Utjecaj različitih tehnologija proizvodnje električne energije iz OIE na okoliš

Cupić, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:237980

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-26**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Sveučilišni studij

UTJECAJ RAZLIČITIH TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ OIE NA OKOLIŠ

Završni rad

Filip Cupić

Osijek, 2024.

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK**

Obrazac Z1P: Obrazac za ocjenu završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju

Ocjena završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju

Ime i prezime pristupnika:	Filip Cupić
Studij, smjer:	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. pristupnika, god.	4801, 28.07.2020.
JMBAG:	0165087083
Mentor:	prof. dr. sc. Damir Šljivac
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Utjecaj različitih tehnologija proizvodnje električne energije iz OIE na okoliš
Znanstvena grana završnog rada:	**Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)**
Zadatak završnog rada:	Opisati različite tehnologije proizvodnje električne energije iz OIE s obzirom na njihov utjecaj na okoliš i i usporediti ih međusobno i u odnosu na utjecaj na okoliš konvencionalnih TE na fosilna i nuklearna goriva.

Datum prijedloga ocjene završnog rada od strane mentora:	11.09.2024.
Prijedlog ocjene završnog rada od strane mentora:	Izvrstan (5)
Datum potvrde ocjene završnog rada od strane Odbora:	25.09.2024.
Ocjena završnog rada nakon obrane:	Izvrstan (5)
Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije završnog rada čime je pristupnik završio sveučilišni prijediplomski studij:	27.09.2024.

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK**

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Osijek, 27.09.2024.

Ime i prezime Pristupnika:	Filip Cupić
Studij:	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	4801, 28.07.2020.
Turnitin podudaranje [%]:	4

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**: Utjecaj različitih tehnologija proizvodnje električne energije iz OIE na okoliš**

izrađen pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Damir Šljivac

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis pristupnika:

SADRŽAJ

1. UVOD 1

1.1. Zadatak završnog rada 1

2. UTJECAJ RAZLIČITIH TEHNOLOGIJA OIE NA OKOLIŠ 2

2.1. Solarna energija 2

2.1.1. Utjecaji proizvodnje panela i njegova redovna rada na okolinu 3

2.1.2. Recikliranje panela 4

2.1.3. Ekološki utjecaji solarnih elektrana 6

2.2. Energija vjetra 7

2.2.1. Utjecaj konstrukcije i rada vjetroelektrana na okolinu 7

2.2.2. Ekološki utjecaj vjetroelektrana 7

2.2.3. Utjecaj isključivanja vjetroelektrane iz uporabe te njezina odlaganja ili recikliranja na okoliš 9

2.3. Hidroenergija 11

2.3.1. Utjecaj gradnje hidroelektrane na njezinu okolinu 12

2.3.2. Emisije metana 13

2.3.3. Utjecaj na životinjski svijet 14

2.4. Geotermalna energija 15

2.4.1. Utjecaj geotermalne elektrane na okolinu 15

2.4.2. Opasni otpad 16

2.4.3. Utjecaj na kvalitetu zraka 17

2.4.4. Inducirani potresi uzrokovani radom geotermalnih elektrana 17

2.5. Biomasa 18

2.5.1. Utjecaj biomase na okoliš u proizvodnji električne energije 19

2.5.2. Utjecaj na tlo, vodu i bioraznolikost 20

2.5.3. Kumulativna CO_2 neutralnosti biomase i problem njezine održivosti 21

3. USPOREDBA TEHNOLOGIJA OIE S KONVENCIONALNIM METODAMA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE 24

3.1. Korištenje energetskih resursa na globalnoj razini 24

3.1.1. Europska unija 25

3.2. Emisije stakleničkih plinova 26

3.2.1. Emisije CO_2 nastale pri proizvodnji električne energije na globalnoj razini 29

3.3. Usporedba utjecaja obnovljivih i neobnovljivih izvora električne energije na ostale aspekte okoliša i društva 30

3.3.1. Zauzimanje zemljišta 30

3.3.2. Količine ruda potrebnih za rad postrojenja 32
3.3.3. Utjecaj na ljudsko zdravlje i na ekosustav 33

4. ANALIZA TROŠKOVA CO_2 EKVIVALENATA PRI RADU RAZLIČITIH TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE 36

4.1. Sustav trgovanja emisijama CO_2 36

4.1.1. Funkcioniranje europskog sustava trgovanja emisijama CO_2 36

4.2. Proračun troškova emisija CO_2 ekvivalenata za različite tehnologije proizvodnje električne energije 38

5. ZAKLJUČAK 43

LITERATURA 45

SAŽETAK 48

ABSTRACT 49

ŽIVOTOPIS 50

1. UVOD

Proizvodnja električne energije predstavlja ključnu komponentu suvremenog društva, no kako se povećava potreba za samom energijom, tako raste i svijest o ekološkim izazovima koje uzrokuju tradicionalne metode proizvodnje električne energije. Zbog toga obnovljivi izvori energije (OIE) postaju ključni faktor u globalnim naporima za smanjenje emisija stakleničkih plinova i očuvanje okoliša. Konvencionalne metode proizvodnje električne energije, poput sagorijevanja fosilnih goriva, pokazale su se štetnima za okoliš zbog emisija štetnih plinova i čestica. Stoga su OIE, kao što su solarna energija, energija vjetra, hidroenergija, geotermalna energija i biomasa, postale sve privlačnije metode u proizvodnji električne energije. Međutim, svaka od ovih tehnologija nosi svoje specifične utjecaje na okoliš, koji nisu zanemarivi. Ovaj rad istražuje utjecaje različitih oblika tehnologija za proizvodnju električne energije iz OIE na okoliš, odnosno na klimu, životinje i njihova staništa te na zrak i vodu. U teorijskom dijelu rada definirati će se utjecaji na okoliš svake tehnologije proizvodnje električne energije iz OIE pojedinačno te će se usporedit statistički podaci o emisijama stakleničkih plinova nastalih korištenjem konvencionalnih metoda proizvodnje električne energije sa emisijama OIE. U proračunskom dijelu rada analizirat će se troškovi povezani s ispuštanjem stakleničkih plinova tijekom proizvodnje električne energije, uzimajući u obzir različite tehnologije proizvodnje (obnovljivi i neobnovljivi izvori) kroz njihov cijeli životni ciklus.

