

UNIVERZA V LJUBLJANI
EKONOMSKA FAKULTETA

MAGISTRSKO DELO

**PREGLED NOVIH TEHNOLOGIJ ZA PROIZVODNJO
ELEKTRIČNE ENERGIJE IN OCENA UVAJANJA IZBRANIH
TEHNOLOGIJ V EU**

Ljubljana, marec 2024

ANDREJ ROZMAN

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Andrej Rozman, študent Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, avtor predloženega dela z naslovom Pregled novih tehnologij za proizvodnjo električne energije in oceno uvajanja izbranih tehnologij v EU, pripravljenega v sodelovanju s svetovalcem izr. prof. dr. Matejem Švigljem

IZJAVLJAM

1. da sem predloženo delo pripravil samostojno;
2. da je tiskana oblika predloženega dela istovetna njegovi elektronski obliki;
3. da je besedilo predloženega dela jezikovno korektno in tehnično pripravljeno v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, kar pomeni, da sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev oziroma avtoric, ki jih uporabljam oziroma navajam v besedilu, citirana oziroma povzeta v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani;
4. da se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del (v pisni ali grafični obliki) kot mojih lastnih – kaznivo po Kazenskem zakoniku Republike Slovenije;
5. da se zavedam posledic, ki bi jih na osnovi predloženega dela dokazano plagiatorstvo lahko predstavljalo za moj status na Ekonomski fakulteti Univerze v Ljubljani v skladu z relevantnim pravilnikom;
6. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v predloženem delu in jih v njem jasno označil;
7. da sem pri pripravi predloženega dela ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;
8. da soglašam, da se elektronska oblika predloženega dela uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
9. da na Univerzo v Ljubljani neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve predloženega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja predloženega dela na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija Univerze v Ljubljani;
10. da hkrati z objavo predloženega dela dovljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v njem in v tej izjavi;
11. da sem preveril verodostojnost informacij, ki izhajajo iz zapisov na podlagi uporabe orodji umetne inteligence

V Ljubljani, dne _____

Podpis študenta: _____

KAZALO

1	UVOD	1
2	ELEKTRIČNA ENERGIJA	3
2.1	Pridobivanje električne energije iz neobnovljivih virov	3
2.2	Pridobivanje električne energije iz obnovljivih virov	5
3	PREGLED TRGA Z ELEKTRIČNO ENERGIJO	7
3.1	Struktura virov proizvodnje električne energije	8
3.2	Napovedi porabe električne energije v EU	17
4	PREGLED IZBRANIH TEHNOLOGIJ ZA PRIDOBIVANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE.....	21
4.1	Gorivna celica.....	21
4.2	Rafinerija sončne svetlobe.....	26
4.3	Manjše sončne elektrarne	31
4.4	Solarna okna.....	36
4.5	Pločnik.....	38
4.6	Jedrska fisija in fuzija	42
4.6.1	Jedrska fuzija (spajanje atomov)	42
4.6.2	Jedrska fisija (deljenje atomov).....	45
5	OCENA UVAJANJA IZBRANIH TEHNOLOGIJ V EU.....	48
5.1	Takojšnje uvajanje tehnologije.....	48
5.2	Uvajanje tehnologije v bližnji prihodnosti	51
5.3	Uvajanje tehnologije v daljni prihodnosti	52
6	SKLEP.....	53
	LITERATURA IN VIRI	54

KAZALO TABEL

Tabela 1: Tehnične lastnosti različnih vrst gorivnih celic	24
Tabela 2: Primerjava tehnologij za takojšnjo implementacijo z obstoječimi	50

KAZALO SLIK

Slika 1: Svetovna poraba primarne energije v letih od 1965 do 2022 [EJ].....	8
Slika 2: Poraba primarne energije v letih od 2000 do 2019 in napoved do leta 2050.....	9
Slika 3: Poraba primarne energije v svetu leta 2021, po državah (v EJ).....	10
Slika 4: Pet največjih porabnic primarne energije v Evropi leta 2021 (EJ)	11
Slika 5: Neto poraba električne energije v svetu med leti 1980 in 2021	12
Slika 6: Poraba električne energije v svetu med leti 2019 in 2021	13
Slika 7: Kapaciteta električne energije po svetu v letu 2021 [GW]	14
Slika 8: Kapaciteta svetovne električne energije iz obnovljivih virov 2021	15
Slika 9: Proizvedena električna energija iz obnovljivih virov leta 2021 in za leto 2027	16
Slika 10: Mešanica virov proizvodnje električne energije v EU v letu 2022.....	18
Slika 11: Mešanica obnovljivih virov električne energije v EU	18
Slika 12: Proizvodnja električne energije z uporabo jedrske energije (v GWh).....	19
Slika 13: Skupna poraba elektrike v Evropi od leta 2000 do 2028 (v milion kWh)	20
Slika 14: Sestava in delovanje gorivne celice	22
Slika 15: Sestavni deli in delovanje tehnologije rafinerije sončne svetlobe	28
Slika 16: Sestava in delovanje tehnologije sončne celice	32
Slika 17: Sestavni del mehanskega pločnika.....	39
Slika 18: Postavitev mehanskega pločnika	40
Slika 19: Delovanje jedrske fuzije z uporabo laserske tehnologije.....	43

SEZNAM KRATIC

CO₂ – ogljikov dioksid
EJ – eksajoule
EU – Evropska unija
GW – gigavat
H₂O – voda
I – električni tok
kWh – kilovatna ura
MJ – megajoule
MWh – megavatna ura
OVE – obnovljivi viri energije
P – električna moč
T – temperatura
TWh – teravatna ura
U – električna napetost
w – energija

1 UVOD

Države si v želji po ohranitvi naravnega okolja prizadevajo zmanjšati svoj ogljični odtis, povečati pridelavo lokalnih dobrin, zmanjšati uporabo plastike in plastične embalaže, doseči samooskrbo ter trajnost. Javnost je na okolje postala pozornejša, ko so v letu 2015 razkrili prikrito napako v avtomobilih, znamke Volkswagen, ki je s prilagajanjem svojih testov trdil, da so izpusti iz njihovih avtomobilov čistejši, kot naj bi bili v resnici (Hotten, 2015). Čeprav smo se ljudje že dlje časa zavedali, da je okolje pomembno in ga je treba ohraniti ter ščititi, pa se še posebej v zadnjem času opažajo spremembe, ki vodijo k izboljšanju na različnih področjih. Pomembno je, da se spremembe odvijajo na več področjih hkrati, saj s takšnim načinom zagotavljamo celostno spremembo za boljšo prihodnost. Med najpomembnejšimi, v današnjem svetu digitalizacije, je področje proizvodnje električne energije. Hitri pogled sprememb v porabi električne energije nam pokaže, da se je poraba električne energije v Sloveniji, med letoma 2010 in 2021, povečala za 8,35 % (Eurostat Statista, 2021).

Trenutno poznamo več vrst pridobivanja električne energije. Zelo na široko bi jih lahko razdelili na tiste vrste pridobivanja električne energije, ki za svoje delovanje uporabljajo obnovljive vire in tiste, ki za svoje delovanje uporabljajo neobnovljive vire. Pri slednjih gre predvsem za uporabo sistemov, ki pri svojem delovanju uporabljajo goriva, katerih količina je omejena. Mednje spadajo jedrske elektrarne, ki kot gorivo uporabljajo uranovo rudo in termoelektrarne, ki za svoje delovanje uporabljajo premog, nafto ali zemeljski plin. Pri njihovem delovanju se poleg primarnega proizvoda, električne energije, proizvaja tudi toplota. Ta toplota se lahko koristno uporabi v namene ogrevanja, v nekaterih primerih pa to vseeno ni mogoče in se odvečna toplota odvaža v ozračje. Pri tem sočasno izpuščamo tudi delce, ki so škodljivi, še posebej v primeru, če elektrarna ne uporablja razžvepljevalnika. V drugo skupino spadajo načini proizvodnje električne energije, ki za svoje delovanje uporabljajo obnovljive vire. Mednje spadajo hidroelektrarne, vetrne elektrarne, elektrarne na biomaso, sončne elektrarne in druge. Vseeno pa moramo upoštevati nekaj negativnih, tudi okolju škodljivih, dejavnikov, ki se pojavijo pri uporabi elektrarn na obnovljive vire, kot so poseg v naravo in s tem prilagajanje življenjskih pogojev živali, hrup, nepravilno recikliranje izrabljenih delov elektrarn v primeru sončnih elektrarn in drugi. Tako se pokaže pomembnost določanja meje, ki označuje, kdaj se električni energiji, pridobljeni iz obnovljivih virov, upravičeno lahko reče zelena energija (Al Bazed in drugi, 2017; Alves Dias in drugi, 2018; European Commission Staff, 2020; Ford in drugi, 2017; Goldemberg, 2012; European Commission, 2022; Qvist, 2014; Teräsvirta in drugi, 2020).

Zaradi povečevanja porabe električne energije in želje po izboljšanju trenutnih okolijskih razmer, poskušamo povečevati proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov, ki v teoriji predstavljajo neomejeno količino energije, ter zmanjševati proizvodnjo električne energije iz neobnovljivih virov. Učinkovitost sistemov z obnovljivimi viri pa še ni dovolj visoka, še posebej če jih primerjamo s sistemi neobnovljivih virov. Vseeno pa ves čas iščemo

nove rešitve in izboljšave za zmanjšanje energetske krize in zato so se v zadnjem času pojavili novi načini za pridobivanje električne energije (Grahek, 2014; Jones in drugi, 2019).

Med nekaterimi potencialnimi možnostmi za pomoč in uporabo sistemov z uporabo obnovljivih virov so rafinerija sončne svetlobe, manjše sončne elektrarne, jedrska fisija pri kateri je možna uporaba manjših reaktorjev (Ramana, 2022; Whitfield in Temple, 2010) in jedrska fuzija, različne vrste gorivnih celic, solarna okna in pločnik, ki mehansko generira električno energijo (Himanshu in drugi, 2013; Pavlin, 2015).

Poseben primer navedenih tehnologij sta jedrska fisija in jedrska fuzija, saj ne spadata med obnovljive vire energije, vseeno pa sta klasificirani kot nizkoogljična vira energije (Kapoor, 2015). Pri tem pa opazimo, da je jedrska energija zelo primerna za prehod na brezogljično pridobivanje električne energije, pri čemer bi za pridobivanje električne energije uporabljali le obnovljive vire energije. Velika pomembnost se pojavi pri jedrski fuziji, saj kot ena novjših tehnologij obljublja večjo varnost in v teoriji proizvaja ogromne količine električne energije, v primerjavi s količino uporabljenega goriva (Ghoranneviss in Salar Elahi, 2014; Kapoor, 2015; Ongena, 2022; Riordon, 2023; Schieck, 2013; Waldrop, 2014).

Pred uporabo in implementacijo novih tehnologij, je treba proučiti in razumeti različna področja, kot so okolijska nevtralnost izbrane tehnologije, prednosti in slabosti izbrane tehnologije, njena konstrukcija in potrebe za delovanje, količina možne proizvedene električne energije ter optimalni čas delovanja. Pri pregledu in proučevanju pa se porajajo tudi pomembna vprašanja na področju tehnologije v zvezi z naprednostjo raziskav izbrane tehnologije, področja najlažje implementacije in možnosti povezovanja nove tehnologije z obstoječimi. V vsaki analizi pa so eni od najpomembnejših vidikov finančni vidiki, še posebej vidik stroškov za izdelavo in proizvodnjo električne energije z izbrano tehnologijo (Al Bazed in drugi, 2017; European Commission, 2022; Jašarević, 2018; Krivec, 2022; Petko, 2013; Sijarić, 2021; Stropnik, 2020).

Namen magistrskega dela je pregled možnosti uporabe novih tehnologij za proizvodnjo električne energije in ocena implementacije izbranih tehnologij v Evropski uniji (v nadaljevanju tudi EU). Analizirali bomo obetavne tehnologije, ki so trenutno na voljo, pregledali, katere od njih so dandanes že v uporabi in katere od njih so še vedno v fazi razvoja. Poleg tega bomo analizirali njihove prednosti in slabosti v primerjavi z drugimi sistemi za pridobivanje električne energije. Pregledali bomo tudi, kako bi izbrane tehnologije lahko uporabili ter ali bi bilo slednje možno in smiselno implementirati tudi v EU.

Cilj magistrskega dela je potrditi ali ovreči možnosti implementacije izbranih tehnologij za proizvodnjo električne energije v EU. S tem delom želimo tako predstaviti novodobne možnosti za pridobivanje električne energije, kot tudi njihovo dejansko upravičenost za izvedbo in uporabo.

Magistrsko delo bo pripomoglo k razumevanju trenutnega stanja na področju pridobivanja električne energije. Poleg tega pa bo to delo lahko služilo kot orodje za nadaljnje raziskave

v smeri novodobnih in učinkovitih tehnologij, ki jih lahko implementiramo in s tem povečamo proizvodnjo električne energije ter tako pomagamo pokriti vedno večje potrebe po električni energiji ob hkratni razbremenitvi okolja.

Glavna uporabljena metodologija v magistrskem delu bo opisna metoda, poleg tega pa bomo uporabljali tudi analitično metodo in metodo kompilacije. Pri raziskovanju za magistrsko delo, bomo pregledali in preučili relevantno literaturo slovenskih in tujih avtorjev, znanstvenih člankov in raziskav ter dokumentov s področja novodobnih tehnologij. Omejili se bomo le na izbrane tehnologije za proizvodnjo električne energije ter jih podrobneje preučili. Končne ugotovitve se nanašajo na študij relevantne literature v času pisanja magistrskega dela, zato predpostavljamo tehnološke in znanstvene omejitve glede na trenutno naprednost razvoja.

V prvem poglavju se bomo osredotočili na značilnosti električne energije, s poudarkom na njenem pridobivanju iz obnovljivih in neobnovljivih virov. V drugem poglavju bomo analizirali trg z električno energijo v EU. Tretje vsebinsko poglavje bo vsebovalo opis izbranih tehnološko naprednejših načinov pridobivanja električne energije. Vsako izbrano tehnologijo bomo predstavili bolj podrobno in se osredotočili na njihove prednosti in slabosti. V četrtem poglavju bomo preučili možnosti implementacije izbranih tehnologij v EU. V sklepnem poglavju bomo podali zaključne ugotovitve.

2 ELEKTRIČNA ENERGIJA

V tem poglavju bomo predstavili glavne načine pridobivanja električne energije. Trenutno električno energijo pridobivamo iz različnih virov, zato bomo to poglavje razdelili na dve podpoglavji. V prvem bomo govorili o pridobivanju električne energije iz neobnovljivih virov, v drugem podpoglavju pa se bomo osredotočili na pridobivanje električne energije iz obnovljivih virov.

2.1 Pridobivanje električne energije iz neobnovljivih virov

Ena od največjih prelomnic v industriji je bil izum parnega stroja. Mišljenje je bilo podobno, kot pri uporabi mlinov na veter ali vodnih mlinov. Potrebovali so nekakšno silo, ki bi lahko hitreje in z večjo močjo opravljala delo, poleg tega pa bi lahko teoretično delovala nepretrgoma. Parni stroj je omogočil nastanek prvih tovarn, poleg tega pa je prikazal še eno veliko prednost. V primeru mlinov na vodo, so ti morali biti locirani ob reki, kar je pomenilo, da je bila lokacija fiksna. Z uvedbo parnih strojev pa se je lokacija lahko spreminjala in tako človeku predstavila še več možnosti. Parni stroj pa s seboj ni prinesel le prednosti, nastale so tudi slabosti. Za delovanje parnega stroja, kot pri drugih vrstah pridobivanja energije, pretvarjamo eno vrsto energije v drugo, kar je v našem primeru parnega stroja kemična energija premoga ali lignita. Tako s sežigom surovine, kot je premog, pretvorimo kemično energijo predmeta v toplotno energijo. To toplotno energijo nato uporabimo za segrevanje

vode. Ko voda doseže vreliščno točko, se začne spreminjati v paro. Para je nato, pod visokim pritiskom, poslana po cevovodih do turbine. Oblika turbinskih lopatic omogoča, da se kinetična energija pare pretvori v rotacijsko energijo turbine. Za uporabo parnega stroja so tako začeli uporabljati fosilno gorivo, ki je s svojo pretvorbo proizvedlo električno energijo. A pri uporabi fosilnih goriv vedno nastanejo onesnaževalci okolja kot so prašni delci, oksidi, monoksidi in podobno (Alves Dias in drugi, 2018; Češnjevar, 2011; Exxon Mobil, 2019; Krivec, 2022; OPEC, 2014; British Petroleum, 2023).

Parni stroj je tako tlakoval pot za pridobivanje električne energije z uporabo fosilnih goriv, oziroma za tako imenovane termoelektrarne. Delujejo na principu parnega stroja, le da vrteča se turbina nato svojo rotacijsko energijo po osi prenaša na generator, ta pa s ponovno pretvorbo rotacijske energije proizvaja električno energijo. Te so nato postale prve elektrarne, ki so jih ljudje začeli masivno postavljati. Razlog za to je ponovno možnost gradnje na izbrani lokaciji, kljub temu da negativnih pogledov nefiltriranih izpustov v takratnem času še niso postavljali na prva mesta odločitev. Velika prednost te vrste električne elektrarne je tudi v tem, da sta njen zagon in zaustavitev relativno kratka, kar pa omogoča večji nadzor in varnost ter upravljanje nihanj v električnem omrežju. Čeprav imajo termoelektrarne več prednosti, kot sta visok nadzor nad količino generirane električne energije in enostavna postavitve, imajo tudi slabosti. Ena od najpomembnejših so izpusti. Pri delovanju elektrarne, kot stranski produkt pri izgorevanju premoga, nastaja tudi dim, bolj natančno različni delci, kot so prašni delci, oksidi, monoksidi, ogljikovi oksidi in drugi, ki škodujejo okolju in ljudem. Zaradi tega se dandanes povečuje ozaveščanje in zavedanje o nevarnosti uporabe tehnologij za pridobivanje električne energije, ki škodujejo ljudem in okolju. Termoelektrarne so se s časom izboljšale, namestile zračne filtre in nadzorovale svoje delovanje v namen zmanjšanja negativnih učinkov. Vseeno pa pri sežigu premoga nastajajo zračne emisije, kot so dušikov dioksid in trdni delci v ozračju. Pri pregledu kvalitete zraka v evropskih državah so opazili padajoči trend emisij, vendar napovedali prekoračene vsebnosti emisij v ozračju do leta 2020 (Alves Dias in drugi, 2018, str. 28). Kljub temu se zavedamo, da trdni delci in dušikov dioksid niso edini dejavniki, ki narekujejo kakovost zraka (Alves Dias et al., 2018; University of California, Museum of Paleontology, brez datuma; Krivec, 2022; OPEC, 2014).

Trenutno pridobivamo električno energijo z uporabo različnih tehnologij in različnih virov. Zaradi večje ozaveščenosti ljudi in razumevanja negativnih vplivov delovanja na okolje želimo doseči, da se za proizvodnjo električne energije ne bi več uporabljala fosilna goriva. Prva lahka rešitev bi lahko bila preprosto prenehanje uporabe termoelektrarn, a glede na njihovo pomembno vlogo pri oskrbi z električno energijo, rešitev ni tako preprosta. To pomeni, da bi z izključitvijo dodatnega vira količino električne energije še dodatno zmanjšali in se s tem še bolj oddaljili od optimalnega doseganja enakost porabe in proizvodnje električne energije. Da bi zadovoljili porabo elektrike, se povečuje izgradnja elektrarn iz obnovljivih virov. Ker se tehnologije okolju prijaznih elektrarn vsako leto izboljšujejo, je količina proizvedene električne energije vedno večja (Exxon Mobil, 2019, str. 25). Z

dodatno gradnjo želimo postopoma uporabljati več okolju prijaznih in obnovljivih virov ter zmanjšati uporabo okolju škodljivih (Češnjevar, 2011; Exxon Mobil, 2019; British Petroleum, 2023).

2.2 Pridobivanje električne energije iz obnovljivih virov

Elektrarne, ki uporabljajo obnovljive vire energije, nastopajo na trgu kot prihodnost proizvoda električne energije, saj so okolju prijazne in njihov vir lahko oddaja energijo teoretično v neskončnost. Obnovljive vire definiramo, kot vire energije, ki jih najdemo v naravnih procesih. Mednje uvrščamo vodne tokove, veter, sončno sevanje, fotosintezo in zemeljske toplotne tokove. V naravi se dovolj hitro obnavljajo in jih imamo zato neomejeno (Jašerević, 2018, str. 5). Biomasa je poseben primer, saj jo moramo za spremembo njene kemične energije, sežgati. To se odraža v neenakosti stanja vhodnega in izhodnega materiala iz procesa, poleg tega pa vhodnega materiala, kot so les, sekanci, debla dreves in itn., po pretvorbi ni mogoče ponovno uporabiti. Gozd je eden od ključnih dejavnikov, da lahko ljudje živimo na Zemlji, saj nam omogoča vir energije, proizvaja nujno potreben kisik ter ohlaja zemljo. Zaradi pomembnosti se vsako leto aktivno zasajajo mlada drevesa v namen aktivnega pogozdovanja. Z zasajanjem novih dreves je tako nova biomasa pripravljena, ko drevesa zrastejo, kar je lahko tudi v 30 letih. Ker je to mogoče, lahko klasificiramo pridobivanje električne energije iz biomase kot električno energijo, pridobljeno iz obnovljivega vira energije, vendar le pod pogojem, da je raven aktivnega pogozdovanja enaka ali višja od sečnje. Čeprav elektrarne na biomaso uporabljajo obnovljiv vir energije, še ne pomeni, da so najčistejše in okolju prijazne. Pri tej vrsti elektrarne gre še vedno za spremembo kemično shranjene energije v termično energijo, kar pomeni sežiganje biomase. Pri vsakem sežiganju pa lahko dobimo tudi nepopolno gorenje ali na splošno stranske produkte, v manjšem obsegu pri uporabi biomase, ki so škodljivi. Poleg tega elektrarne na biomaso, ki za svoje delovanje uporabljajo plin, pridobljen z gnitjem bioproductov (najpogostejše uporabljena je koruza) postavljajo še dilemo o etičnosti uporabe hrane za izdelavo električne energije. Države proizvajajo svojo in uvažajo tujo hrano, da zagotovijo potrebe ljudi. V ta namen je sajenje prehranskega produkta, v namen sežiga za proizvodnjo električne energije neetično, saj velik del sveta še vedno nima dostopa do hrane in pitne vode, zaradi povečevanja potreb po električni energiji, so elektrarne na biomaso vključene v električno omrežje. Njihova upravičenost je v tem, da za svoje delovanje uporabljajo obnovljiv vir energije, jih lahko postavljamo na katerokoli lokacijo in so trenutno še vedno čistejši način uporabe termične spremembe v namen proizvodnje električne energije, kot običajne termoelektrarne na premog (European Commission Staff, 2020; Krivec, 2022; Pernick in drugi, 2011; British Petroleum, 2023).

Vodne elektrarne, imenovane tudi hidroelektrarne, so elektrarne, ki za svoje delovanje uporabljajo kinetično energijo vode. Elektrarne te vrste so postavljene na rečnih tokovih, delujejo pa povsod, kjer se kinetična energija vode lahko pretvori v drugo vrsto energije.

Poznamo tri vrste hidroelektrarn, ki se med seboj razlikujejo glede na uporabo vodne turbine v hidroelektrarni (Hočevar in Dular, 2015, str. 14):

- Peltonovo turbino,
- Francisovo turbino in
- Kaplanovo turbino.

Vse tri vrste delujejo na enakem principu zajemanja kinetične energije vode, z uporabo lopatic turbine, in spremembo te energije v rotacijsko energijo, ko se turbina zaradi sile lopatic zavrti. Ta rotacijska sila se nato prenese po gredi do generatorja, kjer se zgodi ponovna preobrazba energije, iz rotacijske energije generatorja v električno energijo, ki jo nato pošiljamo v omrežje. Teoretično lahko rečemo, da deroča voda reke teče neprekinjeno, vendar vse reke niso enake, saj se razlikujejo tudi glede na pretok in hitrost. Tu nastane razlog za razvoj treh različnih oblik turbin hidroelektrarn. Celotno delovanje vseh hidroelektrarn lahko razdelimo na tri predele, glede na hitrost in pretok. V primeru, da ima željena reka, na kateri želimo postaviti hidroelektrarno, velik pretok, vendar je hitrost reke zelo nizka, se odločimo za Kaplanovo turbino. Kaplanova turbina je izdelana tako, da je za njeno delovanje potrebna velika količina vode, hitrost s katero priteka pa je lahko manjša. V primeru, ko imamo na voljo reko z zelo visoko hitrostjo, a malim pretokom, se odločimo za Peltonovo turbino. Pri tej gre za to, da se večinoma uporabi vodni curek, ki nastane zaradi potencialne energije vode. Lopatice so zato oblikovane tako, da sprejmejo manjšo količino vode, vendar mora biti za delovanje turbine voda zelo hitra. V primeru, da takšnih pogojev v naravnem stanju ni, lahko postavimo višinsko razliko, ki zagotovi zahtevano hitrost. Francisova turbina pa je namenjena za vsa vmesna stanja rek in je zato tudi najpogostejše uporabljena. Kaplanova oblika turbine omogoča še eno dodatno prednost, saj jo lahko uporabljamo za akumulativne hidroelektrarne. Te nam omogočajo, da v času, ko so potrebe po električni energiji manjše, proces obrnemo in se turbina začne vrteti v nasprotno smer. Tako turbina postane črpalka in lahko vodo potisne nazaj pred elektrarno. Akumulativne elektrarne imajo pred konstrukcijo, zgrajeno jezero, ki zadržuje vodo. S tem lahko v času, ko so potrebe po električni energiji nizke in imamo odvečno električno energijo, le to uporabimo za prečrpavanje vode, ki nam omogoča shranjevanje električne energije v potencialno energijo vode. Izbira med temi različnimi oblikami turbin nam dovoljuje, da izkoristimo čim večji delež ponujene energije. Z majhnimi spremembami sistema dosežemo obliko elektrarne, ki je uporabljena ob morju, tako imenovana elektrarna na bibavico. Dvigovanje morja je posledica gravitacijske sile Lune in se zato predvidljivo ponavlja na dnevnem časovnem intervalu. S tem, ko se gladina morja zvišuje in spušča, opazimo potencialno energijo morske vode, ki jo nato pretvorimo za proizvodnjo električne energije. Tako morje ne miruje, ampak se ves čas meša, za kar so odgovorni morski tokovi. Ti morski tokovi so konstantni in predvidljivi, zato z nekaj spremembami dosežemo elektrarno, ki lahko uporablja gibanje morskih tokov za svoje delovanje (Exxon Mobil, 2019; Hočevar in Dular, 2015; Krivec, 2022; Pernick in drugi, 2011; British Petroleum, 2023).

