnimi dnevi z urnimi profili. Za vse obnovljive vire energije se upoštevajo regionalni potenciali virov.

Povpraševanje po električni energiji

Povpraševanje po električni energiji se izračuna za vse sektorje ob upoštevanju urnih nihanj z uporabo reprezentativnih dni. Tehnologije čiste energije, ki uporabljajo električno energijo, vključujejo toplotne črpalke (ogrevanje in hlajenje), baterije in gorivne celice v prometu ter elektroliserje.

Upravljanje in načrtovanje elektroenergetskega sistema

Upravljanje elektroenergetskega sistema razporeja proizvodnjo po tehnologijah za vsako uro reprezentativnih dni, s čimer zagotavlja, da tehnologije za dobavo in skladiščenje zadostijo celotnemu povpraševanju, vključno z uvozom in izvozom iz omrežja. Pri načrtovanju zmogljivosti se upoštevajo obstoječa mešanica energetskih virov, pričakovani razvoj povpraševanja po električni energiji ter tehnično-ekonomske značilnosti energetskih tehnologij.

Vodik

POLES-JRC upošteva več načinov proizvodnje vodika: (i) nizkotemperaturni elektrolizatorji, ki uporabljajo energijo iz namenskih sončnih, vetrnih in jedrskih elektrarn ter iz omrežja, (ii) parni reforming zemeljskega plina (s CCS in brez njega), (iii) uplinjanje premoga in biomase (s CCS in brez njega), (iv) piroliza plina in biomase ter (v) visokotemperaturna elektroliza z uporabo jedrske energije.

Vodik se uporablja kot gorivo v vseh sektorjih, vključno z industrijo, prometom, proizvodnjo električne energije in kot surovina za proizvodnjo pogonskih goriv (plinastih in tekočih pogonskih goriv) ter amoniaka. Kljub temu se modelira trgovina z vodikom, pri čemer se upošteva prevoz vodika z različnimi sredstvi (cevod, ladja, tovornjak) in oblikami (pod tlakom, tekoči, pretvorjeni v amoniak).

Bioenergija

POLES-JRC prejema informacije o rabi tal in kmetijstvu prek mehke povezave z modelom GLOBIOM-G4M (IIASA, 2024¹⁶⁹). Ta pristop omogoča ustrezno modeliranje povpraševanja po bioenergiji in ponudbe biomase z upoštevanjem potenciala biomase za energijo, proizvodnih stroškov in odzivnosti na cene ogljika.

Biomasa se uporablja za proizvodnjo električne energije, proizvodnjo vodika in proizvodnjo 1st in 2nd tekočih biogoriv.

zajemanje, izkoriščanje in shranjevanje ogljika (CCUS)

POLES-JRC uporablja tehnologije CCUS v:

- Proizvodnja električne energije: napredni premog z uporabo CCS, uplinjanje premoga in biomase z uporabo CCS ter plinski kombinirani cikel z uporabo CCS.

- Proizvodnja vodika: Plinski reforming s CCS, uplinjanje premoga in biomase s CCS ter piroliza plina in biomase.
- Neposredno zajemanje zraka (DAC), pri katerem se CO₂ shranjuje ali uporablja za proizvodnjo sintetičnih goriv (plinastih ali tekočih).
- Proizvodnja jekla in cementa v industrijskem sektorju.
- Proizvodnja biogoriv druge generacije.

Pri uvajanju tehnologij CCS se upoštevajo geološki skladiščni potenciali v posameznih regijah.

Endogeno tehnološko učenje

Model POLES-JRC je bil izboljšán, da bi zajel učinke učenja tehnologij čiste energije. Za zajem teh učinkov je bil za tehnologije in tehnološke podkomponente uporabljen enofaktorski pristop učenja z delom (LBD), katerega cilj je bil endogenizirati razvoj tehnoloških stroškov.

POLES-JRC upošteva pretekle statistične podatke in predpostavke o razvoju stroškov in zmogljivosti energetskih tehnologij do zadnjega razpoložljivega leta (to poročilo: 2022/2023). Na podlagi leta in praga zmogljivosti model preide s privzete časovne vrste na endogeno modeliranje z enofaktorskim pristopom LBD. V okviru LBD stopnja učenja predstavlja odstotno spremembo stroškov energetske tehnologije na podlagi podvojitve zmogljivosti energetske tehnologije.

Ta splošni pristop se uporablja na ravni komponent, da se zajamejo tudi učinki prelivanja. Na primer, uplinjevalnik se uporablja kot sestavni del več tehnologij za proizvodnjo električne energije (npr. integrirani uplinjevalni kombinirani cikel, IGCC) in več tehnologij za proizvodnjo vodika (npr. uplinjanje premoga in biomase). Zato pristop LBD, ki temelji na komponentah, omogoča modeliranje učinkov prelivanja ne le med tehnologijami, temveč tudi med sektorji. Omogoča tudi oceno stroškov za nove tehnologije, za katere še ni preteklih izkušenj.