1.1. Zadatak završnog rada

Zadatak ovog završnog rada je opisati načine na koje različite tehnologije proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora negativno utječu na okoliš i usporediti takve načine dobivanja električne energije sa konvencionalnim metodama (sagorijevanje fosilnih goriva) te na posljetku donijeti zaključak o tome jesu li OIE bolja alternativa od konvencionalnih metoda.

2. UTJECAJ RAZLIČITIH TEHNOLOGIJA OIE NA OKOLIŠ

Konvencionalni izvori energije poput ugljena, nafte i prirodnog plina, poznati kao i fosilna goriva koriste se za proizvodnju energije u elektranama već nekoliko stoljeća. Njihova najveća prednost je visoka energetska gustoća, no njihovim korištenjem se u atmosferu oslobađa velika količina stakleničkih plinova, koji loše utječu na okoliš i uzrokuju globalno zagrijavanje. Kako bi se emisije štetnih stakleničkih plinova smanjile, potrebno je fosilna goriva zamijeniti obnovljivim izvorima energije (OIE). OIE se često smatraju izvorima energije bez emisija te ekološki prihvatljivijom alternativom, iako su OIE značajno bolji za okoliš od fosilnih goriva, njihov utjecaj na okoliš, ipak nije zanemariv. OIE utječu, najčešće negativno, na brojne aspekte okoliša, a neki od njih su: kvaliteta zraka, ekološki resursi (flora i fauna), vodeni resursi, tlo i geološki resursi te sigurnost i zdravlje ljudi. [1]

2.1. Solarna energija

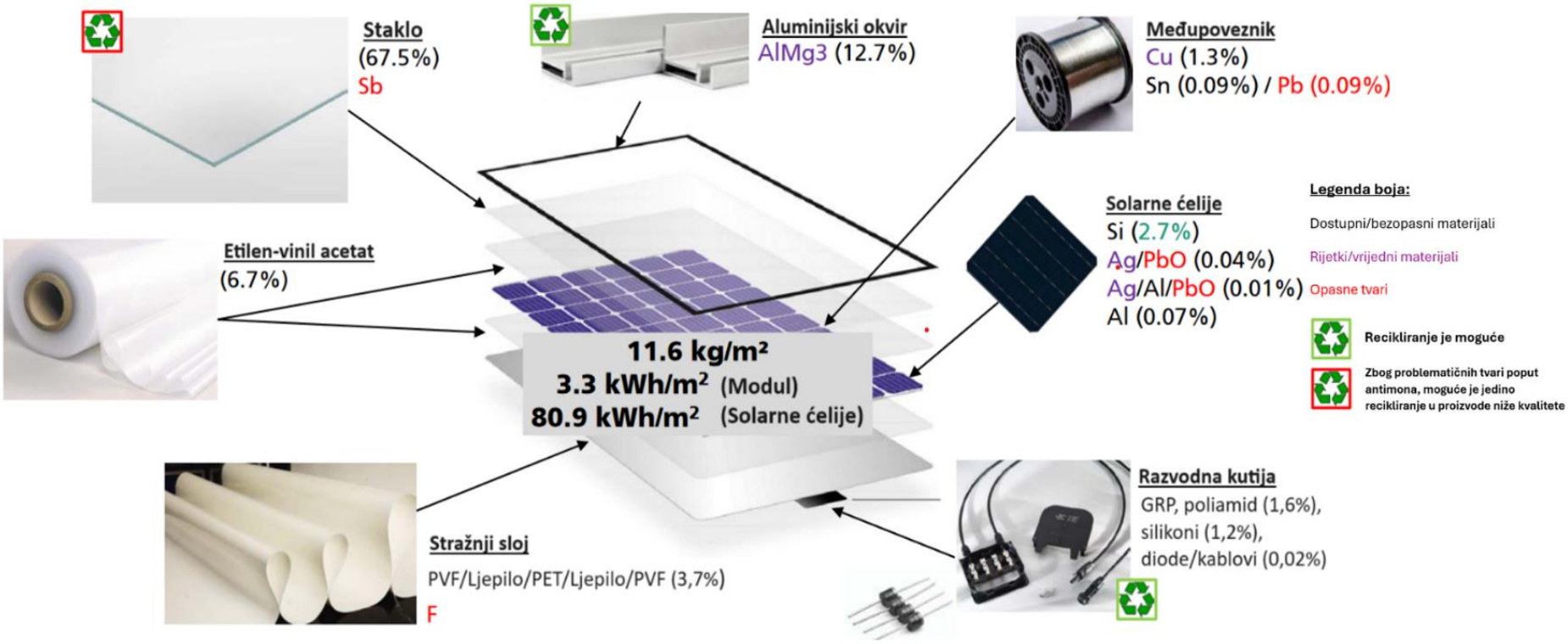
Fotonaponski sustav je tehnologija koja pretvara sunčevu svjetlost izravno u električnu energiju. On predstavlja neiscrpni izvor električne energije, fotonaponski sustavi pružaju dugotrajno razdoblje rada uz minimalne troškove održavanja. Elementi fotonaponskog sustava su otporni i jednostavni za projektiranje, zato je njihova primjena sve češća u izgradnji velikih postrojenja, ali i samostalnih sustava. Fotonaponske ćelije prve generacije izrađene su od kristalnog silicija (monokristalnog i polikristalnog silicija). Drugom generacijom smatraju se fotonaponske ćelije izrađene od tankog filma izrađenog od amorfnog silicija, kadmij-telurida (CdTe) te bakar-indij-galij-selenida (CIGS). Treća generacija fotonaponskih ćelija izvedena je također od tankog filma, koji je često izrađen od neorganskih materijala i organometalnih spojeva. [2] Tijekom proteklog desetljeća, učinkovitost komercijalnih monokristalnih silikonskih, ali i CdTe modula je značajno porasla. Učinkovitost monokristalnih silikonskih modula povećala se sa 16% na 22%, a učinkovitost CdTe modula porasla je sa 9% na gotovo 20%. Stoga, količina energije koju solarni moduli nove generacije proizvedu također se značajno povećala. [3]