Podobno vetrne elektrarne uporabljajo kinetično energijo vetra, ki jo nato pretvarjajo v električno energijo. Posebnost vetrnih elektrarn je v obliki in montaži lopatic elektrarne, saj v večini primerov niso pritrjene nepremično, ampak njihov kot spreminjamo z uporabo motorjev. S spreminjanjem kota lopatic lahko uravnavamo, koliko zraka se zaleti v lopatico, da zavrti turbino, in tako uravnavamo tudi hitrost delovanja vetrne elektrarne. Uravnavanje hitrosti je zelo pomembno, saj vetrna elektrarna ne obratuje v primeru, ko je hitrost vetra prenizka, obenem pa ne sme obratovati v primeru previsokih hitrosti vetra, saj bi s tem tvegali možnost poškodbe elektrarne. Glede na to, da je veter ne konstanten vir energije, težko napovedujemo delovanje vetrne elektrarne (Exxon Mobil, 2019; Krivec, 2022; Pernick in drugi, 2011; British Petroleum, 2023).

Sončne elektrarne se nekoliko razlikujejo od hidroelektrarn in vetrnih elektrarn, saj vir energije, ki ga uporabljajo za proizvodnjo električne energije, ne pretvarja svoje kinetične energije. Sončne elektrarne za svoje delovanje uporabljajo valovanje sončne svetlobe. V ta namen uporabljamo dva različna materiala, ki imata proste elektrone in proste prostore (ali luknje) za ponovno zajemanje elektronov. Zaradi podrtega ravnotežja, ki ga ustvari sončni žarek, se elektron začne premikati, da bi dosegel prostor, ki ga v drugem materialu lahko zapolni. Ta pretok elektronov ustvarja električni tok. Poznamo več vrst sončnih elektrarn, v večini pa se med seboj razlikujejo glede na količino proizvedene električne energije (Jašarević, 2018; Sijarić, 2021; Trdin, 2012).

3 PREGLED TRGA Z ELEKTRIČNO ENERGIJO

Lastnosti trga z električno energijo so nekoliko specifične v primerjavi z drugimi trgi, saj vemo, da je potrebno proizvedeno električno energijo porabiti v času proizvodnje. To pomeni, da je potrebno proizvesti toliko, kolikor je nato želimo porabiti. V primeru, da proizvodnja in poraba nista enaki in so odstopanja velika, lahko pride do elektroenergetskih mrkov. Tako je ena najpomembnejših aktivnosti na trgu z električno energijo načrtovanje proizvodnje (Gabrovšek, 2015; Mikič, 2004; Rubanda in drugi, 2023).

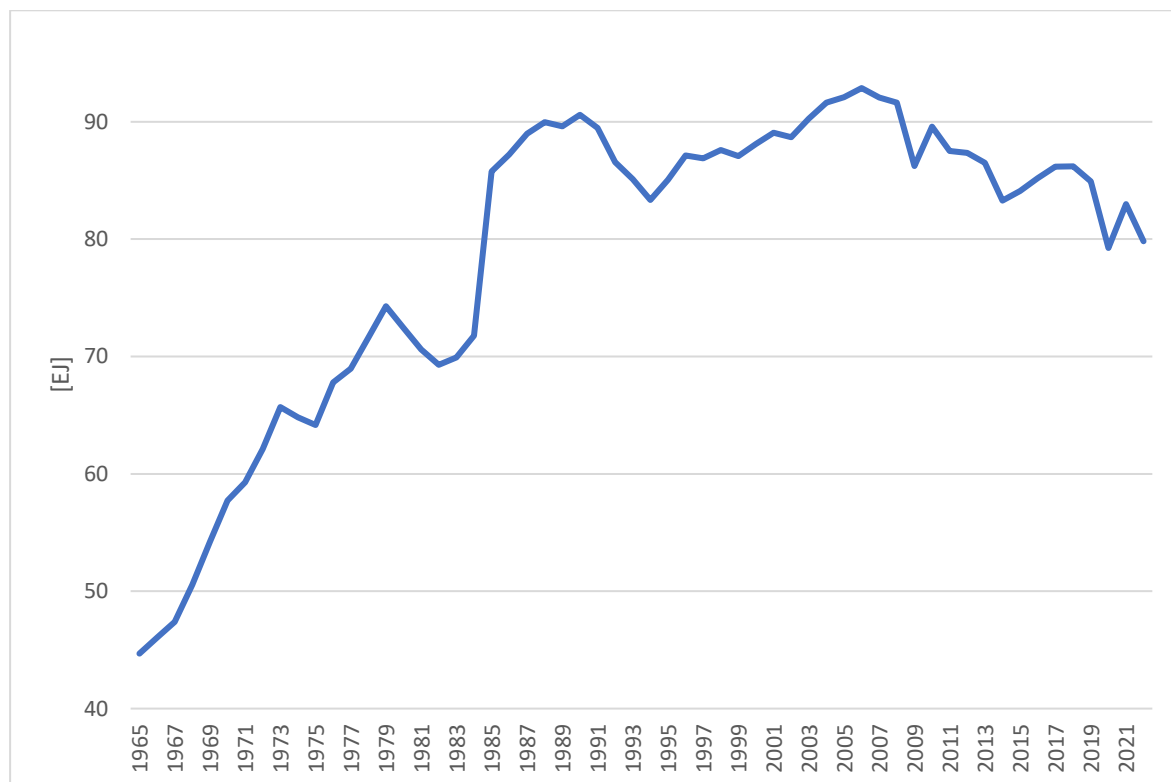
S skladiščenjem električne energije bi se izognili enemu največjih problemov in zagotovili idealno količino. Shranitev električne energije je mogoča, vendar ima poleg svojih prednosti tudi slabosti. Energijo lahko shranimo tako, da jo pretvorimo v drugo vrsto energije ali pa jo shranimo v enaki obliki (Rozman, 2020). Električno energijo največkrat shranimo v akumulatorje ali baterije, kar nam omogoča manjše izgube in v nekaterih primerih možnost mobilnosti, poleg tega pa jih lahko hitro ponovno napolnimo. Vseeno pa shranjevanje v baterije ni idealno, saj so namenjene shranjevanju električne energije na dnevnem intervalu. Zaradi kemičnih reakcij v bateriji, kjer izmenično nastopata dva neprestano ponovljiva procesa, baterija s časom izgubi svojo začetno zmogljivost in se postopoma vedno bolj uničuje. Enako je z akumulatorji, ki lahko skladiščijo več energije v primerjavi z baterijami in jo hranijo za daljše časovno obdobje (tudi na tedenski ravni), vendar je proces shranjevanja podoben baterijskemu, zato sistem ni primeren za daljše časovno shranjevanje.

Vseeno pa dandanes nastopajo nove tehnologije, ki omogočajo daljše časovno obdobje shranjevanja električne energije. Med njimi bomo izpostavili gorivno celico, kjer z elektrokemično reakcijo lahko dosežemo shranjevanje tudi na mesečni ravni. Proces je primeren za sisteme obnovljivih virov energije, pri katerih je konstantnost težko dosegljiva. Tehnologija gorivne celice je ena izmed obravnavanih tehnologij v magistrskem delu (BP, 2022; British Petroleum, 2023).

3.1 Struktura virov proizvodnje električne energije

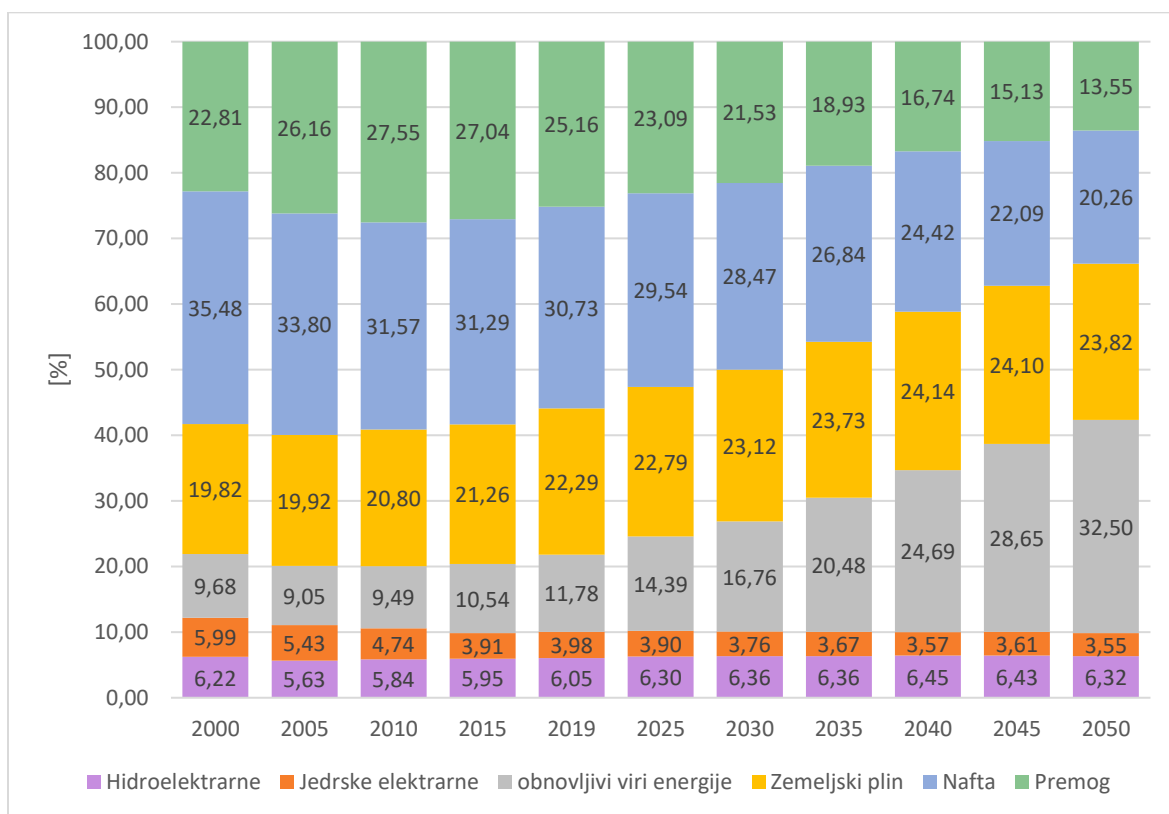
Energijo delimo na primarno in sekundarno. Primarna energija je tista energija, ki je na voljo v naravi in jo nato z uporabo tehnologij lahko pretvorimo v sekundarno energijo. Med primarno energijo spadajo kemična energija nafte, jedrskega goriva, premoga pa tudi kinetična energija vode in vetra ter drugih obnovljivih virov. Med sekundarno energijo pa spada električna energija, energija potisnega zraka, toplotna energija in druge (U.S. EIA., 2021). Svetovna poraba primarne energije nam predstavlja kakšno prihodnost prikazujejo trenutne tehnologije za njeno pridobivanje, pa tudi smernice za napredovanje k izboljšavam v Evropi. Slika 1 predstavlja svetovno porabo primarne energije v letih od 1965 do 2022 v eksa-joulih (v nadaljevanju tudi EJ), slika 2 pa prikazuje porabo primarne energije v letih od 2000 do 2019, z napovedjo do leta 2050.

Slika 1: Svetovna poraba primarne energije v letih od 1965 do 2022 [EJ]



Vir: prirejeno po BP (2022).

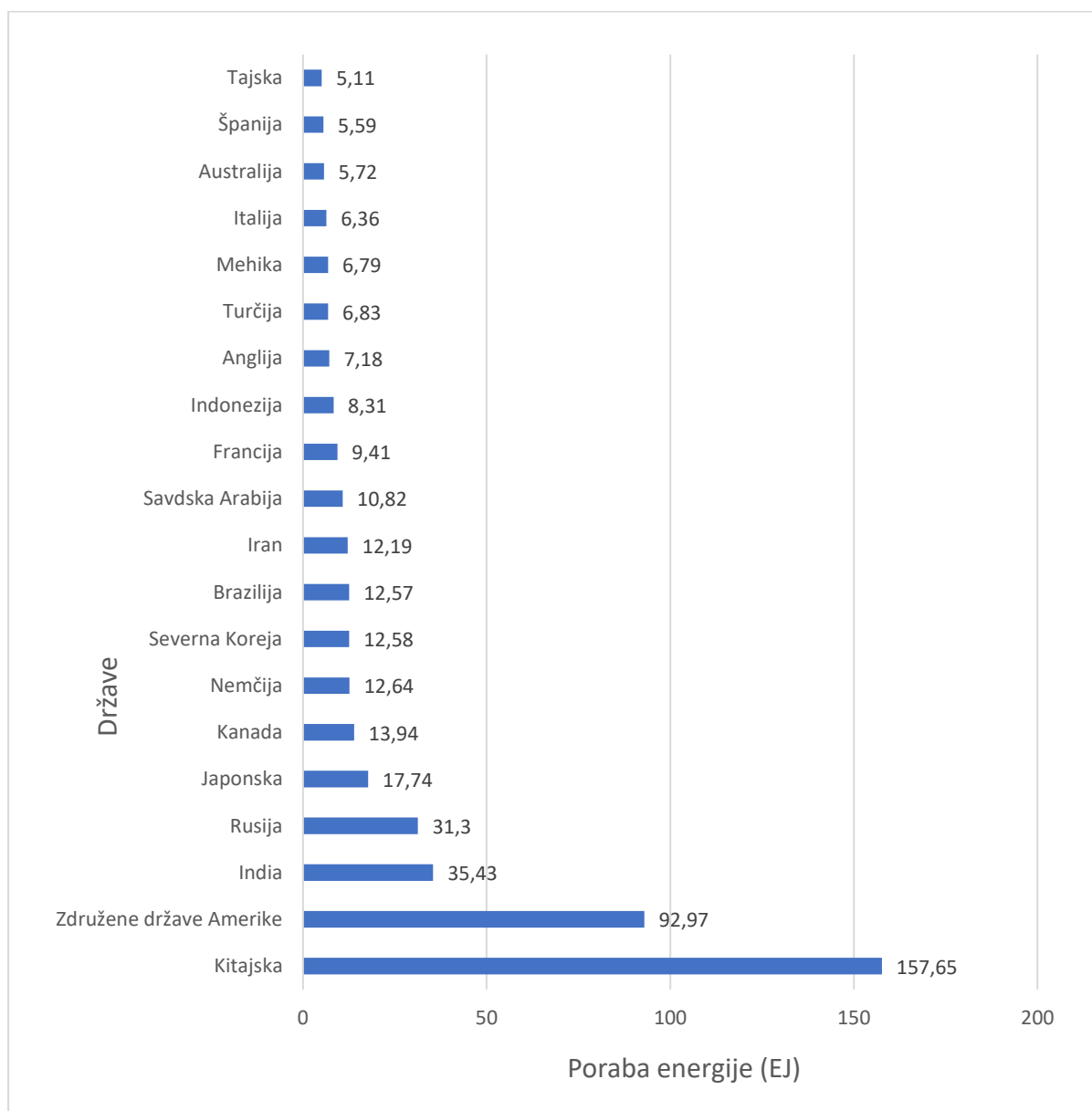
Slika 2: Poraba primarne energije v letih od 2000 do 2019 in napoved do leta 2050



Vir: prirejeno po BP (2022).

Slika 1 prikazuje, da se je poraba energije v zgodovini, med leti 1965 in 2005, večino časa povečevala, od leta 2005 do danes pa je padala. Razloga za vpad sta med drugimi tudi izboljšana tehnologija, ki za svoje delovanje potrebuje manj energije, in način življenja družbe, ki stremi k zmanjšani porabi energije. Podobno napoved prikazuje tudi slika 2, ki prikazuje celotno svetovno porabo energije z napovedjo do leta 2050. Na sliki 2 poleg tega lahko opazimo konstantnost hidroenergije in nuklearne energije, ki se v prihodnosti naj nebi drastično spreminjali. Razlog ozadja je različen, vendar hidroelektrarnam lahko med drugim pripisujemo tudi specifikacije postavitve, pri katerih je potrebno upoštevati različna pravila za čim manjši poseg v naravo in naravno okolje rečnih živali (Hočevár in Dular, 2015, str. 100-102). Pri tem gre za to, da hidroelektrarne lahko postavljamo le po strogo določenih standardih, ki nam narekujejo, kako pogosto se na določeni reki lahko zgradijo elektrarne, da se ekosistem reke ne uniči. Poleg tega je izgradnja elektrarne dolgotrajna in zahteva veliko dovoljenj za gradnjo, kar je lahko dodatni razlog za manjšo količino novih elektrarn v prihodnosti. Pri jedrski elektrarni je zaradi specifikacij in lokacije ter standardov izgradnja še bolj otežena, kar odraža tudi graf na sliki 2 z zelo nizkim povečanjem gradnje jedrskih elektrarn. Ker pa vemo, da bo za prehod na nizko ogljično družbo potrebna vsa električna energija, bodo jedrske elektrarne ostale za lažji prehod (BP, 2022; British Petroleum, 2023).

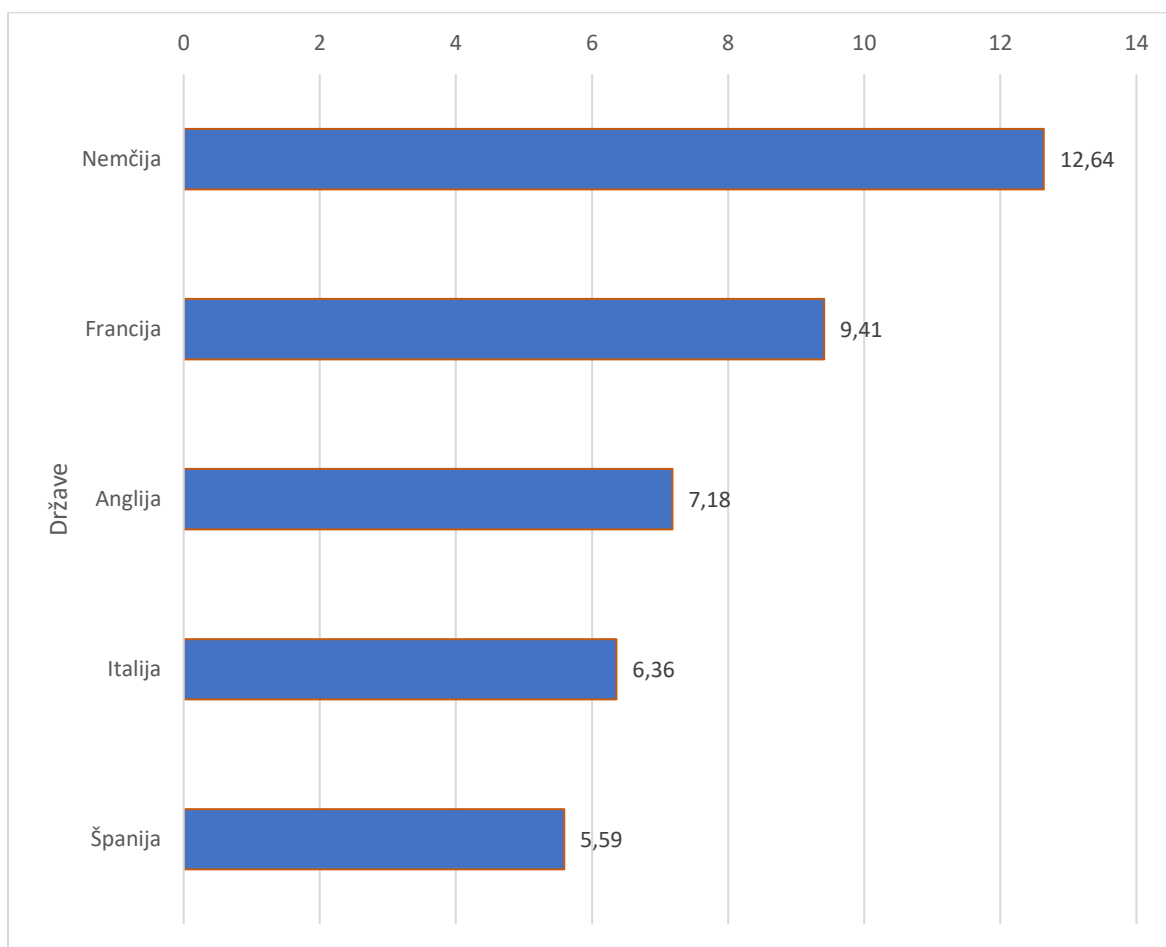
Slika 3: Poraba primarne energije v svetu leta 2021, po državah (v EJ)



Vir: prirejeno po British Petroleum (2023).

Na sliki 3 so prikazane države, ki na leto porabijo največjo količino primarne energije v eksa-joulih, na sliki 4 pa so izpostavljene Evropske države, ki so največje porabnice primarne energije.

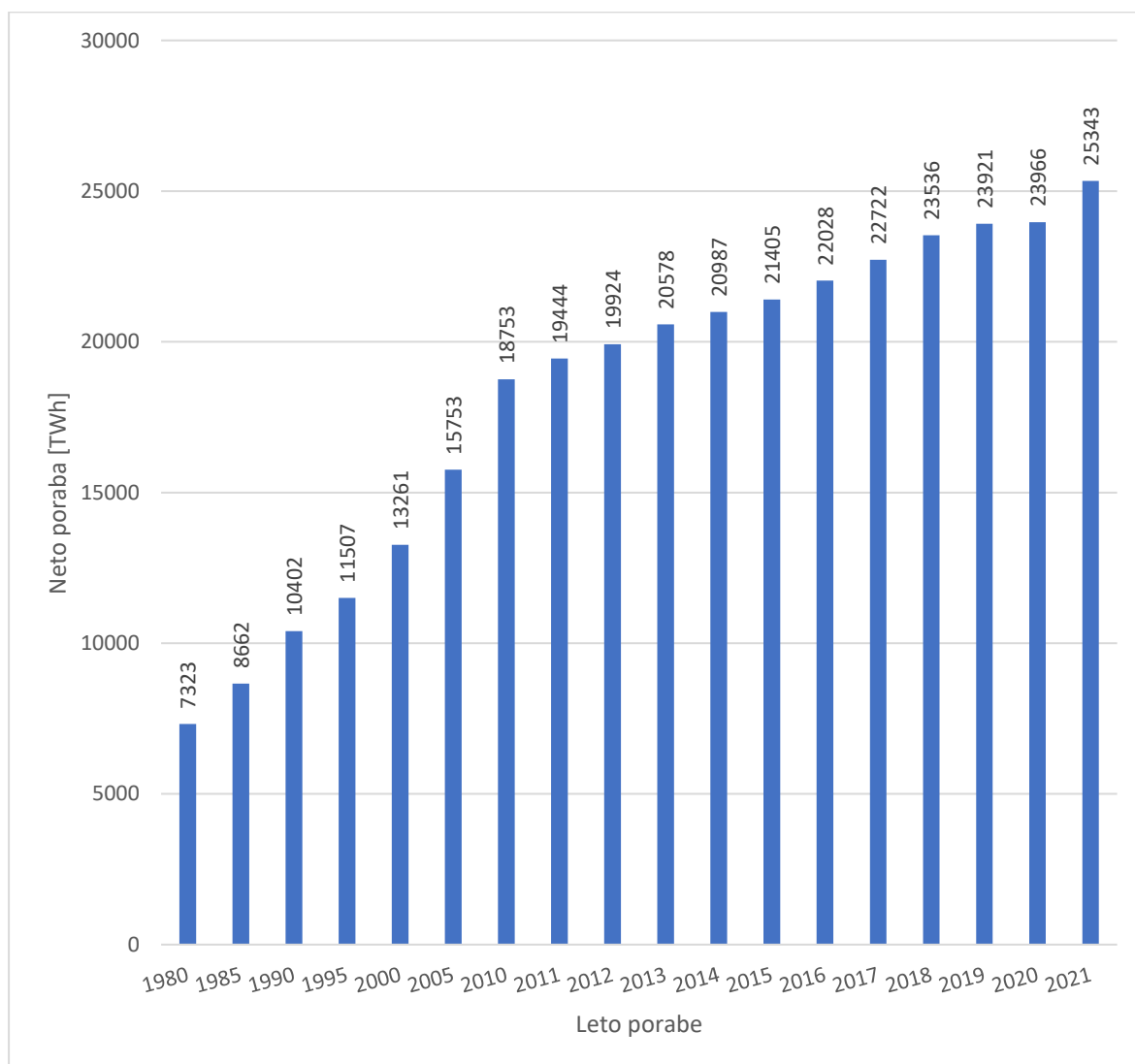
Slika 4: Pet največjih porabnic primarne energije v Evropi leta 2021 (EJ)



Vir: prirejeno po British Petroleum (2023).

Opazimo, da sta med večjimi porabniki v Evropi Francija z 9,41 EJ in Nemčija z 12,64 EJ. Njuno visoko porabo primarne energije lahko pripisujemo razvitosti in povečani proizvodnji, saj sta omenjeni državi dve od najpomembnejših držav tehnološkega napredka v Evropi. Večji porabniki so nato Rusija z 31,3 EJ, Indija s 35,43 EJ in Združene države Amerike (v nadaljevanju tudi ZDA) z 92,97 EJ ter Kitajska s 157,65 EJ porabljene primarne energije. Te štiri največje porabnice primarne energije so obenem tudi države z večjimi naravnimi zalogami primarnih virov, zlasti v premogu, plinu in nafti. Kitajska je na nek način razred zase, saj je njena poraba primarne energije, od drugo uvrščene Amerike, kar za 58,97 % višja. Poleg tega se je Kitajska odločila in sprejela drugačno energetske mešanico, kjer se poskuša bolj osredotočiti na obnovljive vire energije in naravni plin. Ta sprememba je vidna, saj se je od leta 2009 do 2021, njena količina primarne energije, pridobljene iz obnovljivih virov, povečala za 15,9 % (British Petroleum, 2023).