Poleg tega je za vsako komponento določen najnižji strošek, ki označuje najnižji naložbeni strošek komponente in služi kot omejitev za zmanjšanje stroškov z endogenim učenjem. Zmanjševanje stroškov z učenjem v sistemu POLES-JRC se upočasni, ko se naložbeni stroški približajo najnižjim stroškom.

Zgoraj opisana metoda ne velja le za stroške naložbe v energetske tehnologije čez noč, temveč tudi za stroške obratovanja in vzdrževanja (OM), ki se z izboljševanjem tehnologij prav tako zmanjšujejo, ter za učinkovitost. V modelu se stroški OM zmanjšujejo sinhrono z zmanjševanjem skupnih naložbenih stroškov tehnologije. Učinkovitost obnovljivih virov energije je implicitno upoštevana pri učenju naložbenih stroškov in upoštevanih potencialih obnovljivih virov energije. Za večino tehnologij se učinkovitost modelira endogeno.

4.2.3 Globalni scenarij CETO 2°C 2024

Podatki o globalnem scenariju, predstavljeni v tehnoloških poročilih CETO 2024, se nanašajo na scenarij 2 °C, ki ga modelira model POLES-JRC v spremenjeni in izboljšani različici za obravnavo posebnih vprašanj, pomembnih za projekt CETO.

Globalni scenarij CETO 2°C 2024 in njegova posebna konfiguracija modela POLES-JRC sta podrobno opisana v prihodnjem poročilu "*Impacts of enhanced learning for clean energy technologies on global energy system scenario*" (Schmitz et al., 2024⁵⁵).

Namen *globalnega* scenarija CETO 2°C 2024 je omejiti dvig globalne temperature na 2°C ob koncu stoletja. Poganja ga enotna globalna cena ogljika za vse regije, ki dovolj zmanjša emisije, da se globalno segrevanje omeji na 2 °C. Ta scenarij je torej stiliziran prikaz poti do temperaturnih ciljev. Ta scenarij ne upošteva finančnih transferjev med državami za izvajanje ukrepov za blažitev podnebnih sprememb. Gre za poenostavljen prikaz idealnega

primer, ko močno mednarodno sodelovanje privede do usklajenih prizadevanj za zmanjšanje emisij na svetovni ravni; njegov namen ni ponoviti rezultate napovedanih ciljev in obljub, ki se med državami zelo razlikujejo glede na ambicije.

Kot izhodišče za vse regije upošteva že uzakonjene energetske in podnebne politike (od junija 2023), vendar zaveza in ciljev podnebne politike, oblikovanih v nacionalno določenih prispevkih (NDC) in dolgoročnih strategijah (LTS), izrecno ne upošteva. Zlasti svežnja EU Fit for 55 in RePowerEU sta vključena v ureditev politik za EU. Napovedani cilji glede emisij za leti 2040 in 2050 za EU niso upoštevani.

Scenarij CETO 2°C 2024 se bistveno razlikuje od scenarija CETO 2°C 2023.

ki se uporabljajo v tehnoloških poročilih družbe CETO v letu 2023 v različnih vidikih :^{bbb}

- Različica modela POLES-JRC, ki se uporablja za scenarij Global CETO 2°C, je bila dodatno izboljšana in spremenjena, da bi zajela učinke endogenega učenja tehnologij čiste energije, poleg tega pa je bilo podrobneje predstavljenih več tehnologij, npr. DAC (sestava tehnologij obnovljivih virov, baterij in enote DAC), tehnologije pretvorbe goriva (za prevoz vodika) in baterije v prometu.
- Tehnično-ekonomski parametri so bili temeljito pregledani in posodobljeni ob upoštevanju strokovnega znanja avtorjev tehnoloških poročil družbe CETO.

Posledično se v scenariju CETO 2°C 2024 pojavijo velike razlike v scenarijih glede DAC, pogonskih goriv, tehnologij CCS, vetrne energije in energije oceanov.

4.3 Razlike za scenarije CETO 2024 - POLES-JRC proti POTEnCIA

Rezultati obeh modelov so odvisni od nacionalnih in mednarodnih tehnično-ekonomskih predpostavk, stroškov goriva in političnih spodbud, kot so cene ogljika. Vendar se ta dva modela energetskega sistema JRC po eni strani razlikujeta po obsegu in stopnji podrobnosti, po drugi strani pa opredelitve scenarijev POTEnCIA in POLES-JRC, predstavljene v tem dokumentu, sledijo različnim logikam, kar vodi do različnih rezultatov scenarijev:

- Scenarij Global CETO 2°C 2024 (POLES-JRC) temelji na globalni ceni ogljika za omejitev globalnega segrevanja na 2 °C, pri čemer so modelirane sprejete podnebne politike, vendar dolgoročne zaveze in cilji podnebne politike niso izrecno upoštevani. Rezultati scenarijev so predstavljeni za celotno svetovno obdobje do leta 2100.

Scenarij POTEnCIA CETO 2024 je scenarij dekarbonizacije, ki sledi trajektoriji za EU27's net GHG emissions aligned with the general objectives of the European Climate Law (ECL) ob upoštevanju številnih sektorskih zakonodajnih aktov. Rezultati scenarijev so predstavljeni za EU-27 do leta 2050.