2.1.1. Utjecaji proizvodnje panela i njegova redovna rada na okolinu

Solarne fotonaponske elektrane smatraju se izvorom čiste energije, odnosno energijom koja ne emitira štetne emisije stakleničkih plinova, no to nije u potpunosti istinito, iako je količina takvih emisija značajno manja usporedno sa emisijama elektrana na fosilna goriva, takve emisije postoje i kod fotonaponskih elektrana. Emisije CO_2 kod solarnih fotonaponskih elektrana proizlaze iz proizvodnog procesa samih solarnih panela, njihova transporta i instalacije. Tijekom ostatka njihova vijeka trajanja emisije mogu nastati i prilikom održavanja, ali i njihovim recikliranjem. Procjenjuje se da solarna fotonaponska elektrana tijekom svoga ukupnog životnog vijeka proizvede oko 32-82g CO_2 po kWh proizvedene energije. [4] Osim stakleničkih plinova, prilikom proizvodnje panela stvaraju se brojni toksični i lako zapaljivi nusproizvodi i materijali koji predstavljaju rizik za ljudsko zdravlje, ali također i negativno utječu na biljni i životinjski svijet. Iako solarni paneli tijekom rada ne ispuštaju nikakve oblike štetnih tvari ili plinova. Kod zasebnih solarnih modula izrađenih od kadmij-telurida i bakar-indij-galij-selenida, postoji mala količina tvari koja može biti ispuštena u okoliš, količina takvih tvari nije zabrinjavajuća kod malih postrojenja, ali povećanjem istih, ta razina štetnih tvari može izazvati ozbiljne posljedice po zdravlje. Neke od tvari koje su štetne po zdravlje ali i okoliš, a nalaze se u panelima su silicij, kadmij i arsen, oni se javljaju najčešće u obliku krutih čestica. Udisanje silicijeve prašine u dužem periodu može izazvati silikozu, odnosno trajno stvaranje ožiljaka na plućnom tkivu. Ovim problemom najviše su pogođeni rudari koji iskopavaju silicijev dioksid, poznatiji i kao kvarc, potreban za proizvodnju solarnih ćelija. Osim negativnog utjecaja na zdravlje, kvarc se nakon iskapanja mora rafinirati, kako bi se dobio metalurški silicij. Proces rafiniranja zahtjeva korištenje visokih peći koje zahtijevaju ogromne količine energije za zagrijavanje, pri čemu se ta toplinska energija dobiva spaljivanjem fosilnih goriva, tim se postupkom ispušta velika količina CO_2 u atmosferu. Nakon toga metalurški silicij dalje se pročišćava do oblika kojeg nazivamo polikristalnim silicijem, pri ovom postupku dolazi do pojave toksične tvari zvane silicijev tetraklorid, on predstavlja nusproizvod proizvodnog procesa. Silicijev tetraklorid može se reciklirati i iz njega se može naknadno dobiti dodatna količina polikristalnog silicija, no taj se postupak zbog visokih troškova i kompliciranosti izostavlja te se ovaj toksični nusproizvod najčešće odlaže u vodu ili tlo, pri čemu dolazili do stvaranja klorovodične kiseline. Klorovodična kiselina negativno utječe na kvalitetu tla, odnosno ona povećava njegovu toksičnost i smanjuje mu plodnost. [5]

2.1.2. Recikliranje panela

Radni vijek solarnih panela ograničen je, ali ako su oni redovno i pravilno održavani, može iznositi od 25 do 30 godina. Nakon tog perioda, solarne panele potrebno je zamijeniti i pravilno zbrinuti ili u najboljem slučaju reciklirati. Proces recikliranja panela sve više napreduje, no još uvijek postoje ograničenja, a sam proces nije jednak za sve vrste fotonaponskih tehnologija. Uspješno se mogu reciklirati paneli izrađeni od monokristalnog i polikristalnog silicija, tehnologija recikliranja panela na bazi kadmij-telurida također napreduje, ali za ostale vrste fotonaponskih tehnologija recikliranje još uvijek nije dovoljno razvijeno. Proces recikliranja iznimno je resursno zahtjevan, skup i nerijetko neefikasan. Fotonaponski paneli ne mogu se u potpunosti reciklirati, a materijale koji ostaju nakon procesa razvrstavanja i recikliranja potrebno je pravilno odložiti. Zbrinjavanje solarnih panela koji se ne mogu reciklirati zahtjeva veliku površinu, u obliku odlagališta, pri čemu na takvim lokacijama može doći do zagađenja tla te ispiranja toksičnih tvari poput olova, selenija i kadmija u podzemne vode. Recikliranja panela zahtjeva veliku količinu vode za pranje, ispiranje i razdvajanje materijala, a to može negativno utjecati na dostupnost i kvalitetu vode na danom području. Recikliranjem se također generiraju emisije brojnih stakleničkih, ali i toksičnih plinova poput; ugljičnog dioksida, dušikovih oksida, metana, sumporovih oksida te brojnih hlapivih organskih spojeva. [6]



Slika 2.1. *Materijali od kojih je solarni panel izrađen i mogućnost njihova recikliranja* [3]

2.1.3. Ekološki utjecaji solarnih elektrana

Svaki oblik razvoja, pri tome se misli na gradnju postrojenja solarne elektrane ima negativne posljedice, ponajviše na biljni i životinjski svijet nastanjen na danoj lokaciji. Kako bi se omogućili idealni uvjeti za generiranje što veće energije solarne panele potrebno je instalirati pod određenim kutom, koji ovisi o lokaciji same elektrane, a to zahtjeva izgradnju noseće konstrukcije, kod koje se betonska struktura ukopava u tlo. Ovim postupkom direktno se utječe na životinjska staništa, biljne vrste, ali i samu kvalitetu tla, koja nakon duljeg vremena postupno opada. Prikupljanje sunčeve energije solarnim panelima najviše pogađa biljne vrste poput malih grmova, trava i ostalih pokrivača tla. [5] Fotonaponske elektrane imaju relativno malu površinsku gustoću snage, to jest zbog svoje poprilično male učinkovitosti, elektrane velikih kapaciteta zahtijevaju veliku površinu za proizvodnju dostatne količine električne energije, što može izazvati vizualno, ali i ekološko opterećenje na okoliš. [7] U ekološko opterećenje ubraja se uklanjanje ili izmjena biljnih zajednica, najčešće u obliku deforestacije, takvim postupcima naknadno se opterećuje divlje životinje koje žive unutar ili blizu takvih staništa, otežavajući im mogućnost pronalaska hrane, skloništa te razmnožavanje. Još jedan od potencijalnih rizika za životinjski svijet je buka, koja nastaje prilikom izgradnje postrojenja, ona može negativno utjecati na životinje koje su osjetljive na glasne zvukove poput ptica, šišmiša i glodavca, koji zbog toga napuštaju svoja staništa. [1]