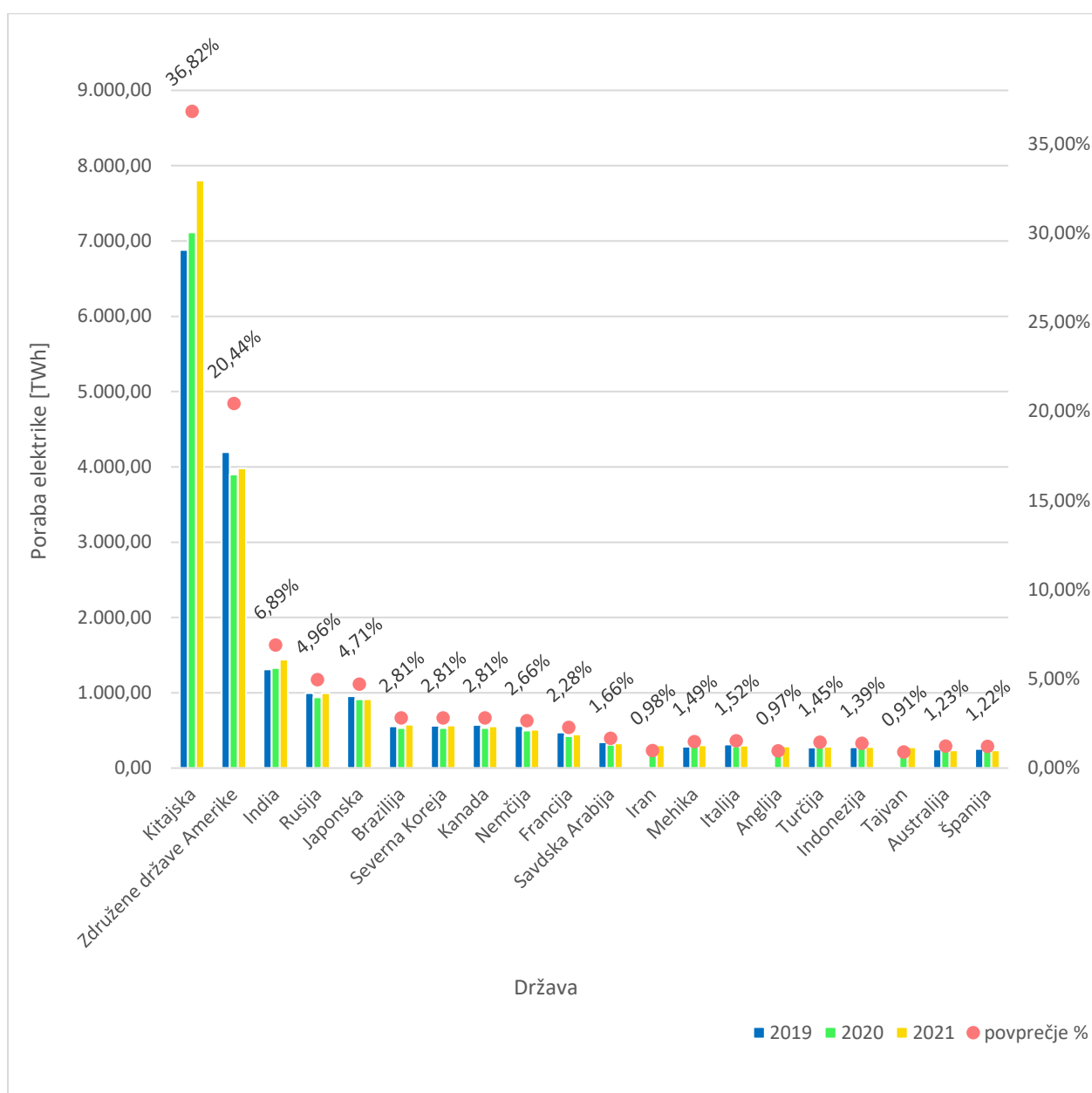
Slika 5: Neto poraba električne energije v svetu med leti 1980 in 2021



Vir: prirejeno po U. S. EIA (2021).

Slika 5 prikazuje neto svetovno porabo električne energije v letih od 1980 do 2021. Neto električna energija je izmerjena z uporabo števca, ki beleži proizvedeno energijo in jo nato izravnava s porabljenjo energijo. Največkrat se o neto energiji govori, ko nekdo samostojno proizvaja električno energijo in presežek pošilja v omrežje ali ko iz omrežja uporablja električno energijo. Tako se neto energija uporablja za izračunavanje stroškov energije (Oracle, 2024). Vse od leta 1980 do leta 2021 se je poraba električne energije po svetu povečevala in v zadnjem letu dosegla okoli 25000 terawatnih ur (v nadaljevanju tudi TWh). Če primerjamo z začetkom, se je poraba skoraj trikrat povečala, kar pa lahko pripišemo visokemu številu izgradnje novih industrijskih objektov, povečanju industrije, drugačnemu načinu življenjskega sloga ljudi in prisotnosti večje količine tehnologije (U.S. EIA., 2021).

Slika 6: Poraba električne energije v svetu med leti 2019 in 2021



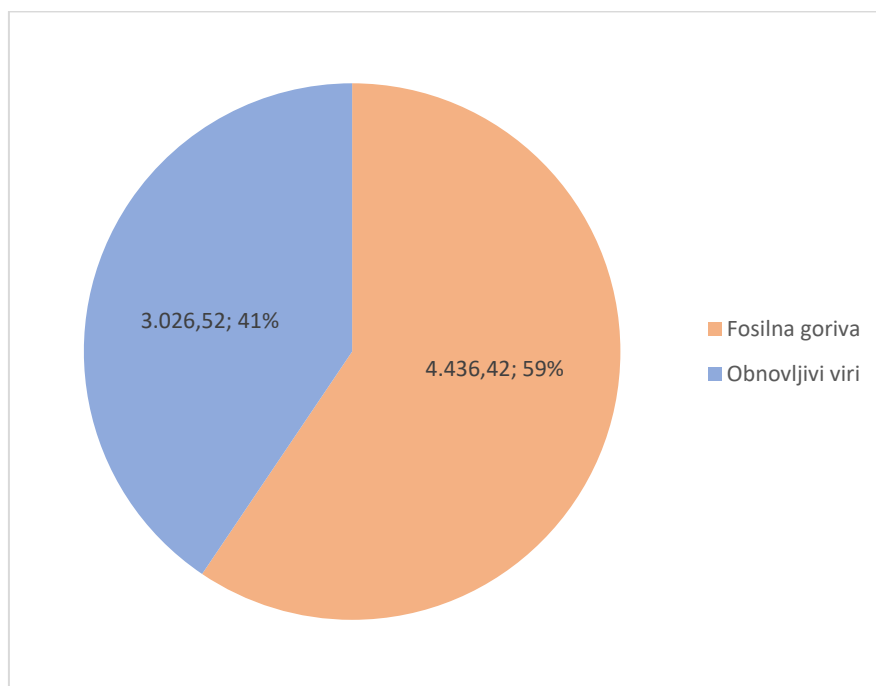
Vir: prirejeno po BP (2022).

Na sliki 6, ki prikazuje porabo električne energije v svetu med leti 2019 in 2021 opazimo, da so glavni porabniki tiste države, ki imajo največjo porabo električne energije. Tako razberemo, da Kitajska, kot največji porabnik električne energije, porabi 7805,66 TWh ali 36,82 %, sledijo ji Združene države Amerike s 3979,28 TWh ali 20,44 % in nato Indija s 1442,75 TWh ali 6,89 %, medtem ko Evropa porabi 1780,33 TWh ali 8,63 % proizvedene električne energije v svetu. Prva država EU je Nemčija, s porabo 511,66 TWh, kar odraža 2,66 % celotne porabe električne energije, sledi pa ji Francija s 447,45 TWh ali 2,28 %. Čeprav sta ti državi med industrijskimi silami Evrope, je njuna poraba skoraj zanemarljiva v primerjavi s porabo Kitajske in Združenimi državami. Kitajska, ZDA in Indija so med

drugimi tudi države z največjo gostoto prebivalstva, kar bi v neki meri zagovarjalo večjo porabo po električni energiji. Vseeno pa je populacija Indije skoraj enaka populaciji Kitajske, medtem ko ima le 18.48 % porabo Kitajske. Vendar populacija posamezne države še zdaleč ni edini faktor pri porabi električne energije. To lahko vidimo pri Nigeriji, katere populacija znaša 213,4 milijona, vendar je njena poraba električne energije tako nizka, da ni bila uvrščena na omenjeni graf. Razvitost posamezne države, naprednost njene industrije in tehnologije, lega države, njena moč na trgu in tehnologija, s katero proizvaja električno energijo, so le nekateri vzroki za vpliv na porabo električne energije, kar odražajo tudi predstavljene številke (BP, 2022).

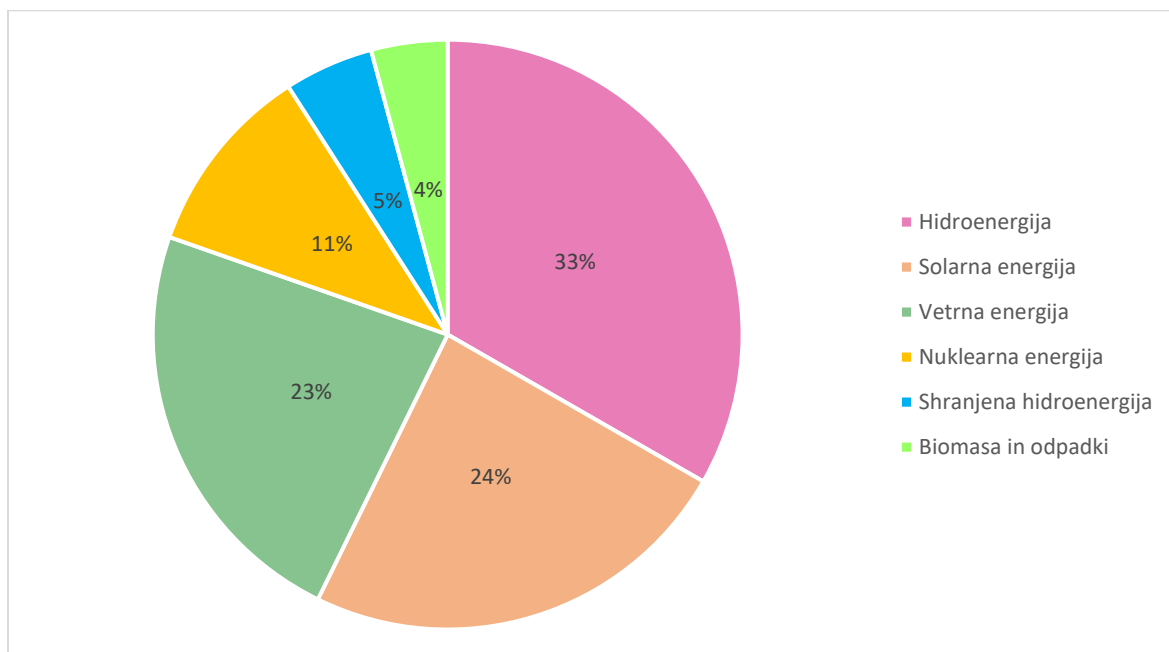
Slika 7 predstavlja kapaciteto električne energije pridobljene iz fosilnih goriv ter električne energije pridobljene iz obnovljivih virov in jedrske energije v gigavatih [v nadaljevanju tudi GW], ki je potrebna za zadovoljitev sedanjih potreb po električni energiji v svetu.

Slika 7: Kapaciteta električne energije po svetu v letu 2021 [GW]



Vir: prirejeno po Eurostat Statista (2023).

Slika 8: Kapaciteta svetovne električne energije iz obnovljivih virov 2021

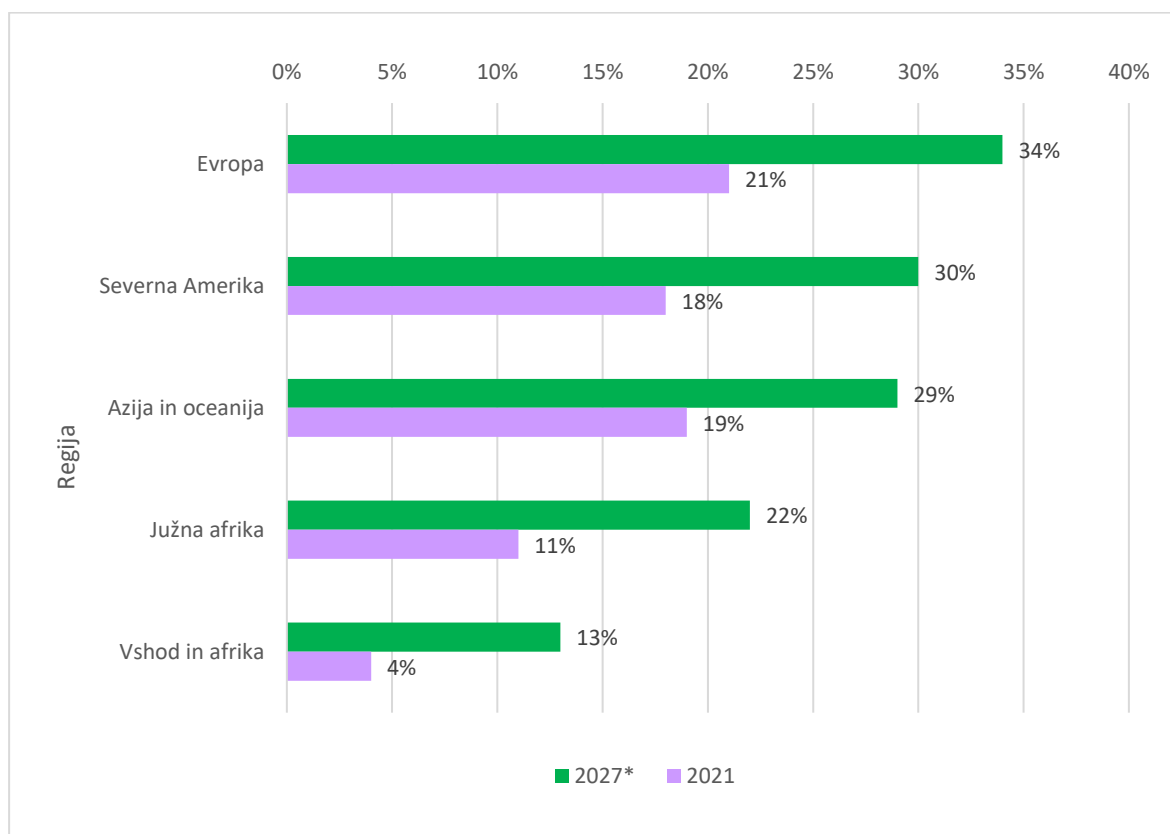


Vir: prirejeno po Eurostat Statista (2023).

Kapacitete, pridobljene iz obnovljivih virov energije na sliki 7, so razdeljene in bolj podrobno predstavljene na sliki 8. Električna energija je pridobljena v večini z uporabo fosilnih virov, kar 4436,42 GW, od tega največ z uporabo premoga, medtem ko pridobivanje električne energije iz obnovljivih virov dosega 3026,52 GW, kar je 31,78 % manj pridobljene električne energije iz obnovljivih virov v primerjavi z električno energijo, pridobljeno iz neobnovljivih virov. Pridobljena električna energija iz obnovljivih virov pa ne zaostaja, saj se je v zadnjem desetletju podvojila, kar pomeni, da lahko električna energija, pridobljena iz obnovljivih virov energije, preseže količino električne energije, pridobljene iz fosilnih virov, do leta 2035 (Eurostat Statista, 2023). Električna energija, pridobljena iz obnovljivih virov, je razdeljena na različne načine pridobivanja, kjer opazimo, da hidroelektrarne proizvajajo največjo količino električne energije s 33 %, sledijo sončne elektrarne s 24 % in na tretjem mestu vetrne elektrarne s 23 %. Sončne elektrarne se z vedno nižjimi cenami materialov in novodobno tehnologijo, ki omogoča večji izkoristek, pomikajo proti vrhu, saj je vse več inštalacij malih sončnih elektrarn, katerih postavitve je relativno hitra, medtem ko je postavitve hidroelektrarne bolj zapletena in dolgotrajna. Nuklearna elektrarna, drugače imenovana tudi jedrska elektrarna, zaseda četrto mesto z 11 %. Čeprav je tehnologija šteta pod nizkoogljične tehnologije, in je javno mnenje za njeno uporabo negativno (Pidgeon in Demski, 2012), se zavedamo, da je jedrska energija edina resna priložnost pomoči za prehod na brezogljico družbo in bi njeno uporabo lažje zagovarjali z razumevanjem tehnologije in izobrazbo družbe. Veliko priložnost za izboljšave in napredek ter večjo uporabo pa vidimo v proizvodnji električne energije z uporabo odpadkov in biomase. Odpadki so stalni problem, za katerega veliko držav nima strukturirane rešitve. Predelava plastike in ostalih odpadkov nam danes omogoča, da se učimo iz napak in ne

onesnažujemo okolja. Vseeno pa uporaba elektrarn na biomaso in odpadke ni dovolj velika. Razlogi za počasno napredovanje so negativno mnenje družbe, težka izbira lokacije in ločevanje, saj vsi odpadki niso primerni za proizvodnjo električne energije (Pidgeon in Demski, 2012, str. 45). S povečanjem njihovih gradenj in uporabe bi rešili del problema prevelike količine odpadkov in premajhne količine električne energije. V primeru, da bi se elektrarne na biomaso in odpadke začele uporabljati v večji meri, bi lahko pričakovali pozitiven rezultat za celotno družbo. Tu pa govorimo o maksimalni možni oddani moči, kar pomeni o teoretičnih močeh, ki naj bi jih pri najboljših pogojih oddajali generatorji. V Evropi se je leta 2021 skupno proizvedlo 3672 bilijonov kWh, od tega 20,46 % z uporabo jedrskih elektrarn, 37,5 % z uporabo elektrarn na fosilna goriva in 42,04 % z uporabo obnovljivih virov energije (U.S. EIA., 2021). Za jedrske elektrarne je značilno, da v večini časa delujejo konstantno. Večji problem se opazi za obnovljive vire energije, saj so odvisni od naravnih okoliščin in trenutnih razmer (BP, 2022; British Petroleum, 2023; U.S. EIA., 2021).

Slika 9: Proizvedena električna energija iz obnovljivih virov leta 2021 in za leto 2027



Vir: prirejeno po PTR (2022).

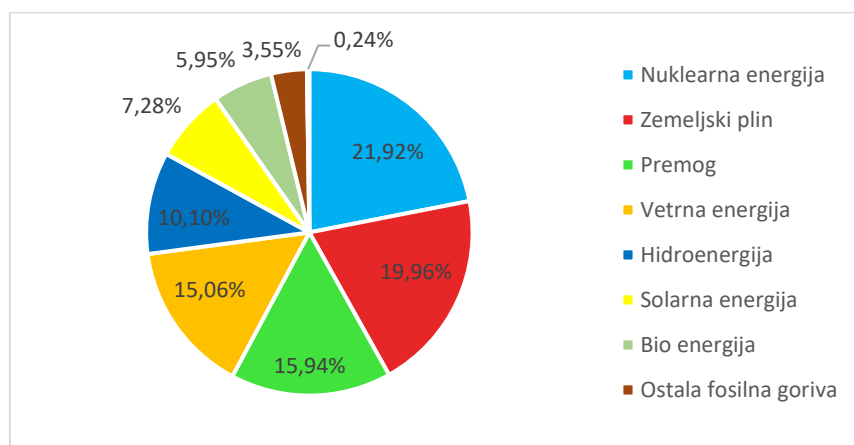
Graf na sliki 9 prikazuje proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov po svetu in regijah v letu 2021 in napoved za leto 2027*, kjer z znakom * označuje podatke, ki so predstavljeni kot možna napoved za prihodnost. Vijolična barva prikazuje proizvedeno električno energijo v letu 2021, zelena pa proizvedeno električno energijo, ki naj bi jo proizvedli leta 2027. Pri pogledu na preteklo leto 2021 opazimo, da je Evropa v samem vrhu

proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov, sledi ji Azija in nato Severna Amerika. Takšen razpored bi lahko pripisali ozaveščenju ljudi in povečani podpori gradnji elektrarn z uporabo obnovljivih virov ter zmanjševanju uporabe elektrarn na fosilna goriva. Pri proizvodnji pa naj bi Evropa še vedno ostala voditeljica, sledili pa ji bi Severna Amerika in nato Azija. Razlog za prevzem drugega mesta s strani Severne Amerike je v opravljeni naložbi v čistejšo infrastrukturo, ki je bila izvedena leta 2021. Tako bodo nadgradili svojo tehnologijo in povečali raziskave na energetske področju. Velik napredek pa naj bi v letih med 2021 in 2027 naredili Afrika in Osrednji vzhod, katerih proizvodnja električne energije iz obnovljivih virov naj bi se povečala za 9 %. Po podatkih iz grafa naj to ne bi bil največji skok, saj Evropa namerava svoje kapacitete proizvodnje povečati za 13 %, pri Osrednjem vzhodu in Afriki pa je razlika v skoku s trenutnih 4 % na 13 % v prihodnosti velikega pomena, saj govorimo do neke mere o zagonu obnovljivih virov. V primeru, da je območje že zelo razvito in hitro napreduje ter uporablja napredne tehnologije, je za območje veliko lažje dodajati nove tehnologije, ki mu omogočajo izboljšavo v prihodnosti. Na območjih, kjer nova tehnologija ni razvita ali podprta, je začetek ključnega pomena, saj tam nastane največ zapletov in nasprotovanj. S tem, ko se bo odstotek proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov na Osrednjem vzhodu in v Afriki povečal s 4 % na 13 %, se bosta tam na ta način začeli implementacija in sprejetost nove tehnologije na tem področju. Glede na to, da ima to področje velik potencial za pridobivanje električne energije z uporabo sončnih panelov, ta preskok omogoča tudi vstop novih tehnologij za pridobivanje električne energije (Goldemberg, 2012; European Commission, 2022; Kirubakaran in drugi, 2019; British Petroleum, 2023).

3.2 Napovedi porabe električne energije v EU

Slika 10 prikazuje proizvodno mešanico električne energije v Evropski uniji v letu 2022. Največji del proizvedene električne energije v letu 2022 je bil proizveden z uporabo nuklearne energije (21,92 %). Sledita mu zemeljski plin z 19,96 % in premog s 15,94 %. Skupaj z ostalimi fosilnimi gorivi, ki predstavljajo 3,55 %, znaša celotna proizvodnja električne energije iz neobnovljivih virov 61,37 %. Največji del električne energije, pridobljene iz obnovljivih virov v letu 2022, je bilo generirane z uporabo vetrnih elektrarn. Njihov delež dosega 15,06 % celotne proizvedene električne energije, sledita hidroenergija z 10,10 % in solarna energija s 7,28 %. Skupaj z bio energijo in ostalimi obnovljivimi viri energije je bilo v letu 2022 iz obnovljivih virov proizvedene 38,63 % celotne električne energije.

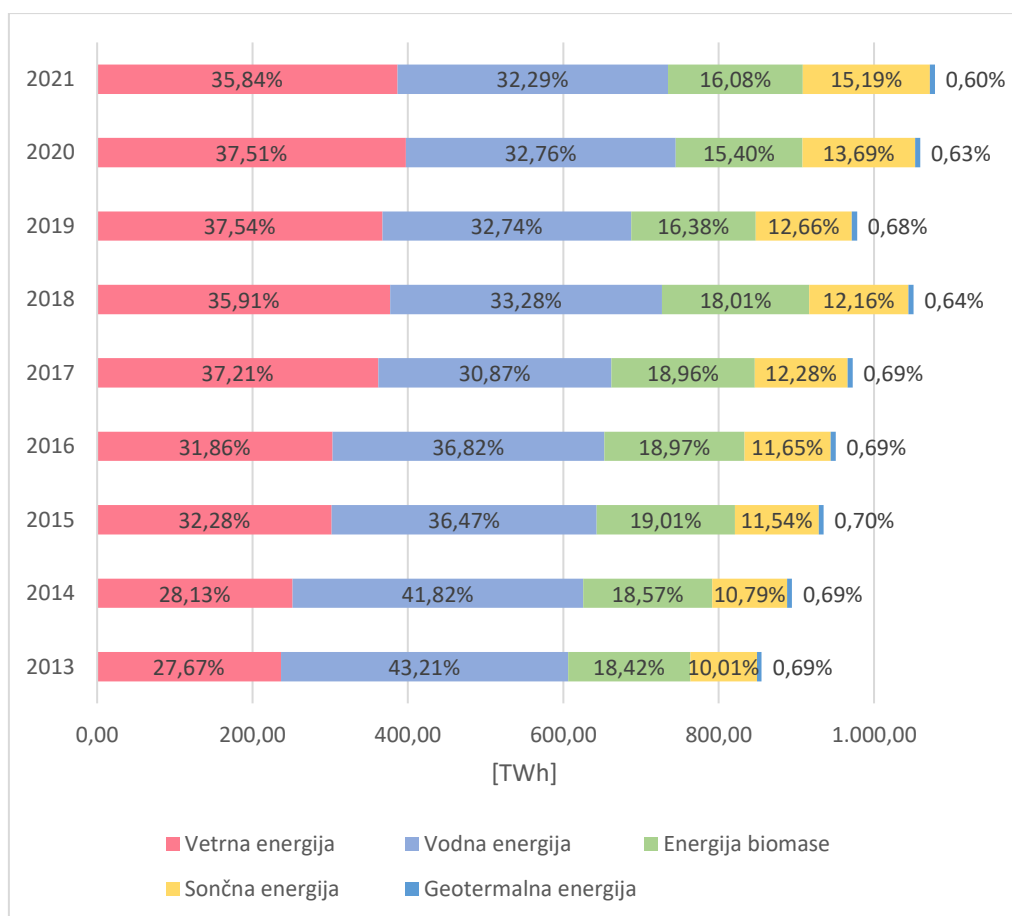
Slika 10: Mešanica virov proizvodnje električne energije v EU v letu 2022



Vir: prirejeno po Ember (2023).

Na sliki 9 vidimo, da je EU proizvedla največje količine električne energije iz obnovljivih virov v primerjavi s svetom, na sliki 10 pa je ta proizvodnja električne energije iz obnovljivih virov podrobneje predstavljena.

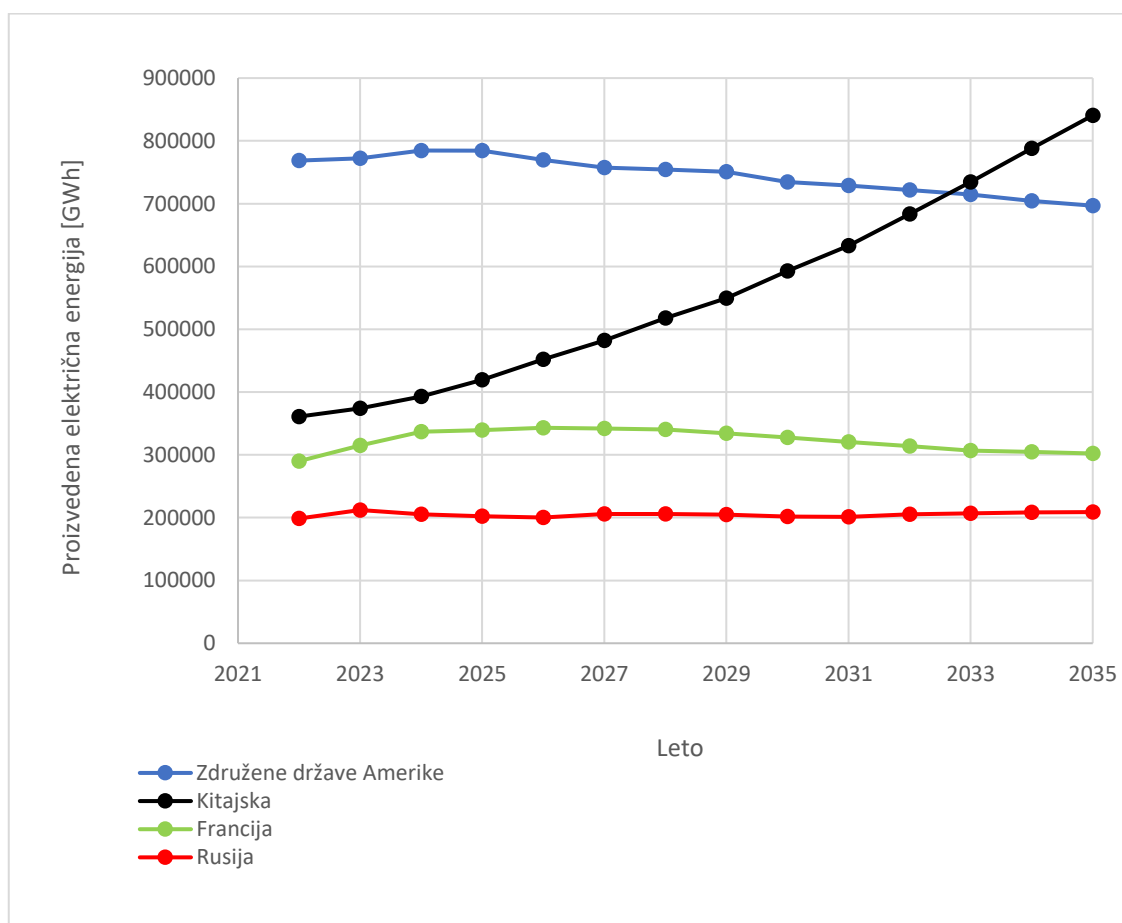
Slika 11: Mešanica obnovljivih virov električne energije v EU



Vir: prirejeno po EurObserv'ER (2023).