^{bbb} Opis globalnega scenarija CETO 2°C za leto 2023 je na voljo v Prilogi 3 (Chatzipanagi et al., 2023).¹⁷⁰

Priloga 5: Potencial PSH

Zemljevid RE100 (re100.anu.edu.au) vključuje naslednje podatkovne nize:

- Zelena polja Atlas, ki temelji na parih rezervoarjev v suhem žlebu (dva nova rezervoarja zunaj reke na nezazidanem zemljišču);
- Bluefield Atlas, ki uporablja obstoječe jezero ali rezervoar za vzpostavitev sistema zunaj reke;
- Brownfield Atlas, pri katerem se obstoječa rudniška jama, jezero ali jezero za odlaganje jalovine ponovno uporabi za vzpostavitev sistema izven reke;
- Atlas oceanov, ki združuje zgornje rezervoarje suhih žlebov z oceanom, da se ustvari sistem izven reke;
- sezonski atlas (odprta zanka), ki združuje zelo velike rezervoarje s suhimi žlebovi z rekami, ki imajo velike letne pretoke vode (primer takega objekta je projekt jezera Onslow, ki je bil predlagan na Novi Zelandiji, vendar ga je nova vlada opustila). vlada: <https://www.mbie.govt.nz/building-and-energy/energy-and-natural-resources/low-emissions-economy/nz-battery>)
- Turkey's Nest Atlas which uses "ring-dams" for one reservoir, allowing reservoirs to be built around natural depressions or on flat land. Turkey's Nest reservoirs may je mogoče združiti z rezervoarji v suhih grapah, obstoječimi jezeri/rezervoarji/ zelo velikimi rekami ali rudniškimi jamami/jezeri/ribniškimi ribniki, da se ustvari sistem izven reke.
- Za območja zunaj zavarovanih območij in območja z zbiralniki, ki se križajo z zavarovanimi območji, so na voljo ločeni podatkovni nizi.

Izračunali so tudi neprekrivajoči se potencial skladiščenja v vseh atlasih za 27 držav članic Evropske unije (brez čezmorskih držav in ozemelj), povzetek pa je v spodnjih preglednicah. Skupno je v državah članicah Evropske unije približno 26 000 neprekrivajočih se lokacij PHES z 2,2 milijona gigavatnih ur potenciala za shranjevanje energije.

Nekaj opomb o mizi:

- "Vse" preveri, ali se potencialno ne prekriva z območji, ki so tako na zaščitenih kot na nezaščitenih območjih. Ni enak vsoti zavarovanega in nezavarovanega potenciala, ker se lahko nekatera območja na zavarovanih območjih prekrivajo z območji zunaj zavarovanih območij (npr. en rezervoar je na zavarovanem območju, drugi pa zunaj njega).
- "Seštevki" preveri, ali se potencial območij v vseh vrstah atlasa ne prekriva. Ni enak vsoti potencialov v vsakem atlasu, saj se lahko lokacije v atlasih prekrivajo (npr. rezervoar s suhim žlebom, ki bi ga lahko povezali z drugim rezervoarjem s suhim žlebom v atlasu Greenfield in z obstoječim rezervoarjem v atlasu Bluefield).

Stiki z EU

Osebno

Po vsej Evropski uniji je na stotine centrov Europe Direct. Naslov najbližjega centra lahko najdete na spletu (european-union.europa.eu/contact-eu/meet-us_en).

Po telefonu ali pisno

Europe Direct je storitev, ki odgovarja na vaša vprašanja o Evropski uniji. Na to službo se lahko obmete:

- po brezplačni telefonski številki: 00 800 6 7 8 9 10 11 (nekateri operaterji lahko te klice zaračunajo),
- na naslednji standardni številki: +32 22999696,
- prek naslednjega obrazca: european-union.europa.eu/contact-eu/write-us_en.

Iskanje informacij o EU

Spletna stran

Informacije o Evropski uniji v vseh uradnih jezikih EU so na voljo na spletišču Europa (european-union.europa.eu).

Publikacije EU

Publikacije EU si lahko ogledate ali naročite na spletni strani op.europa.eu/en/publications. Več izvodov brezplačnih publikacij lahko dobite pri Europe Direct ali lokalnem dokumentacijskem centru (european-union.europa.eu/contact-eu/meet-us_en).

Zakonodaja EU in povezani dokumenti

Dostop do pravnih informacij iz EU, vključno z vso zakonodajo EU od leta 1951 v vseh uradnih jezikovnih različicah, je na voljo na spletni strani EUR-Lex (eur-lex.europa.eu).

Odprti podatki EU

Portal data.europa.eu omogoča dostop do odprtih zbirk podatkov institucij, organov in agencij EU. Te lahko brezplačno prenesete in ponovno uporabite v komercialne in nekomercialne namene. Portal omogoča tudi dostop do številnih zbirk podatkov iz evropskih držav.

Science for policy

Skupno raziskovalno središče (JRC) zagotavlja neodvisno, na dokazih temelječe znanje in znanost ter podpira politike EU, da bi pozitivno vplivale na družbo.



Znanstveno vozlišče EU

Skupni raziskovalni center.ec.europa.eu



Publications Office
of the European Union