Slika 2.2. *Primjer deforestacije pri gradnji solarne elektrane* [8]

2.2. Energija vjetra

Energija vjetra se smatra jednom od najčišćih i ekološki najprihvatljivijih izvora energije, to je ujedno i jedan od najstarijih oblika OIE. Vjetroelektrane koriste vjetar kako bi proizvele električnu energiju. Vjetar pokreće lopatice vjetroturbine oko rotora, koji pokreće generator, pri čemu se stvara električna energija. Vjetroelektrane dijelimo na dva osnovna tipa: horizontalne vjetroelektrane (rotor se okreće oko horizontalna osi) te vertikalne vjetroelektrane (rotor se okreće oko vertikalne osi). Najčešće se koriste vjetroelektrane sa horizontalnom osi i to one koje imaju tri lopatice. Možemo ih podijeliti i prema lokaciji na kojoj su instalirane, pa tako razlikujemo kopnene vjetroelektrane te vjetroelektrane na moru. [9]

2.2.1. Utjecaj konstrukcije i rada vjetroelektrana na okolinu

Iako se vjetroelektrane smatraju ekološki najprihvatljivijim izvorom električne energije, one također imaju i negativan učinak, koji iako mali, ipak nije zanemariv. Poput ostalih OIE i vjetroelektrane, posebno ako su u pitanju velika postrojenja zauzimaju iznimno veliku površinu, no ona je ipak manja usporedno sa fotonaponskim elektranama. Izvor energije, odnosno vjetar može se opisati kao povremen, odnosno usko je povezan s vremenskim prilikama i lokacijom na kojoj se postrojenje nalazi. Stoga je količina proizvedene električne energije često varijabilna, iako je cijena ovakvih postrojenja poprilično visoka. [10] Emisije štetnih stakleničkih plinova i hlapivih organskih spojeva nastaju prilikom proizvodnje dijelova vjetroagregata (stupa, rotora, električnog generatora), ali i prilikom njihova transporta te instalacije. [1] Prosječna količina emisije CO_2 koju vjetroelektrana proizvede za svoga životnog ciklusa iznosi između 5g i 26g po kWh proizvedene električne energije. U taj iznos uračunate su emisije nastale transportom, izgradnjom, održavanjem te naposlijetku demontažom i zbrinjavanjem ili recikliranjem. [11] Vizualni utjecaj vjetroturbina još jedan je od kritičnih faktora koji utječe na okolinu u kojoj je elektrana nalazi, ali i na javnu percepciju ove tehnologije. Vizualni utjecaj vjetroelektrana na okolinu ovisi o više faktora, na primjer o udaljenosti postrojenja od naseljenih područja, prirodnih staništa i kulturnih znamenitosti, veličini, tipu i broju vjetroturbina, brzini rotacije lopatica i rasporedu turbina na lokaciji. [12]

2.2.2. Ekološki utjecaj vjetroelektrana

Iako su emisije stakleničkih plinova ove tehnologije proizvodnje električne energije relativno male, stoga je njihov utjecaj na globalno zagrijavanje i klimu minimalan, vjetroelektrane predstavljaju poprilično veliki problem za živi svijet. Utjecaje vjetroelektrana na divlji svijet možemo kategorizirati u izravne i neizravne. Izravni utjecaj je smrtnost izazvana zbog sudara

(ptica i šišmiša) s vjetroagregatom, dok su neizravni utjecaji narušavanje staništa i premještanje životinjskih vrsta. Utvrđeno je da ptice najviše stradavaju pri sudarima s vjetroelektranama diljem svijeta. Iako broj ptica ubijenih vjetroelektranama može biti zanemariv u usporedbi s drugim ljudskim aktivnostima, on ipak nije jednak nuli. Procijenjeni broj ptica ubijenih vjetroturbinama ovisi o metodologiji istraživanja, lokaciji, dizajnu vjetroturbina i brojnim drugim čimbenicima. Istraživanje iz Sjedinjenih Američkih Država procijenilo je da stopa smrtnosti ptica u prosijeku iznosi 2,3 ptice po turbini godišnje za vjetroturbine s promjerom rotora od 33m do 72m. [13]

Slika 2.3. *Jato ptica u neposrednoj blizini vjetroturbine* [14]

Morske vjetroelektrane mogu negativno utjecati na morske vrste. Izgradnja temelja vjetroagregata i postavljanje tornjeva na lokaciji uzrokuje zamućenje morske vode i unosi dodatne objekte na morsko tlo, ti postupci mogu uzrokovati značajnu štetu morskoj flori i fauni. Za potrebe gradnje postrojenja na kopnu često dolazi i do krčenja šuma te uklanjanja površinskih biljaka, zbog takvih postupaka dolazi do pojave erozije tla te narušavanja ekološke ravnoteže cijelog područja. [15] Najznačajniji neizravni utjecaj vjetroelektrana na živi svijet jest buka koju one proizvode. Zbog svojeg karakterističnog načina rada, vjetroagregati proizvode veliku količinu buke, odnosno zvučnog onečišćenja. Buka vjetroturbine uključuje mehaničku i aerodinamičku buku. Aerodinamička buka dolazi od prolaska lopatica vjetroturbine kroz zrak, ova buka varira u

ovisnosti o brzini vjetra te veličini i brzini rotacije lopatica. Aerodinamička buka sadrži različite frekvencije i smatra se širokopojasnom bukom. Mehanička buka proizlazi iz unutarnjih zupčanika turbine, generatora i drugih pomoćnih dijelova, Mehanička buka se za razliku od aerodinamične ne povećava s povećanjem dimenzija vjetroturbine. Ovi oblici buke primjetni su i iritantni ljudima, ali ponajviše životinjama. [15] Na temelju modela industrijske vjetroturbine snage 1,5 MW na visini središta rotora vjetroturbine od 80 metara, smještene na otprilike 300 metara udaljenosti od susjednih vjetroagregta utvrđene su slijedeće razine (vršne) buke izražene u decibelima:

- Na udaljenosti od 90 metara od lopatica, detektirana je razina buke od 45 do 50 decibela
- Na udaljenosti od 600 metara detektirana je razina buke od 40 decibela
- Na udaljenosti od 1600 metara detektirana je razina buke od 30 do 35 decibela

Osjetljivost različitih skupina životinja može se sažeti na slijedeći način:

- Ptice: frekvencije zvuka od 100 Hz do 8-10 kHz, osjetljivost na 0,1 dB
- Sisavci: frekvencije zvuka od 10 Hz do 150 kHz, osjetljivost do 20 dB
- Gmazovi: frekvencije zvuka od 50 Hz do 2 kHz, osjetljivost od 40 dB do 50 dB
- Vodozemci: frekvencije zvuka od 100 Hz do 2 kHz, osjetljivost od 10 dB do 60 dB

Smanjivanje gustoće populacija šumskih i travnjačkih ptica javlja se pri razini buke između 45 i 48 decibela, dok su najosjetljivije vrste ptica pokazale smanjenje populacije već na razinama od 30 do 43 decibela. Stoga iz danih informacija moguće je zaključiti da vjetroelektrana može negativno utjecati na životinjske populacije i na udaljenosti od 1,6 kilometara. Buka ne mora biti glasna kako bi imala negativne učinke. Niskofrekventni zvukovi, uključujući infrazvuk (zvuk frekvencije niže od 20 Hz), mogu imati negativan učinak na ljude i životinje, a upravo buka vjetroturbina rezultira visokim udjelom infrazvuka. Infrazvuk je nečujan ljudskom uhu, no usprkos tome on može uzrokovati ljudsku iritaciju, dezorijentaciju i uznemirenost. Za ptice, šišmiše i druge životinje, ovi učinci mogu biti još izraženiji. [1]

2.2.3. Utjecaj isključivanja vjetroelektrane iz uporabe te njezina odlaganja ili recikliranja na okoliš

Predviđeni radni vijek vjetroturbine procjenjuje se na 20 do 25 godina, vijek trajanja određen je brojnim čimbenicima kao što su kvaliteta izrade, redovito održavanje i opterećenja na koja je vjetroturbina pri svome radu izložena. Izrada vjetroagregata zahtjeva veliku količinu energije i materijala, poput metala (čelik, aluminij, bakar) i različitih kompozitnih materijala (staklena vlakna, smola, karbonska vlakna), ove materijale potrebno je pravilno zbrinuti ili reciklirati, nakon

kraja radnog vijeka vjetroturbine. Najveći problem pri recikliranju predstavljaju kompozitni materijali. Čelik i aluminij od kojeg je izgrađen toranj, lako se mogu obraditi, no lopatice vjetroturbine zbog svoga karakterističnog sastava zahtijevaju kompliciranije procese recikliranja. U te procese ubrajamo mehaničku obradu materijala, pirolizu, oksidaciju u fluidiziranom sloju te razna kemijska rješenja. [16] Svaki, prethodno navedeni oblik reciklažnog procesa ima negativne posljedice, po okoliš, ali i po ljudsko zdravlje te nije stopostotno efektivan.

Problemi povezani sa pojedinim reciklažnim procesom su:

- Mehanička obrada: prilikom obrade dolazi do stvaranja prašine koja stvara opasno okruženje za rad i zahtjeva sustav filtracije kako ne bi dospjela u okoliš
- Piroliza: oslobađa se značajna količina toksičnih plinova, iako je proces skup, kvaliteta recikliranih vlakana nije visoka
- Oksidacija u fluidiziranom sloju: oslobađaju se onečišćivači koji negativno djeluju na okoliš
- Kemijski procesi: najmanje ekološki prihvatljiva opcija, niska učinkovitost, potrebne su velike količine kemijskih otapala, od kojih većina ima štetan utjecaj na okoliš

Jedno od rješenja je i spaljivanje preostalih materijala od vjetroturbine, no osim što se takvim postupkom u atmosferu (ako nisu korišteni filteri) ispušta ogromna količina stakleničkih plinova i toksičnih tvari, također javlja se problematika nusproizvoda u obliku pepela. Pepeo se također mora pravilno zbrinuti, u protivnom može doći do dodatnog onečišćavanja okoliša. Ipak bilo koji oblik recikliranja materijala predstavlja značajno bolju opciju od spaljivanja ili odlaganja ostataka vjetroturbina na deponije, ova opcija čak je i zabranjena zakonom u Njemačkoj. [17]

Slika 2.4. *Zakopavanje lopatica vjetroturbina na odlagalištu otpada* [18]

2.3. Hidroenergija

Hidroenergija predstavlja značajan i siguran izvor energije na globalnoj razini, većinski dio energije dobivene iz obnovljivih izvora generira se upravo pomoću hidroelektrana. U njima se potencijalna energija vode pretvara u električnu energiju. Hidroelektrane možemo podijeliti prema veličini i prema tipu postrojenja. Prema veličini dijelimo ih na male (od 10 MW do 30 MW) i velike (više od 30 MW), s obzirom na njihovu instaliranu snagu, a prema tipu razlikujemo protočne i akumulacijske hidroelektrane. Protočne hidroelektrane koriste prirodni tok rijeke, koji se najčešće usmjerava kanalima ili cijevima ka turbini, za proizvodnju električne energije. One uobičajeno nemaju mogućnost skladištenja vode, no ako ta opcija postoji njezin kapacitet je malen. Ovakav tip hidroelektrane osigurava kontinuiranu opskrbu električnom energijom, dok su vremenski uvjeti povoljni. Akumulacijske hidroelektrane definirane su postojanjem akumulacijskog jezera i brane, koji služe za pohranu riječne vode. Voda se ispušta iz jezera kroz turbinu, pri čemu se aktivira generator za proizvodnju električne energije, ovisno o potrebama za električnom energijom, ali i zbog kontrole poplava. [7], [19]