Slika 11 prikazuje povečevanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov, še posebej na področju sončne energije, kjer se je proizvodnja od leta 2013 do leta 2021 povečala za 5,18 % vse proizvedene električne energije. Opazimo tudi, da je se odstotek vodne energije z leti zmanjševal. To ne pomeni, da so začeli z aktivnim zapiranjem hidroelektrarn, temveč da se je količina proizvedene električne energije povečala ter so se nekatere druge vrste elektrarn gradile hitreje.

Slika 12: Proizvodnja električne energije z uporabo jedrske energije (v GWh)

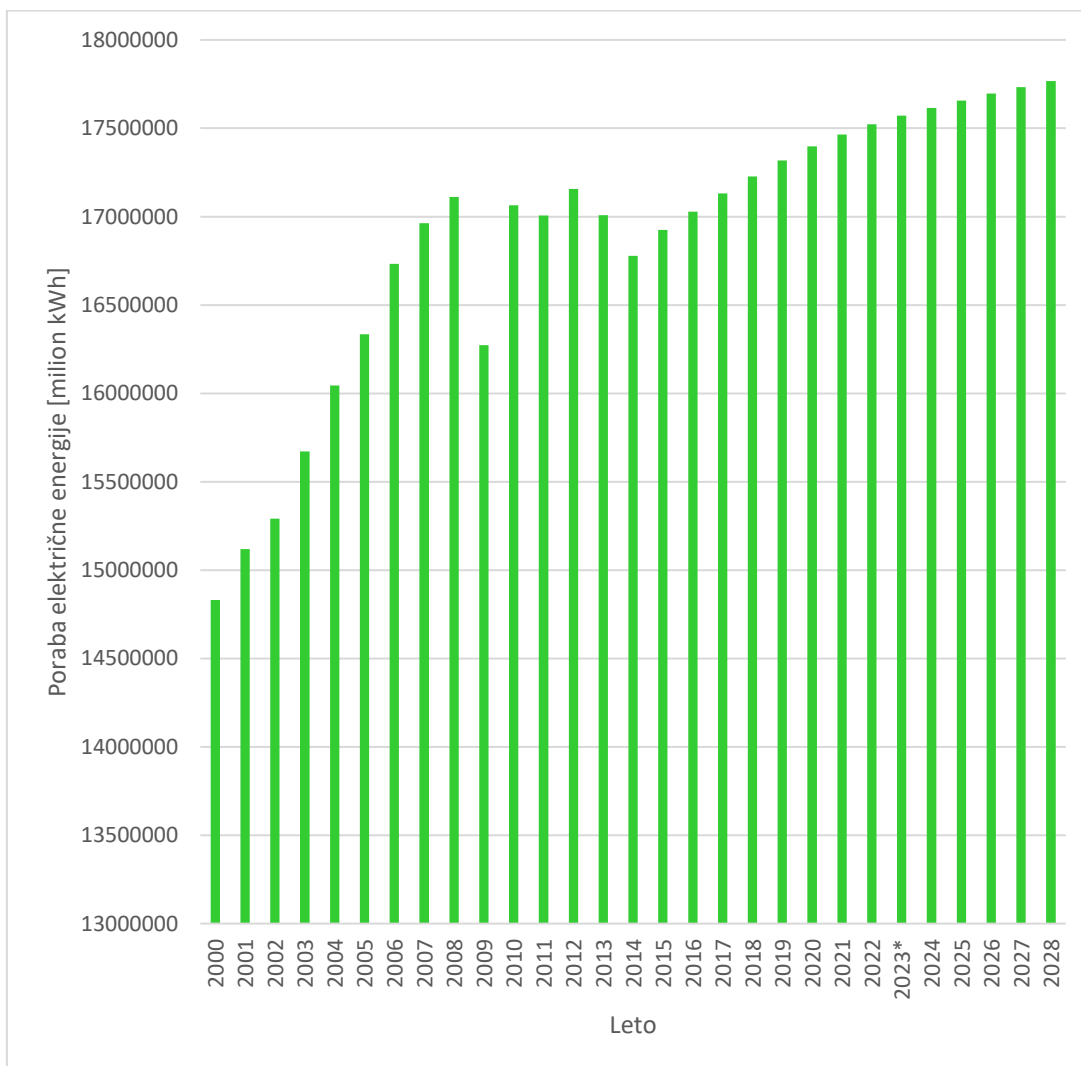


Vir: prirejeno po Energy Monitor (2023).

Slika 12 prikazuje napoved proizvodnje električne energije z uporabo jedrske elektrarne do leta 2035 in primerja svetovne velesile v uporabi jedrskih elektrarn, to pa so Združene države Amerike, Kitajska, Francija (kot največji proizvajalec električne energije z uporabo jedrske energije v Evropi) in Rusija. Jedrska energija ni oblika obnovljivih virov energije, vendar je zaradi nizke ogljičnosti velikokrat obravnavana skupaj z obnovljivimi viri energije, saj omogoča prehod na brezogljeno družbo. Vodilne v proizvodnji električne energije z uporabo jedrske elektrarne so Združene države Amerike nato sledi Kitajska, zatem pa Francija in Rusija. Napovedovanje uporabe jedrske energije v prihodnosti pa nakazuje, da

naj bi v letu 2033 Kitajska presegla Združene države Amerike in zasedla vrh. Slika 12 prikazuje, da velika pridobivanja električne energije v prihodnosti, z uporabo jedrskih elektrarn, ne bodo nastopila, saj se bo v večini primerov pridobivanje ustalilo ali celo zmanjšalo. Izjema naj bi bila Kitajska, katere kapacitete naj bi se zelo hitro povečevale. Čeprav na sliki 12 predstavlja države, ki so v samem vrhu glede proizvodnje električne energije iz jedrskega goriva, pa je zanimivo, da se celotno območje Združenih držav Amerike, primerja le z eno evropsko državo, Francijo (Energy Monitor, 2023).

Slika 13: Skupna poraba elektrike v Evropi od leta 2000 do 2028 (v milion kWh)



Opomba: * označuje začetek napovedi za prihodnost do leta 2028

Vir: prirejeno po Statista (2023).

Slika 13 predstavlja skupno porabo električne energije v Evropi od leta 2000 do leta 2028. Razvidno je, da v večini poraba električne energije raste. Predvidena poraba električne energije v prihodnosti naj bi od leta 2023 do leta 2028 narasla kar na 177,676 milijona kWh. Povečevanje porabe električne energije v prihodnosti je, glede na porabo v preteklosti,

razumljivo, zanimivo pa je, da je veliko večja razlika med leti 2000 in 2007 kot med leti 2017 in 2027, kjer je sprememba porabe nižja (Statista, 2023). Vseeno se vprašamo, kako to, da v prihodnosti porast porabe energije ni tako hitra. Za odgovor se lahko obrnemo na razmišljanje družbe današnjega časa, napredek tehnologije, količino njene uporabe in druge razloge. Leta 2000 in kasneje se je uporaba električnih porabnikov drastično začela povečevati, saj so se kar na enkrat pojavili vsepovsod. Dandanes pa ljudi ozaveščamo o porabi električne energije in o njeni pomembnosti ter shranjevanju. Ljudje tako razumejo njeno delovanje in njeno proizvodnjo, zato se je mentaliteta spremenila v bolj ekološko. Ljudje posledično varčujejo z električno energijo in uporabljajo električne aparate, ki porabijo manj električne energije. Tu nastopi tudi pomembnost napredka tehnologije, ki jo uporabljajo potrošniki, in tehnologije proizvodnje. Z novimi znanji, večjim napredkom in izumi, ki temeljijo na izkušnjah in raziskavah, vedno znova na trg prihajajo tehnologije, ki za svoje delovanje uporabljajo manj električne energije. Ta preskok je še posebno viden pri beli tehniki, specifično pri hladilnikih in zamrzovalnikih. Bela tehnika je vrsta tehnologije, ki za svoje delovanje stalno porablja električno energijo. Zaradi potrebe po neprekinjenem delovanju, je zgrajena iz komponent, ki prenašajo daljše časovne obremenitve, obenem pa konstantno uporabljajo električno energijo. Bela tehnika je eden od večjih porabnikov električne energije v običajnem stanovanju, zato so poskušali proizvesti tehnologijo, ki bi za svoje delovanje porabila manj električne energije. Na trg so tako prihajali novejši in boljši aparati, starejši pa so se prenehali proizvajati. Dandanes ima bela tehnika različne označbe, ki nam podajajo informacije o naprednosti uporabljene tehnologije v aparatu. Tako z uporabo te novejša in energetske bolj učinkovite tehnologije razumemo, da se v prihodnosti poraba električne energije v Evropi zmanjšuje (BP, 2022; University of California Museum of Paleontology, brez datuma; Enerdata, 2009; Nye, 2004; Pernick in drugi, 2011; Voelcker, 2022).

4 PREGLED IZBRANIH TEHNOLOGIJ ZA PRIDOBIVANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

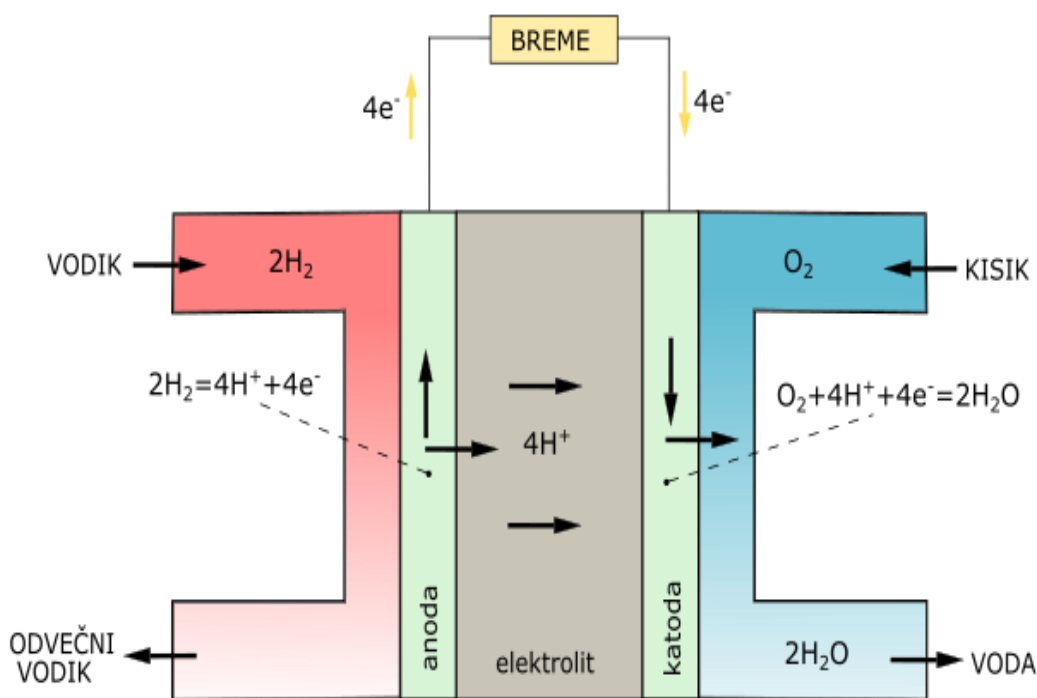
4.1 Gorivna celica

Gorivna celica je ena izmed novejših in trenutno bolj raziskovanih tehnologij za pridobivanje električne energije ter deluje na principu elektrolize. Električna energija je energent, ki ga je potrebno uporabiti v času njegove proizvodnje, kar z drugimi besedami pomeni, da želimo proizvesti tolikšno količino električne energije, kolikor je v danem času potrebujemo (Lotrič, 2017; Rozman, 2020).

Kot je prikazano na sliki 14, gorivna celica deluje na način, da z uporabo vodika in kisika proizvaja električno energijo. Gorivo gorivne celice, na sliki 14 prikazan vodik, je doveden do anode (negativno nabite elektrode). Vodik se ob stiku z anodo razdeli na pozitivne protone in negativne elektrone. Na elektrodo je nanešen katalizator, ki kemijsko reakcijo

pospeši. Elektrolit ne prepušča, da bi elektroni pronicali skozenj, zato jih pošljemo po zunanjem tokokrogu. S prenosom elektronov po zunanjem tokokrogu dobimo gibanje elektronov, kar nam daje električni tok v katerem je nameščen porabnik ali breme električne energije. Elektrolit, ko je navlažen, s svojo strukturo omogoča prehod protonov na drugo stran in omogoča kemijsko reakcijo. Pri običajnih obremenitvah kemijska reakcija poskrbi za navlaženost elektrolita, pri nizkih obremenitvah pa moramo vstopajoči plin, pred vstopom v gorivno celico, navlažiti, da reakcija steče. Na drugi strani elektrolita na katodo (pozitivno nabito elektrodo) dovajamo kisik. Ko se kisik, protoni in elektroni ponovno združijo na katodi, se tvori voda. Vodo nato odvajamo iz gorivne celice. V primeru, da se voda ne odvaja dovolj hitro, se gorivna celica lahko zalije, kar pomeni, da voda ne dopušča dostopanja plinov v gorivno celico. Celotni proces se nato nepretrgoma ponavlja in tako generiramo električno energijo (Lotrič, 2017; Pavlin, 2015; Rozman, 2020).

Slika 14: Sestava in delovanje gorivne celice



Vir: prirejeno po Rozman (2020).

Tehnologijo gorivne celice lahko umestimo med tehnologije za pridobivanje električne energije, poleg tega pa lahko služi kot shranjevalnik energije. Gorivna celica je sestavljena tako, da proizvaja električno energijo z uporabo vodika. V primeru, da nastane presežek električne energije, pa sistem lahko obrnemo. Ko se sistem gorivne celice obrne, se izvaja nasprotna kemijska reakcija kot prej. Tako gorivna celica postane porabnik, ki ji dovedemo

električno energijo z namenom, da vodo, ki vstopa v gorivno celico, razdelimo na vodik in kisik. Vodik nato ujamemo in skladiščimo (Lotrič, 2017; Rozman, 2020).

Ker gorivna celica nima premikajočih se delov, je njena življenjska doba zelo dolga. Trenutno lahko vodik, z uporabo gorivne celice, pridobivamo na okolju prijazen ali neprijazen način. Pridobivanje vodika na okolju neprijazen način se trenutno vseeno uporablja za proizvodni vodik, tako imenovani vodik, ki se uporablja v podjetjih in je nato uporabljen v različnih delih proizvodnje, največkrat kemične, za proizvodnjo zdravil (Lotrič, 2017; Rozman, 2020).

Leta 2015 so podjetja Toyota, Hyundai in Honda na trgu predstavila električna vozila na vodik, kjer so za pogon elektromotorja uporabili nizkotemperaturne gorivne celice (Voelcker, 2022). Večina trenutnih električnih avtomobilov uporablja baterije, ki po daljšem uporabljanju ne dosegajo več svoje začetne zmogljivosti. Ko baterija začne dosegati le 70 % svoje začetne zmogljivosti, jo je potrebno zamenjati (Battery University, 2019). To poleg neekonomičnosti kaže tudi na to, da ima zadnji del življenjskega cikla baterije še vedno velik vpliv na okolje. Pri uporabi gorivne celice se količina prostora, ki je uporabljena za shranjevanje goriva, zmanjša, poleg tega pa avtomobilu dodajo rezervoar za vodik, ki kot pretvorni energent lahko proizvede večje količine električne energije kot baterije. Tako z uporabo gorivne celice povečamo tudi domet vozila. Kot že omenjeno, gorivna celica nima premikajočih se delov. To omogoča počasnejšo rabo materialov in posledično daljšo življenjsko dobo, v primeru izrabe določenega dela pa je sestavni del gorivne celice mogoče enostavno zamenjati, ali pa zamenjati celotno gorivno celico v sklopu (Lotrič, 2017; O'Hayre in drugi, 2016; Crabtree in drugi, 2004).

Različne gorivne celice so primerne za različne zahteve in pogoje, kjer se uporabljajo. Največkrat jih razdelimo glede na elektrolit. To so:

- gorivne celice s protonsko prevodno membrano (v nadaljevanju tudi PEMFC),
- alkalne gorivne celice (v nadaljevanju tudi AFC),
- gorivne celice s taljenim karbonatom (v nadaljevanju tudi MCFC),
- trdno oksidne gorivne celice (v nadaljevanju tudi SOFC) in
- gorivne celice s fosforno kislino (v nadaljevanju tudi PAFC).

Nekatere od naštetih za svoje delovanje poleg vodika uporabljajo tudi metan in ogljikov monoksid. Delujejo v različnih temperaturnih območjih, med 60 °C in 1000 °C, prav tako pa je od njihovih lastnosti in delovanja odvisen tudi izkoristek, ki dosega do 60 % (Rozman, 2020).

Ker so gorivne celice ena od novejših tehnologij, pridobivanje električne energije za potrebe gospodinjstev še ni fizično izvedeno, vendar se v praksi ne razlikuje od tega, za kar jih uporabljamo sedaj. Kljub temu so gorivne celice še vedno v razvoju in njihov potencial še ni dokončno odkrit. Možnost uporabe gorivne celice kot dodatnega vira električne energije

v samozadostnih domovih dandanes morda še ni rešitev, vendar pa z napredno tehnologijo in razvojem v prihodnosti lahko pričakujemo različne implementacije gorivne celice, tako na področju transporta kot na področju samooskrbe (Ormerod, 2003; Pavlin, 2015; Rozman, 2020).

Tehnične lastnosti tehnologije gorivne celice

Tehnične lastnosti gorivnih celic se med seboj razlikujejo glede na vrsto gorivne celice. Predstavljene so v tabeli 1.

Tabela 1: Tehnične lastnosti različnih vrst gorivnih celic

	PEMFC	AFC	MCFC	SOFC	PAFC
Obratovalna temperatura [°C]	80	60-220	650	600-1000	200
Uporabljeno gorivo	H ₂ , metanol	H ₂	H ₂ , CH ₄	H ₂ , CH ₄ , CO	H ₂
Moč [kW]	0,001-10000	1-100	100-100000	10-100000	50-1000
Izkoristek [%]	40-60	50	45-55	50-60	40

Vir: prirejeno po Rozman (2020).

Kot omenjeno, nizkotemperaturna gorivna celica, na kateri se opravljajo raziskave zaradi možnosti implementacije v različne sisteme, lahko proizvaja 0,5 V vendar jih je zaradi strukture možno povezati zaporedno v sklope. Tako lahko govorimo, da različne gorivne celice proizvajajo od 1 W do 100 MW, na delovni temperaturi od 60 °C do 1000 °C. Tudi njihovi izkoristki se gibljejo med 40 % in 60 %, cenovno pa bi bila cena od 3 EUR do 800 EUR za ustvarjen W moči. Različne gorivne celice uporabljamo za različno zahtevne pogoje in glede na to izberemo tisto, ki najbolj ustreza pogojem (Lotrič, 2017; Rozman, 2020; Stropnik, 2020).

Prednosti tehnologije gorivne celice

Tehnologija gorivnih celic je raziskovana in prisotna že dlje časa, zato je v primerjavi z drugimi obravnavanimi novimi tehnologijami pridobivanja električne energije bolj prilagodljiva. Poznamo več vrst gorivnih celic, med katerimi v zadnjem času kažejo velik napredek nizkotemperaturne gorivne celice. Gre za različico gorivnih celic, ki pri svojem delovanju ne uporabljajo visokih temperatur, kar pomeni, da za delovanje porabljajo manj

energije in so tako tudi varnejše. Gorivne celice so sestavljene iz statičnih elementov in pri delovanju ni gibljivih delov, zato je njihova življenjska doba daljša, saj je obraba materialov nižja v primerjavi s stroji, ki so sestavljeni iz gibljivih delov. Glede na to, da ena gorivna celica proizvede približno 0,5 V, večje število gorivnih celic z željo po večji napetosti zaporedno povezujemo v večje sklope, kar nam posledično omogoča povečati izhodno moč. Tako opazimo, da je teoretična možna zelena izhodna moč sklopa gorivnih celic neskončna, pri čemer smo omejeni le na prostorsko omejitev. Tehnologija gorivne celice za svoje delovanje uporablja elektrolizo, kjer z uporabo vodika in kisika proizvaja električno energijo in vodo. Zaradi enostavnega procesa in strukture pa je proces elektrolize možno obrniti z dovodom električne energije in vode, kjer nato pridobivamo vodik in kisik. Tako vidimo vsestranskost uporabe, saj njeno delovanje kaj hitro lahko obrnemo, kar pomeni, da bi odvečne količine električne energije, ki je porabniki ne porabijo, lahko uporabili za proizvodnjo vodika, ki bi nam nato služil za proizvodnjo električne energije, ko je potreba po električni energiji tako velika, da je proizvodnja ne dosega. Zaradi naprednosti in raznolike možnosti implementacije se gorivne celice začenjajo uporabljati tudi v avtomobilski industriji, kjer bi velike in težke baterije, ki se počasi polnijo, zamenjali rezervoarji za vodik in gorivne celice. S tem bi se čas polnjenja ponovno povrnil na čas običajnega polnjenja vozila na fosilna goriva, medtem ko bi električni avtomobil še vedno dosegal enake ali daljše domete (Lotrič, 2017; Pavlin, 2015; Rozman, 2020; Crabtree in drugi, 2004; Zoller in drugi, 2022).

Glede na to, da je tehnologija tako prilagodljiva, opazimo da se lahko povezuje tudi z drugimi sistemi, kot je rafinerija sončne svetlobe. Tu bi pridobljeno toplotno energijo, ki jo pridobimo z uporabo sončne rafinerije, spremenili v električno energijo in z njo proizvajali vodik, tega pa transportirali in na zelenih mestih ponovno proizvajali električno energijo. Velik potencial tehnologije gorivnih celic se tako skriva v shranjevanju energije, kjer bi energijo, ki ni konstantno proizvedena kot električna energija iz vetrnih in sončnih elektrarn, na nek način shranili in konstantno dovajali nazaj v omrežje ob povečanih potrebah. Poleg tega pa bi sistem lahko uporabljali tudi za lažji transport energije na območja, kjer bi potrebovali električno energijo, saj sta skladiščenje in transport vodika vedno boljša (Lotrič, 2017; O'Hayre in drugi, 2016; Pavlin, 2015; Rozman, 2020; Crabtree in drugi, 2004).

Slabosti tehnologije gorivne celice

Tehnologija gorivne celice je, čeprav z veliko prednostmi, še vedno v razvoju, saj poskušamo izboljšati njen izkoristek in odpraviti nekatere negativne lastnosti. Gorivna celica mora za svoje delovanje v stanju zagona doseči določeno temperaturo, da lahko deluje optimalno. Tudi v primeru, če želimo sistem obrniti in proizvajati vodik, je potrebno sistem segreti na določeno temperaturo, kjer proces ločevanja atomov začne delovati. Tako pred delovanjem in pri zaustavitvi procesa potrebujemo določen čas, v katerem stanje gorivne celice ni optimalno in je nepripravljeno za delovanje. Prednost različnih vrst gorivnih celic in s tem številne možnosti različnih implementacij nam omogočajo uporabiti gorivno celico v katerem koli okolju. Vseeno pa se moramo zavedati, da vse gorivne celice niso enake in

tako vse niso primerne za uporabo na vseh področjih. Kot primer si lahko ogledamo gorivne celice s fosforjevo kislino ali PAFC, ki kot elektrolit uporabljajo fosforjevo kislino, njihovo delovno temperaturno območje pa sega okoli 200 °C, medtem ko je njihov izkoristek 40 %. Čeprav ima gorivna celica veliko prednosti, kot so delovanje v sredinskem temperaturnem območju, njen elektrolit je lahko dobavljiv in za oksidant lahko uporabljamo navadni zrak, ni primerna za vse vrste uporabe, saj nekatere različice gorivnih celic za svoj zagon potrebujejo daljše časovno obdobje, za katalizator uporabljajo platino, ki kot dragocena kovina kaže na visoke stroške ter optimalno delovanje dosežemo le v stacionarnem delovanju. To pomeni, da je za uporabo gorivnih celic potrebno poznavanje obratovalnega okolja vnaprej, saj le tako lahko dosežemo željene rezultate. V primeru neupoštevanja parametrov, lahko gorivna celica deluje v neugodnih območjih, kar se odraža v nizki izhodni moči ali pa se proces delovanja ne izvaja (Lotrič, 2017; Pavlin, 2015; Rozman, 2020; Crabtree in drugi, 2004).

Za proizvodnjo električne energije z uporabo gorivne celice je potreben vodik. Trenutno ga proizvajamo na dva načina: z elektrolizo ali pa z uporabo zemeljskega plina in premoga. Z uporabo fosilnih goriv za proizvodnjo vodika se negativni vpliv na okolje ne zmanjšuje, kar pa je ena od primarnih nalog novih tehnologij. Tako nam na voljo ostane elektroliza vode, ki pa je možna le pri uporabi električne energije. Uporabe električne energije za proizvodnjo vodika in nato ponovno uporabo vodika za proizvodnjo električne energije je nesmiselna in neupravičena, saj so pri vsaki spremembi, poleg željenega procesa, prisotne tudi izgube. Uporaba električne energije iz omrežja pri velikih potrebah zato ni upravičena, saj bi se s pretvorbami energije le povečevale izgube. Vseeno pa je delovanje sistema upravičeno v primeru uporabe sistema z vetrno ali sončno elektrarno. Vetrna in sončna elektrarna neposredno proizvajata električno energijo, vendar je njuno delovanje odvisno od naravnih pogojev v danem trenutku. S povezavo sončne ali vetrne elektrarne z gorivnimi celicami, bi proizvedeno električno energijo lahko shranili v obliki vodika ter jo nato v večji porabi spremenili nazaj v električno energijo. Evropska unija v svojem načrtu za prihodnost vodika razmišlja o pomembnosti razogljčevanja transportnega sektorja in sektorja težke industrije, ki sta trenutno dva od največjih onesnaževalcev. Glavno vodilo pa je postavljanje vodika v ospredje za zagotavljanje prehoda na zeleno ekonomijo. (Lotrič, 2017; O'Hayre in drugi, 2016; Pavlin, 2015; Rozman, 2020; Vivanco-Martín in Iranzo, 2023; Crabtree in drugi, 2004).

4.2 Rafinerija sončne svetlobe

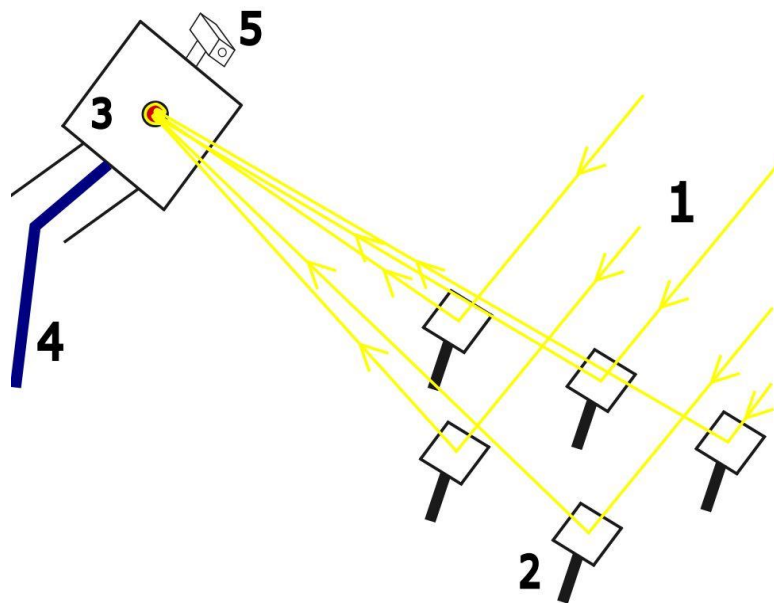
Ena najnovejših tehnologij je tehnologija rafinerije sončne svetlobe. Trenutno je postopek delovanja na testni stopnji, vendar glede na do sedaj dobljene rezultate vidimo velik potencial. Lahko bi rekli, da s to tehnologijo odpravimo dve večji vprašanji sončnih celic, njihovo življenjsko dobo in shranjevanje električne energije.

Rafinerija sončne svetlobe za svoj obnovljivi vir uporablja sončno energijo. Medtem ko sončne celice sončne žarke neposredno pretvorijo v električno energijo, rafinerija sončne svetlobe energijo sonca spremeni v toploto, saj na nek način govorimo o zelo velikem povečevalnem steklu. To dosežemo tako, da na sončnem območju postavimo ogledala, ki odbijajo sončno svetlobo. Ta ogledala nato obračamo tako, da se odbojni koti sončne svetlobe na vseh zrcalih hkrati osredotočijo na eno samo točko, ki dosega izredno visoke temperature, tudi do 1500 °C. S to pridobljeno visoko temperaturo segrejemo drugo telo, ki zadržuje toploto. Telo, ki ga segrevamo, je dobro izolirano, da se njegova temperatura ne znižuje. V testnem primeru se kot ogrevano telo uporablja kamenje, ki jih v toplotno-izolirani posodi segrevajo. Ker je telo, ki mu dajemo toplotno energijo, v trdnem stanju, je za doseganje željene temperature potrebna zelo velika količina toplote, vendar ima to svojo prednost. Zaradi strukture atomov, ki so v trdnem stanju med seboj povezani v kristalno obliko, je njihovo gibanje zelo omejeno in njihovo segrevanje, kot prenos energije traja dlje časa, vendar se po doseženi določeni temperaturi ohlajevanje takšnega predmeta upočasni. Tako dobimo neke vrste shranjevalnik energije v obliki toplote. Ta toplota se nato lahko skladišči in zatem uporablja za segrevanje vode. Voda se tako kot pri drugačnih načinih pridobivanja električne energije z vodno paro, spremeni v plinasto stanje, ta plin pa nato zavrti turbino. Turbina je z osjo povezana z električnim generatorjem in ko se ta zavrti, začnemo proizvajati električno energijo. Teoretično je del procesa pridobivanje električne energije enak kot pri pridobivanju električne energije z uporabo jedrske elektrarne, le da je kot primarni vir namesto uranove rude uporabljeno sonce. Poleg tega se s tem načinom izognemo nevarnim snovem in kot stranski produkt ne proizvajamo nevarnih radioaktivnih odpadkov. Tudi pridobljena energija z uporabo tehnologije rafinerije sončne svetlobe je vsestransko uporabna, saj pridobimo toploto, ki jo nato lahko pretvorimo v električno energijo, obenem pa se ta toplota lahko uporablja tudi v industriji (Heliogen, brez datuma; King, 2022; Zoller in drugi, 2022).

Pridobivanje energije z uporabo sončne rafinerije je prikazano na sliki 15, ki predstavlja slednje elemente procesa:

- sončne žarke (1),
- odbojna ogledala (2),
- površino, na kateri se skoncentrira sončna svetloba (3),
- prenos toplote na drugo materijo (4) in
- kamero za kalibracijo odbojnega kota ogledal (5).

Slika 15: Sestavni deli in delovanje tehnologije rafinerije sončne svetlobe



Vir: lastno delo na podlagi King (2022).

Rafinerija sončne svetlobe pa prikazuje obetavnejše rezultate, saj za svoje delovanje uporablja tudi umetno inteligenco. Pri običajnih sončnih panelih se po nastavitvi in zagonu elektrarne dopolnjuje in spreminja le malo stvari, saj je predpostavljeno statično delovanje sistema, razen v primeru sončnih panelov, kjer se do določenega kota lahko prilagajajo naklonu sončnih žarkov. Pri uporabi sistema rafinerije sončne svetlobe, ki je trenutno še v razvojnem stanju, je montaža zrcal opravljena na posebna nosila, ki jih lahko do $1/10^\circ$ kota natančno zasukajo. Glavna razlika pa je v tem, da kot zrcal nadzorujejo kamere, ki svoje rezultate poročajo sistemu, ta pa z uporabo pridobljenih podatkov vsakih nekaj sekund, za vsako ogledalo posebej, popravi in nastavi kot, da je odboj svetlobe resnično optimalen. Tukaj nastopi uporaba umetne inteligence. Obstajajo tudi drugi sistemi, ki na podoben način segrevajo zalogovnik energije, vendar je njihova temperatura največkrat dosegala le okoli 400°C do 500°C , medtem ko z uporabo tehnologije rafinerije sončne svetlobe, v testnem stanju, lahko dosegajo temperature tudi do 1500°C . S tem lahko zalogovnik toplote segrejejo tako, da shranijo energijo tudi na tedenski ravni (King, 2022; Zoller in drugi, 2022).

Pomembna lastnost tega sistema je lokacija nameščene tehnologije, saj se nahaja na ravni površini, kjer je čim večja prisotnost sončne svetlobe skozi leto, zato je sistem primeren za postavitev v puščavah. Testna enota podjetja Heliogen trenutno zajema energijo sonca s 400 zrcali, kar bi se nato povečalo na 4000 zrcal za industrijsko proizvodnjo. Njihov cilj je postaviti 3000 rafinerijskih stolpov do konca tega desetletja, razpršene v svetovnih puščavah, nato pa bi proizvedeni vodik kot shranjeno električno energijo transportirali na dele sveta, kjer ni potrebnih pogojev za takšno pridobivanje električne energije. Teoretično bi z zapolnitvijo približno 1717856 km^2 površine lahko zadovolji vse trenutne potrebe po energiji na svetu (King, 2022; Zoller in drugi, 2022).

Tehnične lastnosti tehnologije rafinerije sončne svetlobe

Glede na to, da je tehnologija še vedno v stanju razvoja in trenutno še vedno potekajo poskusi, so tehnične lastnosti težje definirane. Vemo, da nastavljamo kot sončnega odboja v natančnosti $1/10^\circ$, segrevamo materijo s temperaturo do $1500\text{ }^\circ\text{C}$ in proizvajamo električno energijo na način uparjanja vode in parne turbine. Točno določenih podatkov cen in količine pridobljene električne energije podjetje Heliogen še ne razkriva, saj tehnologija še ni dobila zelene luči za komercialno uporabo, vendar so rezultati poskusa zelo obetavni (Heliogen, brez datuma; King, 2022; Zoller in drugi, 2022).

Prednosti tehnologije rafinerije sončne svetlobe

Glede na to, da je tehnologija rafinerije sončne svetlobe še vedno v raziskovalnem stanju, je treba razumeti, da v primeru implementacije izbrane tehnologije lahko pride do manjših sprememb na področju prednosti in slabosti.

Kot eno od pomembnejših prednosti tehnologije rafinerije sončne svetlobe lahko navedemo čistost proizvodnje. Tehnologija za svoje delovanje uporablja obnovljiv vir energije (sončna svetloba) in pri proizvodnji električne energije ne proizvaja okolju škodljivih plinov ali snovi. Tudi pri pregledu sestavnih delov tehnologije ne naletimo na materiale, ki bi škodovali okolju ali pa bi bila njihova svetovna zaloga zelo nizka. Z uporabo zrcal se izognemo tudi popravilom in težki menjavi, obenem pa je ohranjanje njihovega optimalnega delovanja zelo enostavno, saj tehnologijo uporabljamo na območju, kjer ni veliko nepredvidljivih naravnih pojavov, ki bi tehnologijo lahko poškodovali. Poleg tega iz sestave tehnologije ugotovimo, da je za uporabljen material pri delovanju izbrane tehnologije visoka možnost reciklaže in ponovne uporabe (King, 2022; Voelcker, 2022; Zoller in drugi, 2022).

Največja prednost rafinerije sončne svetlobe je vsestranskost uporabe proizvedene energije in zmožnost shranjevanja energije v obliki vodika in njegovega transporta. Pri uporabi tehnologije proizvedemo toploto, ki jo nato skladiščimo v trdnem materialu za daljše shranjevanje, to toploto pa nato lahko uporabimo za proizvodnjo vodne pare, ki poganja turbino za proizvodnjo električne energije. Zavedamo pa se, da so pri vsaki pretvorbi energij prisotne izgube, zato tudi brez dodatne pretvorbe vidimo visoko uporabnost proizvedene toplote. To energijo toplote lahko uporabljamo za ogrevanje, industrijo ali proizvodnjo električne energije in tako vidimo zmožnost različne uporabe, kar nakazuje, da bi bila tehnologija lahko zelo prilagodljiva zahtevam trga. Kot omenjeno, tehnologija omogoča skladiščenje in pretvorbo v vodik. Vodik, v tekočem stanju, pa lahko skladiščimo dlje časa in ga medtem tudi transportiramo, kar pomeni, da je lokacija postavitve rafinerije sončne svetlobe bolj odvisna tudi od transporta vodika, medtem pa je pomembna čim višja osončenost. Zmožnost skladiščenja in transporta nam omogoča tudi proizvodnjo in uporabo električne energije na mestu, kjer njena proizvodnja ni mogoča, kot so deževna in meglena področja (King, 2022; Zoller in drugi, 2022).

Trenutni sistem delovanja rafinerije sončne svetlobe je zastavljen tako, da za njegovo delovanje ne potrebujemo veliko ljudi, saj tudi najmanjše kalibracije odbojnih kotov zrcal natančno nastavljajo elektromotorji, ki so računalniško vodeni. Za optimalno delovanje pa so uporabljene kamere, ki v realnem času zajemajo barvo modrine na zrcalih in z uporabo umetne inteligence primerjajo barvo za zagotavljanje največje možne pridobljene temperature. Kot že omenjeno, je osnovni proizvod toplota, ki jo skladiščimo, ta pa se kasneje lahko uporablja v različne namene. Da bi iz zajete toplote proizvajali električno energijo, bi bila potrebna nadgradnja sistema v povezavi z drugim sistemom, kot je na primer parni sistem s turbino za proizvodnjo vodika. Čeprav že pridobljeno toplotno energijo lahko skladiščimo daljše časovno obdobje, sta preobrazba v vodik in njegovo skladiščenje enostavnejša in dolgotrajnejša. Glede na zasnovo in v neki meri preprostost delovanja tehnologije, je možnost povečevanja sistema in povezovanja večjega števila sistemov smiselna in enostavna. Glavna potreba je dovolj velika površina s konstantno visoko koncentracijo dnevne svetlobe (King, 2022; Zoller in drugi, 2022).

Slabosti tehnologije rafinerije sončne svetlobe

Čeprav se zdi, kot da je tehnologija rafinerije sončne svetlobe ena od najboljših, ima vseeno tudi svoje slabosti.

Dosežene temperature, ki jih uporabljamo s tehnologijo, so zelo visoke. Glede na to, da pri delovanju sistema z željo, da vso svetlobo preusmerimo v eno točko, ki jo segrejemo na visoko temperaturo, se moramo zavedati, da se med procesom segrevajo tudi ostali elementi, med drugim zrcala. Čeprav v testnem obdobju ni bilo zasledenih posebnosti, se z visokimi temperaturami in konstantnim segrevanjem in ohlajevanjem struktura elementov spreminja. Čeprav so elementi statični in je njihovo delovanje ves čas enako, se v notranjosti materialov še vseeno dogajajo spremembe, ki bi v prihodnosti lahko poškodovale sistem in zahtevale hitrejšo menjavo (King, 2022; Zoller in drugi, 2022).

Z digitalizacijo in napredno tehnologijo dandanes dosegamo visoke cilje in za njihovo izpolnjevanje največkrat uporabljamo tehnološki napredek kot so roboti, mehanizmi, avtomatizacija itn. Sistem rafinerije sončne svetlobe za svoje delovanje uporablja robotsko krmiljenje in za izračunavanje umetno inteligenco. Število zaposlenih, ki so potrebni za uporabo tega sistema, je zelo nizko, saj je človek prisoten v procesu postavitve in popravila, med neprekinjenim delovanjem pa naj bi delovali le določeni zaposleni, ki bi potek sistema nadzorovali. Glede na to, da je pridobivanje električne energije ena večjih in bolj pomembnih industrij, bi lahko razumeli, kako velik šok bi nastal v primeru postavitve dovolj velikega števila rafinerij sončne svetlobe, še posebej za trenutno zaposlene delavce v drugih tehnologijah za proizvodnjo električne energije, katerih dejavnosti kasneje morda ne bi potrebovali (King, 2022; Zoller in drugi, 2022).

Pri postavitvi smo že omenili, da je potrebna ravna površina, na kateri je prisotna čim večja količina dnevne sončne svetlobe, zato je namen, da bi tehnologijo rafinerije sončne svetlobe

postavili v puščave. Čeprav se nam zdi, da so puščave neuporabljen del sveta, se moramo zavedati, da je puščava tudi na nek način svojevrsten ekosistem, kjer živijo določene vrste živali, ki so se na to posebno življenjsko okolje prilagodile. Visok poseg v njihovo okolje bi bil vseeno lahko škodljiv, zato bi pred postavitvijo morali razumeti in raziskati področje, kjer bi se tehnologija nahajala. Glede na to, da puščave, ki so primerne za takšno postavitve tehnologije niso vsepovsod, je potrebno razmišljati tudi o možnosti nadziranja pridobljene energije. Tako bi lahko posamezne države teh območji začele z razmišljanjem, kjer bi narekovale izvoz in ceno proizvedene energije. Na ta način bi države ali območja sveta, kjer električne energije na tak način ni možno proizvesti zaradi podnebnih razlogov, postala veliko bolj odvisna od drugih (King, 2022; Zoller in drugi, 2022).

Transport električne energije v obliki vodika je velika prednost. Vseeno pa se moramo zavedati, da je vodik visoko eksplozivni plin, kjer transport ni tako enostaven, saj zanj potrebujemo posebne shranjevalnike in rezervoarje. Ti specifični načini shranjevanja in transporta vodika so potrebni, saj del vodika lahko pronica tudi skozi stene običajnih rezervoarjev, obenem pa ob razlitju ali nesreči med transportom doda tveganje. Ker bi se za transport najverjetneje uporabljala običajna transportna sredstva, kot so cisterne in tovornjaki, pri transportu posledično še vedno proizvajamo okolju škodljive pline. To bi se lahko spremenilo, ko bi prevozna sredstva začela obratovati na vodik. Drugi možni način za transport vodika je uporaba cevovodov. Med njihovo uporabo bi se izognili proizvodnji okolju škodljivih snovi, poleg tega pa ne bi potrebovali premikajočih se delov, kar zmanjša možnost okvare med delovanjem. Čeprav je proizvodnja električne energije na ta način možna in visoko zaželeno, se pri vsaki pretvorbi iz toplotne energije v električno pojavljajo izgube. Tako trenutna cena proizvedene električne energije z uporabo rafinerije sončne svetlobe dandanes ni ekonomsko konkurenčna, kar pomeni, da trenutno ni možnega hitrega in visokega preskoka na tehnologijo rafinerije sončne svetlobe z trenutnih virov, vseeno pa podjetje Heliogen stremi k doseganju cene 2 centa za kWh (King, 2022; Kraemer, 2020; Zoller in drugi, 2022).

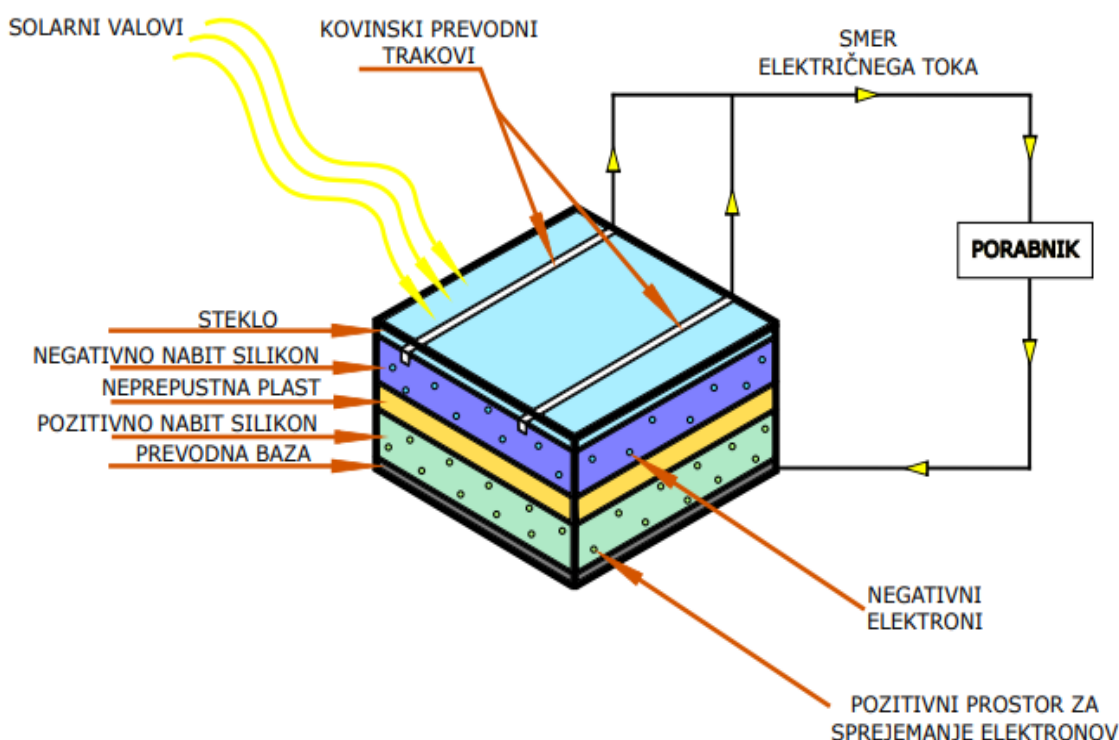
4.3 Manjše sončne elektrarne

Za pridobivanje električne energije z uporabo sonca je najbolj razvita tehnologija sončnih celic. Prvič se je tehnologija začela uporabljati v vesoljske namene, saj so na ta način vesoljske postaje in sateliti lahko ves čas uporabljali električno energijo. Prednost za njihovo uporabo v vesolju pa je bila tudi enostavnost. Glede na to, da sončnega žarka ni oviral oblak ali megla ter umazanija na sončnih celicah, so bili sončni paneli ena od najboljših rešitev, ki se v vesoljski tehnologiji uporabljajo še danes. Kasneje je bila tehnologija prilagojena za komercialno uporabo in s tem beležimo nastanek fotovoltaičnih elektrarn. Poznamo različne vrste fotovoltaičnih elektrarn (bolje poznanih kot sončne elektrarne), ki se v splošnem razdelijo glede na velikost. Večina sončnih elektrarn je skonstruiranih in postavljenih v velikosti vsaj 4 kW. Za postavitve sončne elektrarne sta pomembni tudi lega in usmerjenost površine, na kateri bodo nameščeni sončni paneli (Petrol, 2023). Sestava in delovanje sončne

elektrarne je odvisno od sončnih panelov, ki so med seboj povezani (Bergant, 2013; Pernick in drugi, 2011; Požes, 2018; Sijarić, 2021).

Tehnologija sončnih panelov je precej preprosta in je sestavljena iz šestih povezanih slojev, ki sodelujejo med seboj. Te sloje sestavljajo steklo, steklo s protiodbojnim slojem, jeklena mreža, dve polprevodniški plošči, neprepustna plast in jeklena plošča (Požes, 2018; Pernick in drugi, 2011).

Slika 16: Sestava in delovanje tehnologije sončne celice



Vir: lastno delo na podlagi Požes (2018).

Kot kaže slika 16, je prva plast, katere se dotakne sončni žarek, steklena plast. Za proces pridobivanja električne energije prva steklena plast ni upoštevana kot aktivna plast, saj je uporabljena kot zaščita pred zunanjimi naravnimi pojavi, da zaščiti naslednje plasti, ki dejansko proizvajajo električno energijo in so same po sebi bolj občutljive. Tako sončni žarki preidejo prvo plast, medtem ko fizični materiali, ki bi lahko škodovali celici ali zmanjšali njeno delovanje (kot so voda, različni delci, listje itn.), ostanejo na površini. Ker je steklena plast prosojna, vsa svetloba preide prvo plast in dospe do druge steklene plasti, ki je prevlečena s proti odbojnim slojem, ki daje celicam temno obarvanost. Ta plast omogoča, da sončni žarki preidejo plast vendar, ker so naslednje plasti visoko odbojne, želimo pa zadržati čim več energije, ki je dospela do celice, proti odbojna plast omogoča, da energijo zadržimo na površini dlje časa in s tem uporabimo več njene energije. Tu nastopi specifičnost premaza. V primeru, da bi premaz bil popolnoma črn, svetloba ne bi predrila do naslednje

plasti, poleg tega pa bi se zaradi črne barve hitro povečala temperatura celice. Zaradi nastalih visokih temperatur bi se sestavni deli celice začeli prekomerno segrevati, kar bi vodilo v hitrejšo degradacijo, nižjo učinkovitost in posledično hitrejšo odpoved delovanja. V nasprotnem primeru, ko bi plast obarvali z bolj prosojnim slojem, bi se količina odbite sončne svetlobe povečala in učinkovitost celice bi se ponovno zmanjšala. Naslednji dve plasti, ki ju ločuje neprepustna plast, sta najpomembnejši za pridobivanje električne energije z uporabo sončne celice, saj ti dve plasti dejansko spreminjata sončno energijo v električno energijo. Izdelani sta iz polprevodnega materiala (zgornja iz mešanice silikona in fosforja, spodnja pa iz silikona in bora). Glede na kemično strukturo imata materiala različno število elektronov, kar omogoča, da elektroni potujejo s pozitivne na negativno stran, kar se zgodi, ko se na materialu zadrži dovolj energije. Ko se to zgodi, elektroni, ki niso vezani začnejo iskati najkrajšo pot za potovanje, da bi se razlika v naboju nevtralizirala. Zato prek jeklene mreže in vodnikov začnejo potovati skozi električni porabnik, da dosežejo drugo stran, kjer imamo nižje število elektronov. Jeklena mreža in vodniki so uporabljeni zaradi svojih lastnosti visoke prevodnosti (British Petroleum, 2023; European Commission Staff, 2020; Jojić, 2019; Pernick in drugi, 2011; Požes, 2018; Sijarić, 2021).

Tako s prehajanjem elektronov iz ene strani na drugo, dobimo električni tok, kar pa je posledično električna energija. Moč ene same solarne celice je okoli 0,5 V, kar je v primerjavi z običajno AA-baterijo, ki nam lahko zagotovi 1,5 V, zelo nizko. Zato solarne celice nikoli ne delujejo posamično, ampak jih povezujemo v solarne panele, te pa nato v solarne sisteme. S tem dosežemo večjo napetost in posledično tudi večjo moč. Tako teoretično za večjo moč potrebujemo več sončnih sistemov in napredne materiale, ki bi dopuščali boljšo prevodnost in večji električni tok (Požes, 2018; Pernick in drugi, 2011).

Ker so sončne elektrarne poznane že dlje časa, smo jih začeli implementirati na različne načine. Ena med prvimi idejami je bila postavitve sončnih farm, ki jih lahko vidimo še danes, kjer so pokrili velike površine s sončnimi paneli, da bi lahko proizvedli večjo količino električne energije. Tu je kmalu nastalo veliko vprašanje upravičenosti, saj je postalo etično sporno postavljati sončne sisteme na rodovitno zemljo, kjer se je običajno gojila hrana. Z zmanjšanjem proizvodnje hrane pa država poveča svoj uvoz, kar povečuje njeno odvisnost od drugih držav. Takšno postavljanje sončnih elektrarn na površine, kjer je možna kultura vrtnin, ni priporočljiva in je etično sporna. Vseeno pa se je našla rešitev, ki omogoča postavitev sončnih panelov na višini. Tehnologija se imenuje Agrovoltaika, kjer sončni sistem, s pravilnimi razmaki, namestimo na nosilce in s tem omogočamo kultivacijo zemlje za določene vrtnine (SunContract, 2022). Da bi se podobnim problemom izognili in našli rešitev, so se sončne elektrarne montirale na strehe večjih poslovnih objektov. S tem so dosegli ponovno velike površine, obenem pa zapolnili streho in jo s tem dodatno zavarovali. V začetkih montaže na strehah se je pojavil problem požarne varnosti, saj je bilo gašenje, v primeru požara, oteženo zaradi prisotne električne energije, vendar se je z izpopolnjevanjem tehnologije problem razrešil tako, da je sistem varen za gašenje. Sistem je bil uspešen in zato se je kot naslednja možnost razvila tako imenovana mala sončna elektrarna, ki si jo

potrošniki lahko montirajo na strehe svojih stanovanjskih hiš, še posebej zaradi izboljšane tehnologije in enostavne postavitve. Za malo sončno elektrarno ni potrebnih dolgih načrtovanj in procesov, saj količino montiranih panelov določata površina strehe in njena usmerjenost. Ena glavnih prednosti male sončne elektrarne pa je samozadostnost. Ko je mala sončna elektrarna montirana na streho stanovanjske hiše in je v delujočem stanju, je proizvedena električna energija primarno uporabljena s strani lastnika. V primeru, da je količina električne energije, ki jo lastnikova elektrarna proizvede, premajhna, lastnik iz električnega omrežja pridobi potrebovan primanjkljaj električne energije. V nasprotnem primeru, ko lastnikova mala sončna elektrarna proizvede večjo količino električne energije, kot jo sam potrebuje, odvečno elektriko pošlje v električno omrežje. Tehnologija sončnih celic je prisotna na trgu že dlje časa, vseeno pa jo lahko štejemo med novo tehnologijo, saj njene vsakoletne izboljšave omogočajo, da je tehnologija bližje običajnemu kupcu. Poleg tega, da naprednost tehnologije omogoča daljše življenjske dobe sončnih celic in večje izkoristke, tudi njena proizvodna cena pada (Bergant, 2013, str. 5), njihov način uporabe pa spreminja. Ena izmed novih različic nastavitve je vertikalna postavitve na ograjo stanovanjskega balkona. Z vedno novejšo tehnologijo in različnimi načini uporabe, tehnologija vedno ostaja popularna in predstavlja pomemben del za pridobivanje električne energije iz obnovljivih virov v prihodnosti. Tako lahko lastnik postane samooskrben poleg tega pa pripomore k proizvodnji električne energije za druge porabnike v omrežju. Velika prednost male sončne elektrarne je tudi v nižjih mesečnih stroških porabe električne energije, saj lastnik mesečno plačuje le porabljeno električno energijo, ki jo je uporabil iz omrežja. Čeprav je ta vrsta tehnologije poznana že dlje časa, je napredek pri raziskavah tako hiter, da vsako leto na trg prihajajo nove izboljšane tehnologije, kar pa omogoča tudi vedno nižjo ceno in možnost povečanja števila novih malih sončnih elektrarn. Pojavljajo se nove vrste sončnih panelov, ki bi jih montirali tudi na fasade objektov, vendar je ta način še neraziskan in njegova učinkovitost ni primerna za trenutne inštalacije (European Commission, 2022; Jašarević, 2018; Jojić, 2019; Pernick in drugi, 2011; Požes, 2018; Sijarić, 2021; Trdin, 2012).