2.3.1. Utjecaj gradnje hidroelektrane na njezinu okolinu

Električna energija koja proizlazi iz hidroelektrane smatra se čistom energijom, jer ovakva postrojenja u atmosferu tijekom svoga rada direktno ne ispuštaju stakleničke plinove. No, ipak postoje indirektni načini, kojima ovakvi tipovi elektrana negativno utječu na okolinu, odnosno okoliš i emisije koje pri tome nastaju nisu zanemarive. Tipični vijek trajanja hidroelektrane iznosi od 50 do 100 godina, u tom periodu nastaju neizravne emisije za vrijeme građenja postrojenja (brane) , truljenja organske tvari potopljene prilikom stvaranja akumulacijskog jezera i uklanjanja elektrane iz pogona (rušenja). Gradnja brane iziskuje velike količine betona i čelika, a njihovom proizvodnjom velike količine CO_2 ispuštene su u atmosferu. Akumulacijsko jezero, odnosno rezervoar stvara se poplavljivanjem odabranog područja, pri tome se sa te površine biljna masa ne uklanja. Takvim postupkom velika količina organske tvari ostaje trajno potopljena na dnu jezera, a njezinim raspadanjem stvaraju se dodatne emisije metana i CO_2, ove emisije štetnih plinova još su više izražene u tropskim te močvarnim područjima. [5] Hidroelektrana tijekom svojega rada u prosijeku proizvede 24g CO_2 po kWh proizvedene energije. [20] Gradnjom hidroelektrane rijeka se dijeli na dva ili čak tri dijela, ovisno o tipu, time se direktno utječe na tok rijeke te količinu dostupne vode na okolnom području. Dijeljenjem riječnog toka na uzvodni i nizvodni, stvara se neravnoteža u ekosustavu, nizvodno se smanjuje bioraznolikost, u pogledu ribljih, ali i okolnih biljnih vrsta. Uzvodno se ekosustav narušava potopom biljnih i životinjskih staništa. [21]

Slika 2.5. *Primjer podijele riječnog toka na uzvodni i nizvodni* [22]

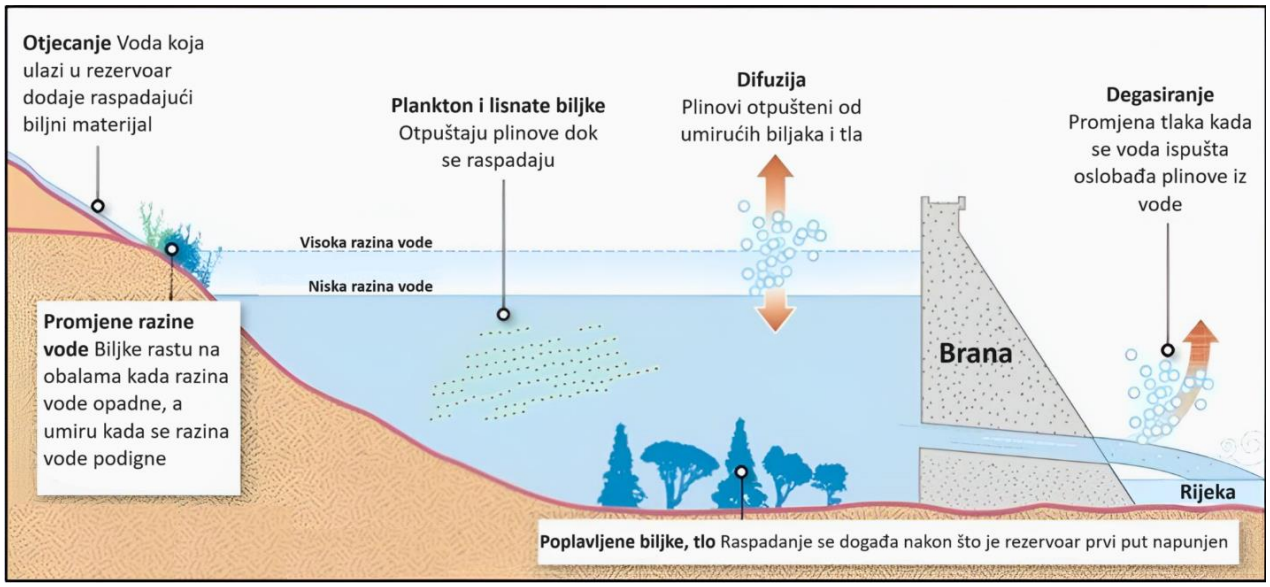
Ispuštanje vode iz rezervoara potiče eroziju tla u nizvodnom toku rijeke, a promjenom toka ujedno se mijenjaju i fizičke karakteristike korita, ali i izgled obale rijeke. Važno je naglasiti da protočne hidroelektrane neznatno utječu na tok rijeke i njezina obilježja, dok akumulacijske hidroelektrane značajno mijenjaju režim toka rijeke, osim toga takva postrojenja mogu utjecati i na temperaturu vode na kratkim nizvodnim dionicama rijeke. [23] Stvaranje akumulacijskog jezera zahtjeva veliku površinu određenih karakteristika, zbog toga često dolazi i do potapanja naseljenih ruralnih područja, arheoloških lokaliteta i poljoprivrednih zemljišta, stanovnici takvih područja primorani su napustiti svoje domove, a poljoprivredna zemljišta bivaju uništena. Negativni učinci nisu tada samo ekonomski, nego i društveni, jer takvi projekti uzrokuju visok stupanj društvene marginalizacije, raseljavanje zajednica najčešće se provodi prisilno, a upitna je i validnost kompenzacije koja im se nudi, za napuštanje vlastitih domova. [21]

2.3.2. Emisije metana

Količina metana koju hidroelektrana neizravno proizvede ovisi o tipu i veličini postrojenja te lokaciji na kojoj se ono nalazi, pretpostavlja se da postrojenje može proizvesti i do 88g CH_4 po kWh proizvedene energije. Kao i kod emisija CO_2 količina metana je veća u tropskim područjima, koja su bogata raznolikošću i količinskim opsegom biljnih vrsta. Hidroelektrane su jedini oblik OIE koji neizravno ispuštaju ovako velike emisije CH_4 u atmosferu, no te emisije su još uvijek manje usporedno sa količinom metana kojeg ispuštaju elektrane pogonjene na fosilna goriva. [20] Slika 2.5. prikazuje proces kojim dolazi do stvaranja i ispuštanja metana i ugljikova dioksida u atmosferu. Svi oblici slatkovodnih vodnih sustava (rijeke, močvare, prirodna i umjetna jezera) u okoliš ispuštaju određenu količinu stakleničkih plinova, ali oni također dio ugljika pohranjuju u svojim sedimentima. Staklenički plinovi nastaju trunjenjem organske tvari, u ovom slučaju se radi o potopljenim biljnim ostatcima, ali i živim organizmima poput planktona koji nastanjuju jezero. Slivne vode sa kopna (kiša, otpadne vode, voda korištena u poljoprivredi za navodnjavanje) konstantno obnavljaju količinu organske tvari u jezeru, što naknadno povećava ili održava stvaranje emisije štetnih plinova.