Tehnične lastnosti tehnologije manjših sončnih elektrarn

Učinkovitost solarnega panela je odvisna od količine svetlobe, ki prispe na panel in se pretvori v električno energijo. Najnovejši sončni paneli dandanes dosegajo preko 29 % učinkovitost, kar je približno 420 W. Podatki so bili pridobljeni pri standardnem testu, kar pomeni 25 °C na celici, na katero dospe 1000 W/m² svetlobne radiacije, medtem ko je masa zraka 1,5 kg/m³ (Green in drugi, 2023; Li in Zhang, 2020; Svarc, 2024; Trdin, 2012).

Prednosti tehnologije manjših sončnih elektrarn

Velika prednost tehnologije manjših sončnih elektrarn je samooskrba potrošnika. Glede na to, da se cene električne energije na trgu ves čas spreminjajo, se z uporabo manjših sončnih elektrarn na nek način odstranimo in oskrbimo svoje potrebe ter si s tem zagotovimo neodvisnost od trga z električno energijo. Sončne celice proizvajajo električno energijo tudi ob neidealnih pogojih, kot so oblačno vreme in zimski čas. Razlika je v tem, da proizvodnja

električne energije v tem času ni maksimalna in znaša okoli 20 % (Sončne Elektrarne, 2018). Največkrat si malo elektrarno montiramo na streho stanovanjskega ali poslovnega objekta, kar pomeni, da ne potrebujemo dodatnega prostora za namestitvev. Pri lastni proizvodnji električne energije znižamo stroške porabe električne energije. V primeru proizvodnje večje količine električne energije, ki je sami v danem času ne zmoremo porabiti, presežek oddamo v električno omrežje. Visoka razvitost tehnologije nam omogoča, da se male sončne elektrarne virtualno začnejo povezovati med seboj in na tak način ustvarijo virtualne elektrarne. Tudi tehnologija sončnih celic se je skozi čas spreminjala in vsako leto nadgrajevala. Tako zaradi visoke razvitosti tehnologije in velikega števila proizvajalcev na svetu cena sončnih panelov konstantno pada medtem, ko se njihova učinkovitost in življenjska doba povečujeta, poleg tega pa je državam v velik interes, da ljudje postanejo samooskrbni in okoljsko naravnani (Jašarević, 2018; British Petroleum, 2023; Požes, 2018; Sijarić, 2021; Sončne Elektrarne, 2018; Trdin, 2012).

Slabosti tehnologije manjših sončnih elektrarn

Tehnologija malih sončnih elektrarn pa ima tudi slabosti. Čeprav se cena tehnologije iz leta v leto zmanjšuje in postaja lažje dosegljiva, mala sončna elektrarna še vedno začetno zahteva naložbo, odvisno od velikosti sončne elektrarne, z začetkom okoli 14000 EUR (Varčujem z energijo, 2023), ki naj bi se povrnila v času življenjske dobe sončne elektrarne, kar danes znaša 30 let (Petrol, 2023). Po zaključeni življenjski dobi sončne elektrarne je pogosto potrebna menjava odsluženih panelov, kjer se najpogosteje menja celotni panel in ne le posamezna sončna celica. Po končani življenjski dobi sončnega panela pa je potrebno poskrbeti za ponovno uporabo ali pravilno razgradnjo materialov v primeru, da ponovna uporaba ni mogoča. Nekateri dele, kot sta aluminijasti okvir in steklo, je dokaj preprosto reciklirati in ponovno uporabiti, medtem ko uporabiti ostale dele ni tako enostavno. Določeni ponudniki sončnih elektrarn prevzemajo odgovornost in z odpadnimi paneli ravnaajo v skladu z zahtevami. Proces je stroškovno velik zalogaj, panoga recikliranja pa še ni dovolj razvita, da bi v prihodnosti lahko zagotovila pravilno reciklažo za vso odsluženo tehnologijo sončnih elektrarn. Celoten cilj uporabe sončnih panelov je pridobivanje električne energije brez onesnaževanja okolja, kar pa izgubi celoten smisel, ko z odpadom tehnologije dodatno ogrožamo okolje. Čeprav pri uporabi sončnih celic ne plačujemo električne energije, saj jo proizvajamo sami, presežek proizvedene električne energije brezplačno oddajamo v omrežje. Poleg tega smo omejeni na velikost strehe in njen naklon ter lokacijo. Vse večja poraba pomeni potrebo po večjem številu sončnih panelov. V primeru, da se nam poraba povečuje hitreje kot napredek izkoristka tehnologije na trgu, lahko pri uporabi najsodobnejše tehnologije dosežemo mejo z velikostjo naše strehe. Tudi streha nam narekuje kolikšno količino električne energije bomo lahko proizvedli, saj je izkoristek sončnih panelov odvisen od tega, ali je streha obrnjena na južno lego, od kota strehe in podnebja na izbranem območju. Prenizek izkoristek ne zagovarja izgradnje male sončne elektrarne (Green in drugi, 2023; Jašarević, 2018; British Petroleum, 2023; Požes, 2018; Svarc, 2024; Sijarić, 2021; Trdin, 2012).

4.4 Solarna okna

Tehnologija solarnega pridobivanja električne energije se spreminja in nadgrajuje. Ena izmed novih in obetavnih tehnologij, ki so se razvile iz sončnih panelov, so tudi solarna okna. Glavna značilnost te novodobne tehnologije je transparentnost solarne celice. Pri običajnih sončnih sistemih je površina, ki je uporabljena za namestitev panelov skoraj neuporabna, saj pod njimi nastaja senca, zato je montaža na strehe bolj upravičena. Tehnologija solarnih oken pa omogoča uporabo na kateri koli površini, saj solarna celica zajame le eno vrsto sončnih žarkov, medtem ko ostalo prepusti naprej. Tako dobimo prosojno okno, ki proizvaja električno energijo (GreenMatch, brez datuma; Jojić, 2019; British Petroleum, 2023).

Podjetji Solar Window Technologies INC. in Ubiquitous energy sta dve izmed teh, ki poskušajo nadgraditi solarne sisteme tako, da bi generirali električno energijo na vseh prosojnih površinah. Podjetje Solar Window Technologies INC je enako kot Ubiquitous energy razvilo transparentno elektro-proizvodno plast, ki jo nanašajo na vse vrste steklenih in plastičnih transparentnih površin v zelo tankih slojih in s tem spreminjajo običajne transparentne površine v površine, ki proizvajajo električno energijo. Medtem ko tradicionalni sončni paneli zajamejo vsak možni foton sončne energije, ki prispe na površino sončnega panela, solarna okna zajamejo le nevidni del svetlobe. Svetloba je sestavljena iz treh različnih vrst svetlobe, ki se med seboj razlikujejo po dolžini valov. To so ultravijolična svetloba, vidna svetloba in infrardeča svetloba. Vidna svetloba je tako prepuščena skozi solarno steklo, medtem ko ultravijolično in infrardečo svetlobo uporabimo za proizvodnjo električne energije. Na ta način je lahko prosojna površina uporabljena kot vsako običajno steklo, a poleg tega proizvaja električno energijo. Steklo je nato s tanjšim kablom povezano s hišno električno napeljavo (Goldemberg, 2012; GreenMatch, brez datuma; Kirubakaran in drugi, 2019; Solar Window Technologies INC, brez datuma; Ubiquitous Energy, brez datuma).

Trenutna učinkovitost solarnih oken je zelo nizka, okoli 20 % običajnih sončnih panelov (Reilly, 2023), a njihova vsestranska uporaba nam omogoča večjo in bolj raznoliko implementacijo. Tehnologija tako omogoča, da katerokoli okno v stanovanjski hiši, stanovanju, poslovnem prostoru, itn. postane proizvajalec električne energije, medtem ko na pogled okna izgledajo identično. Tudi trendi današnje gradnje se osredotočajo na uporabo naravne svetlobe za osvetljevanje prostorov, zato opazamo večje steklene površine in tako dandanes lahko zasledimo nove stavbe, ki na videz izgledajo popolnoma steklene. V primeru, da bi se vsaj del stekla zamenjal s transparentnimi površinami, ki lahko poleg tega proizvajajo tudi električno energijo, bi lahko, čeprav z nizkimi izkoristki, proizvajali električno energijo za samooskrbo. Trenutni rezultati izkoristka in moči niso primerljivi z ostalimi viri pridobivanja električne energije, vendar nadgradnja te tehnologije omogoča pridobivanje električne energije ne le na stavbnih objektih, ampak z implementacijo tudi na dinamičnih telesih, kot sta na primer vetrobransko steklo in panoramska streha električnega

avtomobila, ki bi se posledično lahko polnil med vožnjo (Goldemberg, 2012; GreenMatch, brez datuma; Norsk Solar AS, 2021; Solar Window Technologies INC, brez datuma)

Tehnične lastnosti tehnologije solarnih oken

Ker je tehnologija še vedno v razvojnem stanju, trenutno ni mogoče dobiti bolj podrobnih podatkov, vseeno pa lahko glede na pridobljene rezultate postavimo približne napovedi. Učinkovitost solarnih oken se giblje okoli 20 % učinkovitost običajnih sončnih celic, kar pomeni nekaj preko 84 W, za kar je potrebne 0,462 m² zastekljene površine (Petrol, 2023; Reilly, 2023). Možna je večja učinkovitost ob uporabi bolj intenzivnega premaza, ki ustvari zamegljeno steklo. Cena solarnega okna je še vedno neznana, saj proizvod še ni v komercialni fazi in tako še ni industrijske izvedbe. Predvideno pa je, da bi bila cena solarnega okna od 30 % do 40 % višja od cene običajnega zastekljenega okna (Goldemberg, 2012; GreenMatch, brez datuma; Kirubakaran in drugi, 2019; Reilly, 2023; Solar Window Technologies INC, brez datuma).

Prednosti tehnologije solarnih oken

Tehnologija solarnih oken na nek način premaguje eno večjih negativnih lastnosti običajnih sončnih panelov, njene postavitve. Običajne solarne panele montiramo na strehe hiš, na južno stran, pod določenim kotom, vse v namen pridobivanja večjega izkoristka. Solarna okna želijo doseči enake rezultate z implementacijo na katerokoli transparentno površino, ki ima potencial za pridobivanje električne energije. Tako v prihodnosti načrtujejo implementacijo v stanovanjske hiše, poslovne stavbe, večje zastekljene površine, vozila, skratka vsa območja druge tehnologije, ki trenutno uporabljajo običajno steklo. Z velikim številom modulov in medsebojno povezavo želijo dosežati enake rezultate kot običajna solarna tehnologija. Napredna zasnova ideje je prisotna tudi v avtomobilski industriji, kjer bi se električni avtomobil lahko polnil med vožnjo. Tehnologija solarnih oken kaže ekološki pristop proizvodnje električne energije z neopazno, obenem pa popolno preobrazbo zastekljenih površin. S tem, ko se vsak posameznik lahko odloča za uporabo solarnih oken in kasneje tudi njihovo implementacijo v drugo tehnologijo, se povečuje ozaveščanje ljudi o varovanju okolja, obenem pa omogoča, da posamezniki postanejo del energetske preobrazbe brez vidnega žrtvovanja trenutnih navad in življenjskega sloga. Ker tehnologija želi postati pripravljena za implementacijo na različna področja, bo njena standardizacija ključnega pomena za vsestransko uporabo (GreenMatch, brez datuma; Reilly, 2023). Z visoko standardizacijo pa lahko govorimo tudi o lažjem popravilu in lažji menjavi v primeru nedelovanja ter lažjo reciklažo v primeru prenehanja delovanja posameznega modula (Goldemberg, 2012; Kirubakaran in drugi, 2019).

Slabosti tehnologije solarnih oken

Čeprav je zasnova med bolj obetavnimi, je tehnologija še vedno v razvojni fazi, saj je trenutno delujoče le okno manjše dimenzije, ki ni primerno za vse vrste stavbnih objektov, še posebej za novodobno arhitekturo, ki vsebuje velike zastekljene površine. Izhodna

napetost solarnih oken je zelo nizka, zato trenutno večja proizvodnja električne energije ter samozadostnost z uporabo izbrane tehnologije nista mogoči. Pri uporabi tehnologije so kabli za prenos električne energije vgrajeni naravnost v stene objekta in v celotni stavbni sistem. Nastane lahko poškodba pri preobremenitvi, kjer se električni vodi lahko uničijo. Pri poškodbah pa lahko govorimo tudi o težji zamenjavi, saj trenutno solarna okna še niso izdelana tako, da bi bilo možno zamenjati le eno od stekel v modulu, temveč bi bila potrebna menjava celotnega modula (Goldemberg, 2012; GreenMatch, brez datuma; Kirubakaran in drugi, 2019; Solar Window Technologies INC, brez datuma)

Podjetje Solar Window Technologies INC govori tudi o nadgradnji, kjer bi se glede na temperaturo okolice in temperaturo v prostoru z uporabo elektromotorjev okna lahko samodejno odpirala in zapirala, da bi omogočila idealne bivalne pogoje (Reilly, 2023). Z razvojem tako imenovanih pametnih oken, bi potrebovali dodatno plast zaščite, da zaradi povišane temperature ne bi prišlo do vlomov, ko bi se okna želela avtomatsko odpreti za prezračevanje, poleg tega pa vsaka podobna pametna naprava lahko postane tarča kibernetских napadov, kjer bi lahko lastnik izgubil nadzor nad svojim stanovanjem (Goldemberg, 2012; GreenMatch, brez datuma; Kirubakaran in drugi, 2019; Norsk Solar AS, 2021; Solar Window Technologies INC, brez datuma).

4.5 Pločnik

V primerjavi z drugimi, že navedenimi novimi tehnologijami, je delovanje pločnika za pridobivanje električne energije popolnoma drugačno, saj za svoje delovanje uporablja mehansko energijo. Mehanski pločnik za pridobivanje električne energije je nova tehnologija v razvoju, s katero želimo proizvesti električno energijo med opravljanjem drugega dela, na primer med hojo, tekom, vožnjo in podobno. Tehnologija je sestavljena iz mehanizma, predstavljenega na sliki 17, ki z vzmetmi dovoljuje, da se vsaka sprememba pozicije, kot je na primer korak človeka, spremeni v električno energijo. To dosega z uporabo malega mehanskega električnega generatorja (Goldemberg, 2012; Kirubakaran in drugi, 2019; Nye, 2004; British Petroleum, 2023; Souza, 2019).

Slika 17: Sestavni del mehanskega pločnika



Vir: prirejeno po Pavegen (2023).

Zamisel tehnologije se je porodila, ko so razmišljali, na kakšen način bi lahko proizvajali električno energijo in s tem ohranjali okolje. Ugotovili so, da s to tehnologijo lahko vsak korak generira majhne količine električne energije. Tehnologija deluje tako, da trikotna plošča povezuje tri male električne generatorje, ki proizvajajo električno energijo, ko mi dodamo mehansko delo. Za lažje predstavljanje si lahko pomagamo z osnovnim kolesnim dinamom, ki med vožnjo s kolesom proizvaja električno energijo za kolesarsko luč. Ta starejša tehnologija prikazuje, da z rotacijsko energijo kolesa, ki se nato prenese na malo kolesce dinam, proizvajamo električno energijo. Tako kot za kolesno luč potrebujemo gibanje, v tem primeru vožnjo kolesa, da kolesarska luč deluje, je enak princip prisoten pri mehanskem pločniku (Exxon Mobil, 2019; European Commission, 2022; British Petroleum, 2023; Souza, 2019).

Slika 18: Postavitev mehanskega pločnika



Vir: prirejeno po Pavegen (2023).

Kot je prikazano na sliki 18, je tehnologija zelo preprosta in enostavna za implementacijo, saj za postavitev potrebujemo le površino, ki jo uporabljamo za hojo. Težava nastane zaradi nelinearnosti proizvodnje električne energije. Tako je smiselno montirati tehnologijo na območja, kjer je vsak dan predvidena velika količina ljudi, na primer na letališča ali postaje podzemne železnice, vseeno pa tehnologija trenutno ni razvita, da bi jo lahko uporabljali na voziščih. Tehnologija je testno prisotna, vendar ni uporabljena v smislu klasičnega pridobivanja električne energije. Trenutno se uporablja za pulzno proizvodnjo električne energije kot male nočne svetilke ob pločniku (Exxon Mobil, 2019; European Commission, 2022; British Petroleum, 2023; Souza, 2019).

Tehnične lastnosti tehnologije pločnika

Tehnologija mehanskega pločnika deluje, ko posameznik s svojo težo stopi na ploščo in z mehansko pretvorbo proizvede električno energijo 5 W (Pavegen, 2023). Plošča je izdelana iz trpežnega nekovinskega materiala trikotne oblike. V letu 2015 je strošek proizvodnje posamične plošče znašal 354,48 EUR (Nanalyze, 2015; Souza, 2019).

Prednosti tehnologije pločnika

Tehnologija pločnika, ki z mehansko spremembo omogoča proizvodnjo električne energije, kaže na zmožnost pasivne proizvodnje električne energije, saj bi ljudje proizvajali električno energijo med hojo ali vožnjo, ne da bi se tega zavedali. Tehnologija mehanskega pločnika bi bila zmožna zagotavljati dovolj električne energije, da bi se male svetilke ob pločniku lahko prižigale, medtem ko bi oseba hodila po pločniku, in s tem zagotavljale dodatno vidljivost podnevi in ponoči ter tako povečale varnost. Vsakdo, ki bi uporabljal mehanski pločnik, bi sodeloval pri proizvodnji električne energije in spodbujal k bolj zdravemu življenjskemu slogu posameznikov. Tehnologija naj bi omogočala tudi povezavo

posameznikov s tehnologijo pločnikov prek mobilnih telefonov, da bi lahko spremljali kolikšno količino električne energije je posameznik proizvedel po hoji po mehanskem pločniku. Ker za proizvodnjo električne energije potrebujemo konstanten vnos mehanske energije, je smiselna implementacija tehnologije na območja s povečanim številom ljudi. Tu govorimo o območjih, kjer je vsakodnevno prisotno predvidljiva množica ljudi, kot so letališča, podzemne železnice in središča mest. Naslednja nadgradnja tehnologije bi lahko bila nadgradnja na kolesarske steze in avtocestna območja (Exxon Mobil, 2019; European Commission, 2022; British Petroleum, 2023; Souza, 2019).

Slabosti tehnologije pločnika

Konstantnega intervala korakov po mehanskem pločniku ne moremo zagotoviti, zato izhodna električna energija ni konstantna ampak impulzivna, kar pomeni, da to električno energijo ni mogoče pošiljati v omrežje, saj bi s tem lahko ogrozili omrežje. To pomeni, da bi morali proizvedeno električno energijo lokalno porabiti na mestu proizvoda, kar pa je velika omejitev glede načina uporabe proizvedene energije. Rešitev bi lahko bila shranjevanje, vendar vseeno le na krajšem časovnem intervalu. Čeprav bi tehnologija spodbujala ljudi k bolj zdravemu načinu življenja in ozaveščenju glede varovanja okolja, pa njen vpliv ne bi znatno povečal ali spremenil navad posameznikov. Izgradnja posameznega modula zahteva minimalno tri mehanizme za pretvorbo energije in ploščo, ki jih povezuje, saj trikotna oblika omogoča največjo pretvorbo energije. Glede na to, da bi za pravilno delovanje sistema potrebovali veliko število modulov, bi za njihovo izdelavo lahko nastali večji stroški, še posebej zaradi hitre obrabe in potrebnih menjav. Ceste in pločniki so zgrajeni z uporabo asfalta, ki kot material omogoča dovolj veliko trdnost in trdoto, da prenaša številčne ponovljive pritiske. Glede na to, da je plošča pločnika zgrajena iz plastičnega materiala, lahko sklepamo, da bi bila njena življenjska doba v primerjavi z običajnim pločnikom krajša. Tako je tudi nadgradnja tehnologije na avtocestna cestišča skoraj nemogoča, saj bi se zaradi hitrosti cestišče zelo hitro uničilo, udiranje bi uničevalo avtomobil in skoraj onemogočalo vožnjo, obenem pa tehnologija ni pripravljena sprejemati visokih hitrosti. Vseeno pa vidimo možnost uporabe tehnologije na običajnih cestiščih v primeru nadgradnje tehnologije (Pavegen, 2023). Funkcija, ki bi omogočala posameznikom, da si s povezavo ogledajo osebno proizvedeno električno energijo, pa sama po sebi ni tako nedolžna, kot se zdi. Kot je povedal direktor podjetja Pavegen, Laurence Kembell-Cook, je razlog želje namestitve tehnologije na območja z veliko količino ljudi tudi, da bi na ta način lahko zbirali podatke o gibanju množic in tako napovedali, kje je večja gneča, da bi se je posamezniki lahko izognili. Tu vidimo visoko problematiko zasebnosti, saj bi tako odgovorni lahko zbirali osebne podatke oseb, povezanih s tehnologijo, obenem pa zbirali in nadzorovali tudi podatke o njihovi lokaciji. Možnost višjega nadzora ljudi in do neke mere tudi kaznovanja bi se lahko pokazala v primeru, da bi to tehnologijo uporabili na prehodih za pešce ali kolesarskih stezah, kjer bi lahko zbirali podatke, ali je oseba pravilno prečkala cesto ali ne, in v primeru kolesarske steze, ali je oseba vozila v pravo smer ter ali je posameznik hodil po kolesarski stezi. Te podatke pa bi nato lahko pošiljali drugim podjetjem

ali pristojnim organom, ki bi osebo kaznovali. Vidimo možnost globokega in resnega vdora v zasebnost posameznikov, naprednega nadziranja množice ljudi, zamaskiranega s pozitivnimi pogledi na zeleno energijo in novodobno tehnologijo (Exxon Mobil, 2019; European Commission, 2022; British Petroleum, 2023; Souza, 2019).

4.6 Jedrska fisija in fuzija

Jedrska energija obstaja že dlje časa, a tehnologija za namene proizvodnje električne energije z uporabo jedrske elektrarne se je začela uporabljati leta 1950. Njeno delovanje je postalo pomemben del pridobivanja električne energije, še posebej zaradi velike količine proizvodnje električne energije in obenem nizke proizvodnje odpadkov. Jedrska energija je dandanes zelo prisotna, saj je ena od redkih energij, ki zagotavlja veliko količino konstantne električne energije z nizko proizvodnjo okolju škodljivih elementov. Obenem je tudi trenutno edina vrsta elektrarne, ki omogoča prehod na nizko in nato brez ogljično družbo. Vseeno ob nepravilnem postavitvi, nadzoru in stari tehnologiji lahko pride do resnih težav, ki vplivajo na ljudi ter na širša območja. V primeru, da hidroelektrarna, vetrna elektrarna, sončna elektrarna ali druge ne delujejo pravilno, jo lahko hitreje zaustavimo, pregledamo, popravimo in ponovno zaženemo, medtem ko je vpliv na okolico minimalen ali pa ga ni. Jedrska elektrarna, čeprav v proizvodnji električne energije zelo konstantna, pa postane zahtevnejša v območjih zagona in ustavitve. Za zagon potrebujemo dlje časa, saj moramo zagotoviti pravilne nastavitve, kontrolo segrevanja in opazovanja ter previdnost, da se vzpostavi stabilno delovanje. Enak dolgotrajni proces je potreben tudi pri zaustavitvi in tako, če je le mogoče, je zaželeno, da jedrska elektrarna deluje neprestano, razen v primeru preventivnih popravil (Statista, 2023; International Atomic Energy Agency, 2022; British Petroleum, 2023).

4.6.1 Jedrska fuzija (spajanje atomov)

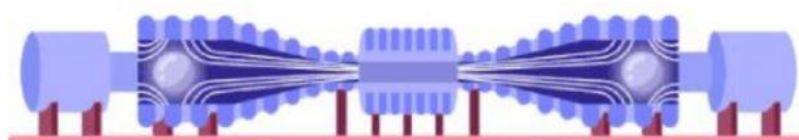
Pri jedrski fuziji govorimo o spajanju. Vsak atom je sestavljen iz protonov, elektronov in nevtronov, ki jih med seboj držijo atomske sile. Pozitivno nabit delec odbija še en pozitivno nabit delec, vendar to le zaradi Coulombovih silnic, v jedru pa nastopajo druge sile, ki so močnejše in poskušajo zadržati osnovne delce skupaj med seboj ter delujejo v zelo malem dometu, zato moramo doseči, da delce med seboj stisnemo s silo. Če premagamo te prve sile odboja, dosežemo druge sile, ki omogočajo povezovanje delcev. Tako se delca združita med seboj in pri združitvi oddata energijo, kar lahko vidimo pri nižji atomski masi kot pri posamezno ločenih atomih. Ta energija se sproži in je prisotna v obliki toplote, ki jo teoretično lahko nato uporabimo za segrevanje vode in posledično poganjanje električnega generatorja. Nastane pa problem premagovanja prvih silnic. Zaradi tega moramo za doseganje premagovanja prvih sil ustvariti prave pogoje, ki so teoretično enaki pogojem na površini sonca. Ker za razliko od sonca nimamo na voljo tolikšne gravitacijske sile, moramo dovesti potrebno toploto in s tem doseči temperaturo, višjo od sončnega jedra. Da pa bi ta segret plin, ki se pri tako visokih temperaturah spremeni v plazmo, zadržali brez uničenja

drugih elementov, uporabljamo elektromagnetna polja, ki omogočajo, da plazma ostaja na mestu in na nek način lebdi brez dotikanja drugih elementov (Kumar Mishra in Gowda Sheshadri, 2020; Ghoranneviss in Salar Elahi, 2014; Jones in drugi, 2019; Kembleton, 2020; Ongena, 2022; Riordon, 2023; Sparkes, 2022; Waldrop, 2014).

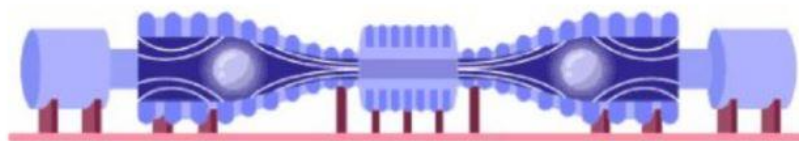
Podoben način uporabe fuzije je uporaba laserjev, katerih stopnje delovanja so prikazane na sliki 19. Pri tem ne potrebujemo posebne elektrarne, za katero bi potrebovali specifično konstrukcijo, poleg tega pa za gorivo uporabljamo težko vodo in izotop helija. Težka voda ali devterijev oksid je oblika vode, sestavljena iz težjega izotopa devterija, zaradi katerega ima voda drugačne fizikalne in kemijske lastnosti kot običajna voda (Britannica, 2023).