Postoje dva osnovna načina ispuštanja CO_2 i CH_4 u atmosferu, a oni su:

- Difuzija plinova na površini rezervoara u obliku mjehurića nastalih raspadanjem organske tvari; fermentacijom i/ili karbonizacijom
- Oslobađanje plinova sa dna akumulacijskog jezera (engl. *Degassing*) prilikom ispuštanja vode iz rezervoara [23]



Slika 2.6. *Proces nastajanja i ispuštanja stakleničkih plinova prilikom raspadanja organske tvari u akumulacijskom jezeru* [24]

2.3.3. Utjecaj na životinjski svijet

Svi tipovi hidroelektrana imaju negativan utjecaj na životinjski svijet, najviše su pogođene riblje vrste. Riblje vrste gradnjom ovakvih postrojenja gube mogućnost kretanja nizvodno, što im otežava mogućnost pronalaženja hrane, mriještenja te svakodnevnih migracija. Mogu se izdvojiti dvije vrste, a to su pastrve i jegulje, konstrukcija brane na njihovu populaciju djeluje pogubno. Za jegulje su vrlo važne godišnje migracije iz rijeka u more, zbog razmnožavanja, no hidroelektrana to otežava ili u potpunosti sprječava. Pastrva je osjetljiva na promjenu toka rijeke u kojoj obitava, gradnjom rezervoara on se značajno mijenja, posljedica toga je degradacija staništa i smanjivanje populacije ove riblje vrste. Zbog ovih problema sve češća je primjena malih kanala i stepenica, koji omogućuju ribama zaobilaženje prepreka poput brane, no ovo rješenje ipak nije najidealnije. Modifikacija staništa i toka otvara mogućnost pojave invazivnih vrsta, koje mogu još više naštetiti cijelom ekosustavu. [25] Osim na ribe hidroelektrana može negativno utjecati i na druge vrste, poput ptica i sisavaca sa obližnjeg prostora. Prilikom naglog ispuštanja vode iz akumulacijskog jezera može doći do utapanja životinja i uništavanja ptičjih gnijezda, a dugi period zadržavanja vode u rezervoaru može izazvati nedostatak hrane za sve vrste koje nastanjuju područje nizvodno od hidroelektrane. [23]

2.4. Geotermalna energija

Geotermalna energija predstavlja toplinsku energiju unutrašnjost zemlje, geotermalna energija po svojoj prirodi pripada neobnovljivim izvorima, no za ljudsko poimanje ona se ipak ubraja u OIE. Iskorištavanje geotermalne energije odvija se na geotermalnim ležištima. Geotermalnim ležištem smatra se toplinski spremnik unutar Zemlje, čija se toplinska energija može ekonomično iskorištavati pri proizvodnji električne energije. Geotermalna energija se može iskorištavati na nekoliko načina, a tri osnovna načina njezina iskorištavanja su:

- Izravno korištenje: grijanje prostora
- Proizvodnja električne energije: elektrane koje koriste geotermalnu energiju - toplinu
- Geotermalne toplinske crpke: koriste konstantnu temperaturu tla ili vode za grijanje prostora

Princip rada geotermalnih elektrana sličan je radu konvencionalnih termoelektrana, odnosno u procesu proizvodnje električne energije koristi se para. Para pokreće turbinu, koja pokreće generator koji proizvodi električnu energiju. Osnovni tipovi geotermalnih elektrana su: elektrane na suhu paru, elektrane sa separiranjem pare te elektrane s binarnim ciklusom. [7]

2.4.1. Utjecaj geotermalne elektrane na okolinu

Geotermalne elektrane relativno su čist izvor energije, one izravno tijekom svojega rada ne proizvode emisije stakleničkih plinova, ali zbog svojeg specifičnog načina crpljenja toplinske energije iz geotermalnih izvora, prilikom izgradnje postrojenja, stvaranja bušotina i stavljanjem elektrane u pogon, dolazi do oslobađanja poprilično velike količine ugljikova dioksida u atmosferu. Količina ispuštenog CO_2 ovisi o karakteristikama geotermalnog izvora (spremnika, ležišta), faktori koji mogu utjecat na količinu CO_2 u spremniku su: vrsta stijena kojima je ležište okruženo, sam sastav geotermalnog fluida koji se nalazi u spremniku te dubina na kojoj se spremnik nalazi, ona za sobom povlači potencijalne emisije CO_2 iz magmatskih tijela koja su izvor topline za brojne vulkanske geotermalne sustave. Zbog toga emisije ugljikova dioksida mogu značajno varirati između geotermalnih elektrana na različitim lokalitetima. [26] Pretpostavlja se da geotermalna elektrana proizvede između 6g i 79g CO_2 po kWh proizvedene energije, iako ta količina na pojedinim lokacijama može biti značajno veća. No, ipak geotermalna elektrana za svog radnog vijeka od 20 do 30 godina proizvede značajno manje količine štetnih plinova usporedno sa konvencionalnim termoelektranama. [20], [27] Iscrpljivanje velikih količina geotermalne tekućine (fluida) može dovesti do smanjenja razine podzemnih voda, koje zbog pada tlaka u geotermalnom spremniku prodiru u njegov gornji sloj, ovime se može narušiti dostupnost vode područja na kojem

je geotermalna elektrana izgrađena, ali također se negativno utječe i na kvalitetu vode. Postupak ekstrakcije i injekcije geotermalnog fluida može narušiti i osjetljivu ravnotežu između slojeva zemlje, pri čemu se mogu pojaviti deformacije tla u obliku slijeganja i horizontalnog pomicanja tla. Ove pojave mogu uzrokovati štetu na obližnjim građevinama, ali i na geotermalnom postrojenju (cjevovodima i bušotinama). Geotermalne elektrana u većini slučajeva pri proizvodnji električne energije koristi vodenu paru visokih temperatura, ona predstavlja nusproizvod pogonskog procesa te se ispušta u atmosferu, pri tome se zbog visokih temperatura oko postrojenja može stvoriti mikroklima. Takva mikroklima može imati negativne posljedice na vegetaciju koja okružuju elektranu, ali može uzrokovati i veću količinu padalina na danom lokalitetu te češću pojavu magle. [28]