Slika 19: Delovanje jedrske fuzije z uporabo laserske tehnologije

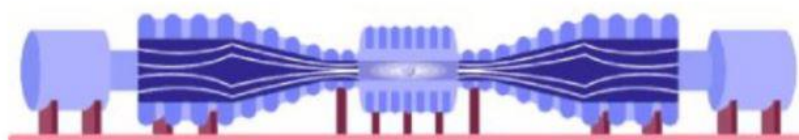
MAGNETNO-INERCIALNA FUZIJA



MAGNETNO OMEJENO GORIVO PLAZME



POSPEŠEVANJE PLAZM DRUGO PROTI DRUGI
Z UPORABO MAGNETNEGA POLJA



OBA ŽARKA TRČITA MED SEBOJ IN
STA STISNENA V DRUGO MAGNETNO POLJE

Vir prirejeno po Helion (2023).

Ponovno gre za združevanje in ustvarjanje energije z ujemanjem odvečne toplote pri združevanju atomov, vendar je razlika v tem, da sta njeno ustvarjanje in vzdrževanje bistveno enostavnejša. Pri tem dva laserja usmerimo enega proti drugemu in v vsakem od njiju proizvedemo plazmo. Ko je plazma razvita in dovolj skoncentrirana, te dve plazmi ustrelimo eno proti drugi in, ju tako v središčnem delu prisilimo, da se med seboj spojita. Pri

tem se del mase atomov spremeni v toplotno energijo, ki jo nato lahko uporabimo za poganjanje električnega generatorja. Razlika pri tem je, da je za konstrukcijo potrebnih bistveno manj elementov, časa in finančnih sredstev, obenem pa je delovanje popolnoma okolju neškodljivo in bolj varno (Helion, 2023).

V Evropi se na področju fuzije odvija več projektov, med katerimi je tudi ITER, lociran na jugu Francije. Reaktor tokamak, največji svetovni stroj za fuzijo, ki je v obliki geometrijskega telesa torusa, zagotavlja idealno obliko za vzdrževanje magnetnega polja. Na projektu sodelujejo Evropejci, poleg njih pa tudi raziskovalci iz Amerike in Azije. ITER je namenjen raziskovanju, kar pomeni, da ne bo proizvajal električne energije za komercialne namene, temveč bo uporabljen za raziskovanje, namen pa je, da bi s pridobljenim znanjem zasnovali generatorje, ki bi proizvajali električno energijo v prihodnosti. Jedrska fuzija bo poleg tega odprla veliko novih zaposlitvenih možnosti. Projekt financira agencija Fusion for Energy (F4E), v kateri so zajete vse države, ki sodelujejo na tem projektu, pri čemer EU nameni 45 % vseh sredstev projekta ITER (European Commission, 2022).

Pri uporabi fuzije govorimo o jedrski energiji, ki ima v očeh javnosti velikokrat negativno prisposodo (European Commission, 2010), vendar pa se moramo zavedati, da je jedrska fuzija bistveno varnejša od jedrske fisije, ki se uporablja danes. Pri delovanju se pojavijo razlike, kajti pri fisiji poskušamo celotne atome razbiti s prostimi elektroni, medtem ko pri fuziji poskušamo dva atoma združiti med seboj. Velika varnostna prednost fuzije je v tem, da plazmo, katere stanje je težko ustvariti in ga ohranjati dovolj časa, združimo z drugo plazmo. Celoten proces je zapleten, zlasti s strani ohranjanja in podaljšanja življenjske dobe plazme, da v primeru, ko plazma ne bi bila nadzorovana, rezultat ne bi bil eksplozija temveč zaustavitev sistema. V primerjavi s trenutno uporabljeno tehnologijo fisije, kjer je sistem ravno nasproten, poskušamo nadzorovati hitrost trkov in reakcij z dviganjem in spuščanjem ogljikovih palic in tako dosti lažje pride do nevarne situacije, saj je zaustavitev takšnega procesa zelo zahtevna in potrebuje dovolj časa, medtem ko fuzija ustavi svoje delovanje že z najmanjšimi neidealnimi pogoji za delovanje (Kumar Mishra in Gowda Sheshadri, 2020; Ghoranneviss in Salar Elahi, 2014; Jones in drugi, 2019; Kembleton, 2020; Ongena, 2022; Riordon, 2023; Sparkes, 2022; Waldrop, 2014).

Tehnične lastnosti tehnologije jedrske fuzije

Po uporabi fuzije je bilo testno mogoče proizvesti 2,5 MJ energije, medtem ko so za delovanje porabili le 2,1 MG za segrevanje laserja. Čeprav obetavno, a vseeno ne dovolj napredno, če je za segrevanje čajnika potrebno 0,4 MJ energije, kar je približno 0,1 kWh, poleg tega pa porabljamo 500 MJ energije, ki jo je bilo potrebno dovesti v laserje, da je proces deloval. Tako vidimo, da je fuzija možna, a trenutno še zelo neučinkovita. V letu 2028 želi podjetje Helion zagnati prvo elektrarno, cena proizvedene 1 kWh električne energije pa naj bi bila 0,01 \$ ali 0,0094 EUR (Helion, 2023).

Prednosti tehnologije jedrske fuzije

Pri prednostih jedrske fuzije govorimo o tehnologiji, ki je še v testnem stanju, vendar obeta visoke dosežke na področju zelenega pridobivanja električne energije. Jedrska fuzija za svoje delovanje uporablja gorivo, ki ga enostavno najdemo v naravi ali proizvedemo sami. Poleg tega je gorivo varno in okolju neškodljivo, saj pri reakciji kot stranski proizvod, ni nastanka jedrskih odpadkov. Tehnologija tako napoveduje velike količine električne energije, pridobljene iz obnovljivih virov, in visoko varnost. Sistem, ki je uporabljen za tehnologijo jedrske fuzije z laserjem, je dovolj majhen in enostaven, da bi določene dele sistema lahko masivno proizvajali. Glede na to, da med procesom delovanja potrebujemo idealne pogoje za nastanek plazme, vemo da v primeru odstopanj ne bi prišlo do večjih nesreč ali težav, temveč se proces ne bi odvil. Iz tega lahko sklepamo, da je proces varnejši za uporabo v primeru z jedrsko fisijo in je njegova uporaba enostavnejša (Kumar Mishra in Gowda Sheshadri, 2020; Ghoranneviss in Salar Elahi, 2014; Helion, 2023; Jones in drugi, 2019; Kembleton, 2020; Ongena, 2022; Sparkes, 2022).

Slabosti tehnologije jedrske fuzije

Sistem jedrske fuzije je še v stanju razvoja, saj je število delujočih sistemov trenutno zelo nizko. Čeprav je gorivo, uporabljeno pri proizvodnji električne energije, varno, ga za nemoteno delovanje procesa še ni. Tako podjetje Helion razmišlja o dodatnem procesu, ki bi jim proizvajal gorivo, saj ga trenutno kupujejo od dobavitelja, kar pomeni odvisnost od trga (Helion, 2023). Tehnologija je že dokazala, da je proizvodnja električne energije z uporabo združevanja atomov možna, vendar je trenutna količina proizvedene energije, ki jo pridobimo iz sistema, nižja od količine energije, ki jo vnesemo v sistem. Ker pa je rezultat energij negativen, vemo da tehnologija še ni pripravljena, da bi jo uporabljali v komercialne namene, ampak potrebuje dodatne nadgradnje, ki bi omogočale, da bi bila količina pridobljene energije večja kot količine porabljene energije za delovanje sistema. Čeprav je pridobivanje električne energije z uporabo fuzije možno, proces še ni dozorel za komercialno uporabo in tako cen proizvedene električne energije ne moremo primerjati. Cena proizvodnje električne energije je pomembna, saj vpliva tudi na končno ceno električne energije, ki jo plača porabnik. V primeru, da v prihodnosti dosežemo nižjo ceno proizvodnje električne energije z uporabo tehnologije, ki za svoje delovanje uporabljajo obnovljive vire, kot s fosilnimi gorivi, se bo zanimanje za te nove tehnologije povečalo (Kumar Mishra in Gowda Sheshadri, 2020; Helion, 2023; Jones in drugi, 2019; Kembleton, 2020; Ongena, 2022; Sparkes, 2022).

4.6.2 Jedrska fisija (deljenje atomov)

Nova tehnologija fisije, ki naj bi zagotavljala večjo varnost, enostavnost in ekonomsko upravičenost, govori o manjših reaktorjih, vseeno pa ne gre le za pomanjšanje trenutnih reaktorjev, ampak za uporabo novejših in varnejših tehnologij. Njihovo delovanje bi bilo še vedno enako, kjer energijo pridobimo tako, da v atom urana izstrelimo prosti elektron, ki

nato zaradi nepopolnosti razdeli atom. Ta pri tej reakciji odda energijo v obliki toplote, ki jo nato pretvorimo v električno energijo z uporabo električnega generatorja. Gre za to, da različna goriva proizvajajo različne količine energije in ker se med seboj razlikujejo, jih razdelimo v dve skupini. V prvo skupino sodijo tisti elementi, ki oddajo večjo količino energije z združitvijo z drugimi elektroni, v drugo skupino pa sodijo tisti, ki oddajo večjo količino energije s cepitvijo. Tako elemente iz prve skupine lahko uporabljamo kot gorivo za jedrsko fuzijo, medtem ko elementi iz druge skupine proizvedejo večjo količino energije z uporabo jedrske fisije (Bender in drugi, 2022; Jones in drugi, 2019; Kapoor, 2015; Petko, 2013; Trop, 2016).

Pri malih reaktorjih, drugače imenovanih SMR (angl. Small Modular Reactor) se bistvo tehnologije ne bi spremenilo. Različna podjetja, med njimi tudi Ultra Safe Nuclear Corporation in Copenhagen Atomics ter druga, so začela z oblikovanjem tehnologije in pridobivanjem licenc za začetek proizvodnje malih modularnih reaktorjev (Ultra Safe Nuclear, 2023). Poskušali bi namesto enega velikega reaktorja postaviti in uporabiti več manjših. Pri velikih reaktorjih iz preteklosti vidimo, da sta njihovo snovanje in izgradnja zelo zahtevna in potrebuje veliko časa, tudi do 30 let. Ko je jedrska elektrarna postavljena, jo je potrebno ves čas nadzorovati in spremljati, da ne pride do resnejših zapletov. Z uporabo malih modularnih reaktorjev pa bi se teoretično temu izognili, saj za njihovo konstrukcijo ne bi potrebovali toliko časa. Eden od glavnih dejavnikov malih modularnih reaktorjev je velikost, saj želimo doseči, da se deli jedrske elektrarne lahko posamično pripeljejo do lokacije gradnje, kjer se nato sestavijo. Doseči želimo sistem »priklopi in igray« (angl. »plug and play«), saj bi s tem čas gradnje drastično skrajšali (Whitfield in Temple, 2010). Mali modularni reaktorji so poleg velikost, različni tudi v moči, do 300MW ali manj (International Trade Administration, brez datuma). Za doseganje želenih kapacitet lahko na enaki lokaciji postavimo več enot.

Čeprav v središču reaktorja ni velikih sprememb, saj še vedno govorimo o cepitvi atomov, so razlike v tehnologiji velike, še zlasti na področju varnosti. Običajni reaktorji pri hlajenju v primeru nesreče uporabljajo vodo, ki je dovedena iz zunanjega tokokroga. Tehnologija malih modularnih reaktorjev pa omogoča, da za varnost ne potrebujemo dodatnih črpalk ali tokokrogov vode. V primeru nesreče, se na vrhu notranjega dela reaktorja odpre ventil, ki dovoli pari, da vstopi v med stenski del. Tam se para začne kondenzirati in v tekočem stanju, v spodnjem delu preko posebnih ventilov, ponovno dospe do vročega dela reaktorja. Na ta način reaktor za prisilno ohladitev ne potrebuje digitalnih komponent in dodatnih črpalk, ki lahko povečajo možnost nezgod, ampak je celoten sistem postavljen tako, da se reaktor varno začne samostojno ohlajati (Ultra Safe Nuclear, 2023).

Pri uporabi malih modularnih reaktorjev gre več ali manj za zniževanje cene izdelave, saj bi njihova proizvodnja postala standardizirana in s tem deli cenejši, vendar bi za trenutne potrebe, ki jih pokriva sedanji splošni generator, potrebovali večje število modulov. Medtem ko je v uporabi en sam jedrski reaktor, ga poskušamo čim bolj nadzorovati in se odzvati dovolj hitro, je pri uporabi manjših reaktorjev veliko več spremenljivk. Res pa je, da so

reaktorji, ki bi bili industrijske izdelave, enaki in bi bilo odkritje napake pri enem lažje implementirati tudi v druge, vseeno pa govorimo o jedrskem reaktorju, ki ob nepravilnem upravljanju lahko postane zelo nevaren, tudi z zmanjšanjem njegove velikosti (Al Bazed in drugi, 2017; Bender in drugi, 2022; Ford in drugi, 2017; Ramana, 2022; Jones in drugi, 2019; Kapoor, 2015; Petko, 2013; Qvist, 2014; Trop, 2016; Ultra Safe Nuclear, 2023).

Čeprav z manjšimi reaktorji dosežemo manjše možnosti za katastrofalne pojave, so ti vseeno lahko prisotni, še posebej zaradi potrebne uporabe večjega števila reaktorjev. Trenutno, pri običajnih fisijskih reaktorjih, za njihovo delovanje uporabljamo veliko količino varnosti, saj je zaradi razumevanja tehnologije in zgodovine treba konstantno implementirati nove izboljšave. Zaradi njih sta potrebna ponovno financiranje in izgradnja teh izboljšav, čeprav vemo, da ima tudi običajni reaktor določeno življenjsko dobo. Tako kot odgovor na znižanje cene in lažjo zamenjavo izrabljenih delov lahko vidimo v manjših, proizvodno izdelanih jedrskih reaktorjih, ki bi jih po kratki odsluženosti življenjski dobi, okoli 20 let (Ultra Safe Nuclear, 2023), enostavno zamenjali. Tudi v primeru, ko bi vse ostale negativne poglede na tehnologijo malih reaktorjev zavrgli in se odločili za njihovo izdelavo zaradi nižjih stroškov, ne smemo pozabiti, da je stranski produkt, pa čeprav manjši, še vedno odsluženo jedrsko gorivo, kar pomeni, da še vedno govorimo o enakem problemu radioaktivnih odpadkov, katerih količina se teoretično ne bi zmanjšala, ampak bi se zaradi manjših reaktorjev le dislocirala. Vseeno pa je ravnanje z manjšo količino jedrskih odpadkov lažje (Al Bazed in drugi, 2017; Bender in drugi, 2022; Ford in drugi, 2017; Ramana, 2022; Jones in drugi, 2019; Kapoor, 2015; Petko, 2013; Qvist, 2014; Trop, 2016).

Tehnične lastnosti tehnologije jedrske fisije

Učinkovitost današnje tehnologije fisije se giblje okoli 36 % teoretične učinkovitosti (Teräsvirta in drugi, 2020, str.5), kar pa bi bilo enako v primeru malih reaktorjev, saj je ena od glavnih razlik njihova velikost in zmožnost masivne proizvodnje in posledično transporta (Al Bazed in drugi, 2017; Ford in drugi, 2017; Ramana, 2022; Qvist, 2014; Teräsvirta in drugi, 2020; Whitfield in Temple, 2010). Z uporabo avtomatizirane proizvodnje manjših reaktorjev bi zmanjšali strošek proizvedene električne energije, ki naj bi dosegala ceno okoli 83 EUR za proizvedeno 1 MWh (Schlissel, 2023). Velikost elektrarn z uporabo malih modularnih elektrarn znaša 300 MW ali manj (International Trade Administration, brez datuma).

Prednosti tehnologije jedrske fisije

Jedrska fisija je prisotna že dlje časa, zato je tehnologija že uporabljena in raziskana. Vseeno pa z nadgradnjo in uporabo malih modularnih reaktorjev zagotavljamo manjše tveganje in lažje nadzorovanje izdelave, postavitve in možnost izvajanja visoke optimizacije, saj bi za transport posameznih delov elektrarne lahko uporabljali tovorni promet. Običajni reaktorji so zgrajeni tako, da je vsak na nek način unikaten, medtem ko bi male modularne reaktorje izdelovali serijsko. Čeprav za gorivo še vedno uporabljamo enako gorivo, je njegova

uporabljena količina manjša ter tako tudi količina jedrskega sevanja ob nesreči in jedrski odpadki. Z manjšo količino jedrskega odpadka pa je lažje tudi njegovo skladiščenje. Poleg tega je potreben čas razgradnje zaradi manjše količine odpadkov krajši. Glavna prednost nadgradnje tehnologije jedrske fisije pa se skriva v ceni. Nižje stroške proizvodnje in posledično tudi nižjo ceno proizvedene MWh električne energije bi dosegli tako, da bi proizvodnja reaktorjev postala enostavnejša in avtomatizirana, saj bi jih izdelovali v standardizirani proizvodnji. V letu 2022 je bilo napovedano, da bo cena 1 MWh električne energije, pridobljene z uporabo malih modularnih reaktorjev, znašala okoli 83 EUR (Schlissel, 2023). Tako bi se cena posameznega dela sistema znižala, obenem pa bi bila menjava in servis ob napaki sistema (Bender in drugi, 2022; Kapoor, 2015; Trop, 2016).

Slabosti tehnologije jedrske fisije

Jedrska fisija napoveduje nižjo ceno in enostavnejšo proizvodnjo reaktorjev, ob enem pa tudi enostavnejša in hitrejša popravila, vseeno pa bomo morali proizvajati enako količino električne energije kot ob uporabi običajnih sistemov. Glede na to, da so sistemi manjši in posledično proizvajajo manjše količine električne energije, bi za zagotavljanje enakih kapacitet potrebovali večje število reaktorjev. Čeprav bi bilo morda nadzorovanje manjših reaktorjev lažje in bi zanj potrebovali manj oseb, se moramo zavedati, da upravljamo še vedno jedrski reaktor, kjer moramo postaviti varnost na prvo mesto. S povečanim številom reaktorjev, bi potrebovali večje število zaposlenih, ki bi bili usposobljeni za delo v jedrski elektrarni. Tudi pri uporabi manjših reaktorjev moramo pri varnosti razumeti, da je v primeru nesreče posledica lahko katastrofalna (Bender in drugi, 2022; Kapoor, 2015; Trop, 2016).

5 OCENA UVAJANJA IZBRANIH TEHNOLOGIJ V EU

V tem poglavju magistrskega dela se bomo osredotočili na oceno posamezne tehnologije za implementacijo na EU trgih. Ocena implementacije je pripravljena na osnovi do sedaj pridobljenih informacij in celotnega pregleda ter opravljeni analizi magistrskega dela s pomočjo uporabljene literature. Ocena temelji na trenutnih pridobljenih podatkih, kar pomeni, da se v prihodnosti, s tehnološkim napredkom in potrebo po proizvodnji električne energije, ocena posamezne izbrane tehnologije lahko spremeni.

5.1 Takojšnje uvajanje tehnologije

Med tehnologijo, ki je pripravljena za takojšnje uvajanje, sodi tehnologija, ki je pripravljena in dovršena na dovolj visoki ravni in bi njena prisotnost na evropskem trgu pripomogla k trenutnim energetskim situacijam. Med tehnologijo, ki je pripravljena za takojšnjo implementacijo ali implementacijo z nekaj popravki in prilagoditvami, smo uvrstili manjše sončne elektrarne, gorivno celico in jedrsko fisijo.

MANJŠE SONČNE ELEKTRARNE

Tehnologija manjših sončnih elektrarn je že dlje časa prisotna na evropskem trgu. Vseeno pa se tehnologija spreminja in glede na to, da je potreba po električni energiji vedno višja, vidimo veliko potrebo po implementaciji tehnologije manjših sončnih elektrarn, zlasti v evropskih državah, kjer stopnja tehnološke razvitosti še ni tako visoka. Čeprav manjše sončne elektrarne v začetku niso bile tako pogoste, je z napredkom in izboljšavami tehnologija dosegla nove meje, saj je dandanes dostopna širši javnosti in je poleg tega tudi bolj cenovno dosegljiva (Bergant, 2013, str. 5). Tehnologija pa se je dandanes tako nadgradila, da se posamezne manjše sončne elektrarne lahko medsebojno virtualno povezujejo in ustvarjajo večjo virtualno elektrarno.

GORIVNA CELICA

Gorivna celica je tehnologija, ki jo že uporabljamo, vendar so različice gorivnih celic še vedno v testnem stanju. Tehnologija je pripravljena za uporabo, saj je varna, vseeno pa poleg proizvodnje električne energije kaže še drugo lastnost, ki bi pomagala pri proizvodnji električne energije, to je shranjevanje (Rozman, 2020, str. 43). S pretvorbo odvečne električne energije v vodik, ki ga nato lahko skladiščimo in uporabimo, ko to potrebujemo, tehnologija omogoča drugačen pristop k reševanju energijske krize. Trenutno se velik del tehnologij osredotoča na dodatno proizvodnjo električne energije, medtem ko gorivna celica omogoča shrambo odvečne električne energije in nato uporabo pri povišanju porabe. Glede na to, da je tehnologija gorivne celice zelo prilagodljiva, saj poznamo več različnih vrst za različne potrebe delovanja (Rozman, 2020, str. 10), je tehnologija pripravljena za vstop na evropski trg, saj je želja Evrope za prihodnost postavitve pridobivanja električne energije iz obnovljivih virov v ospredje, zlasti z razogljičenjem transporta in težke industrije. Gorivna celica je obetavna za doseganje zastavljenih ciljev, zlasti v primeru shranjevanja električne energije (Lotrič, 2017; Vivanco-Martín in Iranzo, 2023; Crabtree in drugi, 2004).

JEDRSKA FISIJA

Jedrska fisija je prisotna že danes vendar z novo tehnologijo jedrske fisije govorimo o nižjih stroških, večji varnosti in lažjem nadzoru. Pri pregledu tehnologije smo ugotovili, da bi nekatere lastnosti bile resnične, zlasti cena izdelave reaktorjev, medtem ko druge, kot so nevarnost pri sevanju in odpadki, nekoliko manj. Glede na to, da je javno mnenje glede jedrske energije zaradi strahu pred varnostnimi zapleti negativno (Pidgeon in Demski, 2012, str. 45), je razmišljanje o postavitvi velikega števila manjših fisijskih reaktorjev možno v bližnji prihodnosti. Pri tem se osredotočamo na to, da je tehnologija že poznana in ne potrebujemo velikih novih raziskav, ob enem pa je tehnologija v običajnih reaktorjih že prisotna. Velika prednost je v zasnovi reaktorja, ki zahteva manj prostora, krajši čas izgradnje in je varnejši z vidika zasnove, saj kaže na varno zaustavljanje in ohlajevanje v primeru nesreče (Ultra Safe Nuclear, 2023). Za doseganje implementacije tehnologije

jedrske fisije na Evropski trg v bližnji prihodnosti, je potreben napredek v izobraževanju ljudi na temo jedrske energije.

Ker so omenjene tehnologije naprednejše in smiselno primerljive že v trenutnih okoliščinah, spodnja tabela 2 prikazuje primerjavo izbrani tehnologij za uvajanje v bližnji prihodnosti z nekaterimi trenutnimi tehnologijami za proizvodnjo električne energije, ki jih dandanes že najdemo na trgu. V primerjavi smo zaradi različnih vrst gorivne celice, izbrali 100 W gorivno celico, saj je med drugim njena uporaba namenjena tudi za zasebno shranjevanje električne energije. Pri tehnologiji male sončne elektrarne smo izbrali velikost 6000 W, za tehnologijo jedrske fisije SMR pa smo predpostavili 300 MW moči.

Tabela 2: Primerjava tehnologij za takojšnjo implementacijo z obstoječimi

	Gorivna celica [100 W]	Male sončne elektrarne [6000 W]	Jedrska fisija SMR [300 MW]	Vodne elektrarne [10 MW]	Vetrne elektrarne [50MW]
Cena proizvodnje električne energije [EUR/W]	21	2,4	0,06	0,05	0,04
Strošek postavitve [EUR]	2100	6890	303 milijon	1,9 milijon	1,3 milijon
Čas postavitve elektrarne	nekaj ur	nekaj mesecev do enega leta	3-5 let	med 2 in 4 leti	6 mesecev
Izkoristek	45 %	20 %	71 %	77 %	40 %

Vir: prirejeno po Cellucci in Ogletree (2024), Dalton (2020), Schlissel (2023), Neij (1998), Hadžiselimović in drugi (2018), Rozman (2020), Sijarić (2021), Teräsvirta in drugi (2020).

Iz tabele 2 je razvidno, da imajo cene veliko vlogo v tem ali se bo tehnologija uporabljala ali ne. Tako lahko vidimo, da je cena proizvodnje električne energije najnižja z uporabo vetrnih elektrarn, a opazimo, da je strošek postavitve med višjimi. Velik potencial ima jedrska fisija (SMR), saj je cena proizvedene električne energije med nižjimi, a je njen strošek postavitve najvišji, še posebej zaradi potrebe po izboljšavi proizvodnje reaktorjev, poleg tega pa bi potrebovali tudi do 5 let, da bi se tehnologija lahko postavila. Tehnologija gorivne celice obeta veliko, a vseeno vidimo, da je cena proizvodnje električne energije najvišja, poleg tega pa njen izkoristek ni najvišji, količina električne energije, ki jo proizvede gorivna celica pa je manjša v primerjavi z drugimi. Tako ponovno vidimo, da gorivna celica ne kaže svojega potenciala v proizvodnji električne energije, ampak njenem shranjevanju s pretvorbo. Mala sončna elektrarna izkazuje nekakšne srednje vrednosti cene proizvodnje električne energije v primerjavi z ostalimi tehnologijami. Čeprav vidimo, da je njena cena postavitve nizka, poleg tega pa je čas postavitve kratek, je njen izkoristek okoli 29 %, kar je daleč najslabša vrednost v primerjavi z ostalimi tehnologijami. Vseeno pa nam mala sončna

elektrarna ponuja prednost pred vsemi naštetimi tehnologijami v tabeli s samooskrbo. Cena električne energije, ki jo plača fizična oseba je minimalna, saj v tem primeru električno energijo proizvaja vsak sam, za zadovoljevanje svojih potreb. Vidimo, da je uporaba vodne elektrarne ali vetrne elektrarne še vedno ena najboljših možnosti glede cene za pridobivanje električne energije in visokega izkoristka. Strošek postavitve se giblje med 1,3 milijoni in 1,9 milijoni EUR. Vetrna elektrarna se lahko postavi dokaj hitro, tudi v 6 mesecih, medtem ko za postavitev hidroelektrarne lahko porabimo od 2 do 4 leta. Obenem se moramo zavedati, da sta časa postavitve vetrne in vodne elektrarne upravičljiva, saj naj bi elektrarna delovala dlje časa in z manj prestanki kot na primer sončna elektrarna, ki potrebuje menjavo panelov, poleg tega pa je prisoten tudi napredek na področju tehnologije za pridobivanje električne energije z uporabo vetrne in vodne elektrarne.

5.2 Uvajanje tehnologije v bližnji prihodnosti

Ko omenjamo tehnologijo, katere uvajanje bi bilo možno v bližnji prihodnosti, govorimo o tehnologiji, ki je trenutno v fazi razvoja in testiranja ter kaže visok potencial za uporabo, vendar je trenutno na stopnji, kjer njena prisotnost na trgu še ni smiselna ali fizično še ni mogoča. V kategorijo tehnologije za implementacijo v bližnji prihodnosti uvrščamo tehnologijo solarnih oken, rafinerijo sončne svetlobe ter jedrske fuzije.

SOLARNA OKNA

Tako kot druge tehnologije v tej kategoriji je tehnologija solarnih oken v razvojni fazi. Zaradi podobnosti pri zasnovi tehnologije solarnih oken s tehnologijo običajnih sončnih celic se razvija hitreje. Pri tehnologiji gre za neke vrste nadgradnjo, ki nam omogoča uporabo na vseh steklenih površinah, kar v primeru običajnih sončnih celic ni mogoče. Vseeno pa trenutno tehnologija prikazuje zmožnost delovanja le pri zasteklitvi manjših velikosti, okoli 0,462 m², ob enem pa je njena učinkovitost zelo slaba, saj dosega le 20 % učinkovitosti običajnih sončnih celic (Reilly, 2023). Čeprav gre za tehnologijo, katere izkoristek ni tako pomemben, se trenutno ne more primerjati z ostalimi načini pridobivanja električne energije, saj solarno okno proizvede le 84 W (Reilly, 2023). Tehnologijo bi bilo možno implementirati na evropski trg v bližnji prihodnosti z izboljšavo tehnologije, še posebej na področju izkoristka in možne večje površine zastekljevanja.

RAFINERIJA SONČNE SVETLOBE

Tehnologija rafinerije sončne svetlobe je teoretično primerna za takojšnjo implementacijo. Manjša ovira se pojavi pri razumevanju, da so trenutna proizvedena energija in podatki, pridobljeni na testni enoti, ki jo sestavlja le 400 ogledal, ki so usmerjeni v en sprejemni stolp, locirani v puščavi (Heliogen, brez datuma). Čeprav je pridobljena temperatura dovolj visoka in je energija toplote nato shranjena v toplotnih hranilnikih, bi podjetje Heliogen na

običajnem območju za komercialno rabo postavilo 4000 ogledal, kar pomeni 90 % povečanje (Kraemer, 2020). Poleg tega bi za zagotavljanje prave količine energije potrebovali več sprejemnih stolpov, kar pomeni več območij, kjer bi zajemali energijo sonca. Kot pri testni enoti bi za delovanje uporabili veliko sončno površino, idealno puščavo, ki je Evropa nima. Tako menimo, da je tehnologija pripravljena za uporabo in vstop na trg, a v Evropi s prilagoditvami in zakasnitvami, saj bi morali na celotnem sistemu opraviti preizkus, kjer bi se opazile dejanske pridobljene vrednosti. Poleg tega bi bilo treba razviti in pripraviti sistem do te mere, da bi bila proizvodnja in postavitve posameznih elementov lahko avtomatizirana (Heliogen, brez datuma).

JEDRSKA FUZIJA

Tehnologija spajanja jeder ali tehnologija jedrske fuzije je popolnoma nov način pridobivanja čiste električne energije. Glede na to, da je električno energijo možno proizvajati z dvema različnima reaktorjema, vidimo naprednost in možnost nadgrajevanja na tem področju. Oba načina zagotavljata varnejši način pridobivanja električne energije, medtem ko pri proizvodnji ni radioaktivnega odpadka kot pri trenutno uporabljeni tehnologiji jedrske fisije. Izpeljave eksperimentov na testnih enotah kažejo priložnost uporabe tehnologije v prihodnosti, saj že s trenutno tehnologijo lahko pridobivamo električno energijo, do 2,5 MJ (Helion, 2023). Trenutno v sistem dovedemo več energije, kot je iz njega pridobimo, obenem pa bi bila cena kWh električne energije, pridobljene z uporabo jedrske fuzije, previsoka, zato trenutno ne bi mogla tekmovati z ostalimi tehnologijami na evropskem trgu. Podjetje Helion pa v prihodnosti, do leta 2028, želi doseči ceno proizvedene električne energije 0,0094 EUR za 1 kWh (Helion, 2023). V tej tehnologiji zato vidimo visoko možnost implementacije v prihodnosti.

5.3 Uvajanje tehnologije v daljni prihodnosti

O tehnologiji, ki sodi v kategorijo tehnologije implementirane v daljni prihodnosti, govorimo v primeru, ko je tehnologija v začetnem stanju raziskav ali pa njena implementacija zaradi drugih zunanjih dejavnikov trenutno in v bližnji prihodnosti ne bi bila mogoča. V to kategorijo smo umestili tehnologijo mehanskega pločnika za pridobivanje električne energije.

PLOČNIK

Pri analizi tehnologije za pridobivanje električne energije z uporabo mehanskega pločnika smo ugotovili, da je količina proizvedene električne energije premajhna, okoli 5 W (Pavegen, 2023), poleg tega pa bi bila električna energija generirana nelinearno. Tehnologija ne omogoča visoke nadgradljivosti ali implementacije na različna področja, saj trenutno omogoča proizvodnjo električne energije le s hojo, pri kateri se plošče ugrezajo, kar hojo otežuje. Poleg tega je uporaba tehnologije namenjena le na območjih večjih gneč, kot so letališča in podzemne železnice (Nanalyze, 2015; Pavegen, 2023). Glavna negativna

lastnost, ki kaže na neprimernost implementacije na evropski trg pa je zajemanje osebnih podatkov posameznikov, ki spremljajo proizvodnjo električne energije na pločniku s svojimi koraki, s katerimi bi lahko predvideli gibanje družbe. Način in namen zbiranja osebnih podatkov o posameznikih bi kaj kmalu lahko postal visok vdor v zasebnost posameznikov, zato menimo, da tehnologija ni primerna za bližnjo implementacijo na evropski trg. Možnost implementacije tehnologije mehanskega pločnika je mogoča v daljni prihodnosti v primeru, da se poveča varnost podatkov posameznikov, obenem pa se tehnologija nadgradi do te mere, da je uporaba možna tudi na drugih področjih.

6 SKLEP

V magistrskem delu smo pregledali način pridobivanja električne energije, analizirali trg z električno energijo, pregledali in analizirali izbrane nove tehnologije za pridobivanje električne energije ter ocenili njihovo možnost implementacije na evropski trg. Ugotovili smo, da je dandanes velik del električne energije proizvedene z uporabo neobnovljivih virov, vseeno pa se države vse bolj pomikajo k ekološko prijaznejšim načinom pridobivanja. Med izbranimi tehnologijami smo ugotovili razlike v načinu in količini možne pridobljene električne energije ter razvitosti posamezne tehnologije. Pri analizi smo prišli do naslednjih zaključkov:

- Vse izbrane tehnologije imajo visok potencial uporabe v prihodnosti, medtem ko so nekatere že pripravljene za implementacijo na evropski trg. Najobetavnejša je tehnologija manjših sončnih elektrarn, ki se dandanes že uporablja, njena prepoznavnost in uporaba raste vedno hitreje, poleg tega pa se tehnologija ves čas izboljšuje in je bolj blizu običajnemu potrošniku. Primerna je za uporabo tako na poslovnih, kot na stanovanjskih objektih. Tehnologija je lažje dostopna običajnemu porabniku električne energije, obenem pa omogoča posameznikovo sodelovanje v izgradnji boljšega okolja prihodnosti.
- Tehnologija gorivne celice kaže tehnično vsestranskost in možnost prilagajanja različnim pogojem uporabe. Poleg tega je uporaba tehnologije gorivne celice ena od boljših možnosti za shranjevanje energije, kar kaže na velik skok v reševanju energetskega manka.
- Rafinerija sončne svetlobe predstavlja način pridobivanja električne energije z uporabo elementov, ki jih je lažje zamenjati. Glede na stopnjo razvoja, je tehnologija v stanju testiranja, vendar je sistem pokazal obetavne rezultate. Tehnologija omogoča pridobivanje toplotne energije, ki se nato pretvori v električno energijo, obenem pa kaže možnost implementacije tehnologije tudi na druge trge. Pomembna lastnost trenutnega preizkusa je, da tehnologija proizvaja energijo v puščavi, kar nakazuje, da tehnologija ni primerna za vse pogoje ali pa je zanjo potrebna adaptacija.
- Solarna okna so neke vrste nadgradnja običajnih sončnih celic, vseeno pa njihova tehnologija še ni izpopolnjena. Zaradi nizkega izkoristka in omejene velikosti zastekljene površine tehnologija potrebuje dodatno testiranje in napredek. Tako

tehnologija ni pripravljena za takojšnjo implementacijo na evropski trg, a je implementacija možna v bližnji prihodnosti.

- Tehnologija jedrske fuzije se je razvijala dlje časa in je trenutno v zadnjem delu razvoja, saj smo z njeno uporabo že lahko proizvedli električno energijo. Zaradi premajhne količine izstopne električne energije, sistem še ni dosegel zahtevanih ciljev in so potrebne nadaljnje raziskave. Vseeno pa, glede na napredek, lahko rečemo, da bi bila implementacija tehnologije jedrske fuzije na evropski trg možna v bližnji prihodnosti.
- Ob pregledu tehnologije jedrske fisije vidimo, da je tehnologija napredna z vidika izdelave, velikosti posameznih elementov, gradnje in zagotavljanja varnosti obenem pa je podobna trenutni uporabi jedrske fisije, zato menimo, da je tehnološko dovolj napredna za vstop na evropski trg. Vseeno pa moramo upoštevati tudi javno mnenje, ki govori o nezaupljivosti družbe do jedrske energije, zlasti fisije. Tako je tehnologija jedrske fisije pripravljena za implementacijo v bližnji prihodnosti, zlasti ob spremembi javnega mnenja glede jedrske energije.
- Tehnologija mehanskega pločnika ni primerna za takojšnjo ali bližnjo implementacijo na evropski trg, saj je primerna le za zelo ozek način uporabe, obenem pa ne zagotavlja linearnega proizvoda električne energije. Velik del problematike tehnologije mehanskega pločnika je nadzorovanje množice, saj bi s pregledom povezav mobilnih telefonov s pločnikom lahko zajemali zasebne podatke, zlasti o lokaciji posameznika. Tehnologija mehanskega pločnika je primerna za implementacijo v daljni prihodnosti v primeru, da se povečata stopnja varnosti podatkov posameznikov in naprednost tehnologije za implementacijo na različna področja.

Magistrsko delo je zajelo široko področje izbrane teme in doseglo želene cilje z analizo izbranih tehnologij za pridobivanje električne energije ter pregledom možnosti njihove implementacije na evropski trg. Poleg tega lahko pripomore k razumevanju načina ocene novodobne tehnologije, obenem pa omogoči nadaljnje raziskave na področju novih tehnologij za proizvodnjo električne energije in za ugotavljanje upravičenosti implementacij novodobnih tehnologij na evropski trg. Pregled novih tehnologij ni zagotovil le potrebnih informacij in razlag za razumevanje ter upravičenost izbranih tehnologij, temveč je prikazal tudi, kako se pravilno spopadati z negativnimi lastnostmi posamezne tehnologije, kako oceniti njeno pomembnost in na kakšen način zmanjšati negativne lastnosti ali pa jih popolnoma odpraviti.

LITERATURA IN VIRI

1. Alves Dias, P., Kanellopoulos, K., Medarac, H., Kapetaki, Z., Miranda-Barbosa, E., Shortall, R., Czako, V., Telsing, T., Vazquez-Hernandez, C., Lacal Arantegui, R., Nijs, W., Gonzalez Aparicio, I., Trombetti, M., Mandras, G., Peteves, E., Tzimas, E. (2018). *EU coal regions: opportunities and challenges ahead*. (1. izd). JRC Science for Policy Report.

2. Battery University. (2019). *BU-1003: Electric Vehicle (EV)*. Pridobljeno 21. septembra 2023 s <https://batteryuniversity.com/article/bu-1003-electric-vehicle-ev>
3. Bergant, V. (2013). *Sončne elektrarne za fizične osebe* (diplomsko delo). Ljubljana: Ekonomska fakulteta.
4. Bender, M., Bernard, R., Bertsch, G., Chiba, S., Dobaczewski, J., Dubray, N., A Giuliani, S., Hagino, K., Lacroix, D., Li, Z., Magierski, P., Maruhn, J., Nazarewicz, W., Pei, J., Peru, S., Pillet, N., Randrup, J., Regnier, D., Reinhard, P.,...Aberg, S. (2022). Future of nuclear fission theory. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 47, 1-58.
5. BP. (2022). Statistical Review of World Energy 2021. *Whitehouse Associates*, 71, 1–60.
6. British Petroleum. (2023). Energy Outlook 2023 edition. *Whitehouse Associates*, 1–66.
7. Cellucci N., Ogletree A. (2024). *How Much Do Solar Panels Cost In 2024?* [objava na blogu]. Pridobljeno 8. April 2024 s <https://www.forbes.com/home-improvement/solar/cost-of-solar-panels/>
8. Češnjevar, D. (2011). *Primerjava proizvodnje električne energije v TEŠ 6 in JEK 2* (diplomsko delo). Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko.
9. Dalton D. (2020). *Economic modelling Compares Costs Of SMR To Conventional PWR* [objava na blogu]. Pridobljeno 8. April 2024 s <https://www.nucnet.org/news/economic-modelling-compares-costs-of-smr-to-conventional-pwr-10-4-2020>
10. Ember. (2023). *Electricity generation in the European Union from 2020 to 2022, by fuel* [objava statistike]. Pridobljeno 10. novembra 2023 s <https://www-statista-com.nukweb.nuk.uni-lj.si/statistics/800217/eu-power-production-by-fuel/>
11. Enerdata. (2009). *World Energy Consumption Statistics* [objava statistike]. Pridobljeno 14. julija 2023 s <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>
12. Energy Monitor. (2023). *Nuclear power generation worldwide in 2022 with a forecast to 2035, by leading country (in gigawatt-hours)* [objava statistike]. Pridobljeno 21. novembra 2023 s <https://www-statista-com.nukweb.nuk.uni-lj.si/statistics/1388833/nuclear-power-generation-forecast-global-by-country/>
13. EurObserv'ER. (2023). *Renewable electricity mix in the European Union from 2013 to 2021, by energy source (in Terawatt hours)* [objava statistike]. Pridobljeno 21. novembra 2023 s <https://www-statista-com.nukweb.nuk.uni-lj.si/statistics/610362/renewable-electricity-mix-in-eu-28/>
14. European Commission. (2010). Europeans and Nuclear Safety Report. *Special Eurobarometer 324*, 1-124.
15. European Commission. (2022). *Fusion energy and ITER*. Pridobljeno 21. novembra 2023 s https://energy.ec.europa.eu/topics/research-and-technology/fusion-energy-and-iter_en
16. European Commission Staff. (2020). Clean Energy Transition – Technologies and Innovations. *SWD 2020 (953)*, 1-57.
17. European Commission. (2022). Progress on competitiveness of clean energy technologies. *European University Institute 2022 (643)*, 1-41.

18. Eurostat Statista. (2021). *Change in electricity consumption in the european union-2010-2021-by country* [objava statistike]. Pridobljeno 21. novembra 2023 s <https://www.statista.com/statistics/1097340/eu-change-in-power-consumption-by-country/>
19. Eurostat Statista. (2023). *Global electricity generation capacity by source* [objava statistike]. Pridobljeno 20. septembra 2023 s <https://www-statista-com.nukweb.nuk.uni-lj.si/statistics/267358/world-installed-power-capacity/>
20. Exxon Mobil. (2019). *Outlook for energy: A perspective to 2040* (1. izd). Exxon Mobil Corporation.
21. Ford, M. J., Abdulla, A., & Morgan, M. G. (2017). Evaluating the Cost, Safety, and Proliferation Risks of Small Floating Nuclear Reactors. *Society of Risk Analysis*, 37(11), 2191–2211.
22. Gabrovšek, L. (2015). *Upravičenost uporabe novih tehnologij pri vzdrževanju visokonapetostnih daljnovodov : primer uporabe brezпилotnega letala* (magistrsko delo). Ljubljana: Ekonomska fakulteta.
23. Ghada A. Al Bazedi, Mohamed H. Sorour, Shadia R. Tewfik, Abdelghani M. G. Abulnour in Heba A. Hani (2017). Economic prospective of small/medium nuclear reactors for hybrid seawater desalination systems, *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 10(4), 87–92.
24. Ghoranneviss, M., Salar Elahi, A. (2014). Review on recent developments in laser driven inertial fusion. *Hindawi Publishing Corporation*, 2014, 1-14.
25. Goldemberg, J. (2012). *Energy : What Everyone Needs to Know®*. Oxford University Press.
26. Grahek, S. (2014). *Stališča slovenskih državljanov do varnostnih tveganj pri obratovanju Nuklearne elektrarne Krško* (magistrsko delo). Maribor: Fakulteta za varnostne vede.
27. GreenMatch. (brez datuma). *What are Solar Windows?* [objava na blogu] Pridobljeno 13. avgusta 2023 s <https://www.greenmatch.co.uk/blog/solar-windows>
28. Hadžiselimović M., Praunseis Z., Seme S., Sredenšek K., Štumberger B. (2018). *Optimal price of electricity of solar power plants and small hydro power plants – Technical and economical part of investments*. *Energy* 157, 2018, 87-95
29. Heavy water. (brez datuma). *Britannica*. Pridobljeno 22. septembra 2023 s <https://www.britannica.com/science/heavy-water>
30. Heliogen. (brez datuma). *Decarbonizing Industry with Solar Thermal*. Pridobljeno 13. avgusta 2023 s <https://www.heliogen.com/>
31. Helion. (2023). *Helion Frequently Asked Questions*. Pridobljeno 22. septembra 2023 s <https://www.helionenergy.com/faq/>
32. Hočevvar M., Dular M. (2015). *Uvod v hidroenergetske sisteme*. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo.
33. Hotten, R. (2015). *Volkswagen: The scandal explained* [objava na blogu]. BBC News. Pridobljeno 23. septembra 2022 s <https://www.bbc.com/news/business-34324772>
34. International Atomic Energy Agency. (2022). *Energy, electricity and nuclear power estimates for the period up to 2050, AIEA, 2022*, 1-137.

35. International Trade Administration. (brez datuma). *EU Small Modular Reactors*. Pridobljeno 23.septembra 2023 s <https://www.trade.gov/eu-smr>
36. Jašarević, A. (2018). *Ekonomska upravičenost investicije v sončno elektrarno* (diplomsko delo). Ljubljana: Fakulteta za strojništvo.
37. Jojić, D. (2019). *Digitalizacija energetskega sklopa obnovljivih virov energije* (magistrsko delo). Ljubljana: Ekonomska fakulteta.
38. Jones, C. R., Yardley, S., in Medley, S. (2019). The social acceptance of fusion: Critically examining public perceptions of uranium-based fuel storage for nuclear fusion in Europe. *Energy Research and Social Science*, 52,192-203.
39. Kapoor, S. S. (2015). Seventy-five years of nuclear fission. *Pramana. Journal of Physics*, 85(2), 191–198.
40. Kembleton, R. (2020). Nuclear fusion. *Future Energy*, 3, 543-560.
41. King, A. (2022). *Solar jet fuel production from CO2 and water scaled up in field demo* [objava na blogu]. Royal society of Chemistry. Pridobljeno s <https://www.chemistryworld.com/news/solar-jet-fuel-production-from-co2-and-water-scaled-up-in-field-demo/4016002.article>
42. Kirubakaran, V., Mariprasath, T., in Ravindaran, M. (2019). *Modern Trends in Renewable Energy Technology* (1.izd). Cambridge Scholars Publishing.
43. Kraemer, S. (2020). Heliogen Introduces Solar Heat at 1 cent/kWh, *SolarPACES*. Pridobljeno 21. septembra 2023 s <https://www.solarpaces.org/at-the-solarpaces-conference-heliogen-introduces-solar-heat-at-1-cent-kwh/>
44. Krivec, A. (2022). *Tehnična, okoljska in družbena sprejemljivost proizvodnje električne energije* (diplomsko delo). Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko.
45. Kumar Mishra A. in Gowda Sheshadri A. (2020). Nuclear Fusion Reactor – A Review Study. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 4(3), 690-695.
46. Li, H., in Zhang, W. (2020). Perovskite Tandem Solar Cells: From Fundamentals to Commercial Deployment. *Chemical Reviews*, 120(18), 9835–9950.
47. Lotrič, A. (2017). *Sistem sočasne proizvodnje toplote in električne energije z visokotemperaturnimi gorivnimi celicami s protonsko prevodnimi membranami* (doktorsko delo). Ljubljana: Fakulteta za strojništvo.
48. Mikič, J. (2004). *Simulacijski model trga z električno energijo v Sloveniji* (magistrsko delo). Ljubljana: Ekonomska fakulteta.
49. Nanalyze. (2015). *PaveGen Tiles Harvest Kinetic Energy from Footsteps*. Pridobljeno 22. septembra 2023 s <https://www.nanalyze.com/2015/11/pavegen-tiles-harvest-kinetic-energy-from-footsteps/>
50. Neij, L. (1998). Cost dynamics of wind power. *Energy* 24 (1999), 375-389
51. Norsk Solar. (2021). *Information document*. Pridobljeno 22. septembra 2023 s <https://norsksolar.com/wp-content/uploads/2021/04/Norsk-Solar-Information-Document.pdf>
52. Nye, D. E. (2004). Electricity Use, History of. *Encyclopedia of Energy* 2, 177-190.

53. O'Hayre P., R., Cha, S., Colella, W., in B. Prinz, F. (2016). *Fuel cell fundamentals*. John Wiley & Sons, Inc.
54. Ongena, J. (2022). Fusion: A true challenge for an enormous reward. *EPJ Web of Conferences*, 268, 1-26.
55. OPEC. (2014). *World oil outlook* (1. izd). OPEC Secretariat.
56. Oracle. (2024). *Net Energy Metering*. Pridobljeno 13. avgusta 2023 s https://docs.oracle.com/en/industries/energy-water/rate-cloud/22c/racs-user-guides/index.html#page/RCS_22c/C1_BP05Billing_NetEnergyMetering.html#
57. Ormerod, R. M. (2003). *Solid oxide fuel cells* (1. izd). Chemical Society Reviews.
58. Pavegen. (2023). *Pavegen: Transport hubs*. Pridobljeno 22. septembra 2023 s <https://www.pavegen.com/transport-hubs>
59. Pavlin, M. (2015). *Shranjevanje sončne energije s pomočjo vodikovih tehnologij* (diplomsko delo). Ljubljana: Fakulteta za strojništvo.
60. Pernick, R., Wilder, C., Winnie, T., in Sosnovac, S. (2011). *Clean Energy Trends 2011*. Clean Edge INC.
61. Petko, A. (2013). *Analiza posledic zaprtja jedrskih elektrarn v Nemčiji* (magistrsko delo). Ljubljana: Ekonomska fakulteta.
62. Petrol. (2023). *Vaš dom nadgradite z vrhunsko sončno elektrarno*. Pridobljeno 22. septembra 2023 s <https://www.petrol.si/za-dom/energetske-resitve/soncne-elektrarne>
63. Pidgeon, N., in Demski, C. C. (2012). From nuclear to renewable: Energy system transformation and public attitudes. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 68(4), 41-51.
64. Požes, L. (2018). *Ekonomska upravičenost postavitve fotonapetostnih elektrarn* (magistrsko delo). Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko.
65. PRT. (2022). *Renewable emergy production share worldwide in 2021 with a forecast for 2027, by region* [objava statistike]. Pridobljeno 2. novembra 2023 s <https://www.statista.com/statistics/1360326/forecast-renewable-energy-share-of-production-worldwide-by-region/>
66. Qvist, S. (2014). Optimizing the design of small fast spectrum battery-type nuclear reactors. *Energies* 2014(7), 4910-4937.
67. Ramana M.V. (2022). The Impossible Promises of Small Modular Nuclear Reactors. *Peace Magazine*, JUL/SEP 2022, 14–18.
68. Reilly, C. (2023). *These Solar Windows Are an Invisible Alternative to Solar Panels* [objava na blogu]. Pridobljeno 22. septembra 2023 s <https://www.cnet.com/science/these-solar-windows-are-an-invisible-alternative-to-solar-panels/>
69. Riordon, J. R. (2023). Nuclear fusion passes key milestone. *Science News*, January, 6.
70. Rozman, A. (2020). *Prenapetostna krivulja gorivne celice s protonsko prevodno membrano* (diplomsko delo). Ljubljana: Fakulteta za strojništvo.
71. Rubanda, M. E., Senyonga, L., Ngoma, M., in Adaramola, M. S. (2023). Electricity Trading in Energy Market Integration: A Theoretical Review. *Energies* 16(103), 31.

- [illegible]

87. Ubiquitous Energy. (brez datuma). *Truly transparent solar*. Pridobljeno 13. avgusta 2023 s <https://ubiquitous.energy/>
88. Ultra Safe Nuclear. (2023). *Micro Modular Reactor*. Pridobljeno 23. septembra 2023 s <https://www.usnc.com/mmr/>
89. University of California, Museum of Paleontology. (brez datuma). *Burning of fossil fuels*. Pridobljeno 2. avgusta 2023 s <https://ugc.berkeley.edu/background-content/burning-of-fossil-fuels/>
90. Varčujem z energijo. (2023). *Sončna elektrarna 11 kW - cena, subvencije in donos v 2023* [objava na blogu]. Pridobljeno 25. septembra 2023 s <https://www.varcevanje-energije.si/fotovoltaične-elektarne/sončna-elektarna-izračun-donosnosti.html#Cena>
91. Vivanco-Martín, B., in Iranzo, A. (2023). Analysis of the European Strategy for Hydrogen: A Comprehensive Review. *Energies* 2023, 16(3866), 1-36.
92. Voelcker J. (2022). *Hydrogen Fuel-Cell Vehicles: Everything You Need To Know* [objava na blogu]. Pridobljeno 2. avgusta 2023 s <https://www.caranddriver.com/features/a41103863/hydrogen-cars-fcev/>
93. W. Crabtree, G., S. Dresslhaus, M., in V. Buchanan, M. (2004). The Hydrogen Economy. *Physics Today*, 39-44.
94. Waldrop, M. M. (2014). The Fusion upstarts. *Nature*, 511, 398-400.
95. Whitfield, M. B. in Temple, R. K. (2010). Are Small Reactors the Next U.S. Nuclear Renaissance? *Wiley Periodicals INC, October 2010*, 13-17.
96. Zoller, S., Koepf, E., Nizamian, D., Stephan, M., Patané, A., Haueter, P., Romero, M., Gonzalez-Aguilar, J., Lieftink, D., de Wit, E., Brendelberger, S., Sizmann, A. in Steinfeld, A. (2022). A solar tower fuel plant for the thermochemical production of kerosene from H₂O and CO₂. *Joule* 6, 1606-1616.