Slika 2.7. *Geotermalna elektrana ispušta značajnu količinu vodne pare* [29]

2.4.2. Opasni otpad

Geotermalne elektrane tijekom svojega rada uobičajeno proizvode otpad u tekućem i/ili čvrstom obliku. U ovaj otpad ubrajaju se: ostaci materijala nastali bušenjem bunara (mulj), naslage u rashladnim tornjevima, kemijski sedimenti zaostali u cijevima te geotermalna tekućina. Količina otpada i njegov sastav varira ovisno o lokaciji na kojoj se postrojenje nalazi. Geotermalna tekućina može sadržavati brojne spojeve i elemente poput silicija, klorida, arsena, žive, nikla te drugih

teških metala. Živa nije prisutna u svakom geotermalnom polju, no ako jest tada prilikom proizvodnje električne energije u postrojenju može doći do njezinih emisija u okoliš, što može negativno utjecati na cijeli ekosustav, ali i ljudsko zdravlje. Ispirači su uređaji koji se koriste pri radu geotermalnih elektrana, oni smanjuju emisije štetnih tvari u zrak te svojim djelovanjem uklanjaju nečistoće iz geotermalne pare ili fluida. Međutim, ovim procesom proizvode toksičan mulj, koji zahtjeva pravilno odlaganje kako ne bi došlo do štetnog utjecaja na okoliš. [28]

2.4.3. Utjecaj na kvalitetu zraka

Utjecaj geotermalne elektrane na kvalitetu zraka ovisi o brojnim čimbenicima, neki od njih su: kemijski sastav geotermalne pare i njezina temperatura, meteorološki uvjeti, vrsta geotermalnog postrojenja, broj geotermalnih ležišta na odabranoj lokaciji i njihova međusobna udaljenost. Geotermalne elektrane u atmosferu mogu emitirat spojeve poput sumporovodika (H_2S), amonijaka (NH_3), metalnih sulfida te paru bora. [30] Sumporovodik je otrovan plin, karakterističnog neugodnog mirisa koji se može osjetiti u zraku i pri vrlo niskim razinama. Pri niskim koncentracijama izaziva iritaciju očiju i sluznica te može izazvati glavobolju, vrtoglavicu i mučninu. [31] Amonijak izaziva iste simptome poput sumporovodika, dok para bora osim izazivanja iritacija kože i sluznica ima i negativan utjecaj na metaboličku funkciju biljaka, već i pri niskoj koncentraciji. Prilikom pojave pare bora u okolišu, kod biljaka dolazi do smanjenja prinosa zbog odumiranja biljnih tkiva i sprječavanja odvijanja procesa fotosinteze. Ipak, bor se emitira u jako malim količinama, pa ne predstavlja opasnost za ljudsko zdravlje. [28]

2.4.4. Inducirani potresi uzrokovani radom geotermalnih elektrana

Neprestano ponavljanje procesa ekstrakcije te injektiranja vode iz, odnosnu u zemljinu koru (geotermalno ležište) može uzrokovati promjene u veličini naprezanja temeljnih slojeva Zemlje, stvarajući ili proširujući time pukotine u stijenama zemljine kore. Pojava pukotina u zemljinoj kori može izazvati seriju malih do umjerenih potresa tijekom duljeg vremenskog razdoblja. S obzirom da se brojna geotermalna postrojenja nalaze u blizini naseljenih područja, vibracije (podrhtavanja) nastale redovnim radom geotermalne elektrane mogu uzrokovati neugodnosti za stanovnike tog područja te također mogu uzrokovati štetu na strukturnim i nestrukturnim komponentama okolnih zgrada. [32] Geotermalno postrojenje Geysers nalazi se u tektonski aktivnom području Sjeverne Kalifornije, glavne seizmičke opasnosti u regiji dolaze od velikih potresa koji se javljaju duž regionalnih rasjeda koji su udaljeni nekoliko kilometara od geotermalnog polja. Usprkos tome, aktivnosti povezane s vađenjem pare za proizvodnju električne energije induciraju male potrese u geotermalnom polju. Ovakva podrhtavanja često osjećaju radnici postrojenja, ali i stanovnici iz

okolnog područja. Seizmička aktivnost ovog postrojenja bilježi se od 1975. godine, ovi visokokvalitetni seizmički podaci potvrđuju da povećana proizvodnja pare te injektiranje fluida pozitivno korelira s promjenama u seizmičkoj aktivnosti. [33]

Slika 2.8. *Geotermalno postrojenje Geysers, SAD* [34]

Preko 99% potresa na geotermalnom polju Geysers magnitude je 3,0 ili manje, odnosno aktivnim bilježenjem seizmičkih podataka u proteklih četrdeset godina utvrđen je interval magnituda potresa za ovo polje te je on obuhvaćao vrijednosti od 1,40 ± 0,03 do maksimalno 3,99. Pri čemu je dokazano da potresi manjih magnituda nastaju pri redovnom radu geotermalnih postrojenja na polju. [32]

2.5. Biomasa

Biomasa predstavlja biorazgradivi dio poljoprivrednih i industrijskih ostataka te otpada, prednost biomase kao izvora električne energije je njezino obilje. Biomasa se također može proizvoditi ciljano, zasađivanjem poljoprivrednih kultura u svrhu proizvodnje energije. Biomasa se smatra OIE pod uvjetom da se koristi na održivi način, odnosno da je godišnja potrošnja biomase jednaka ili manja od godišnjeg prirasta nove biomase. Energija dobivena iz biomase dolazi u tri osnovna oblika: čvrstom, tekućem (biodizel ili etanol) i plinovitom (bioplin).

Biomase se općenito prema vrsti može podijeliti na:

- Drvnu masu
- Nedrvnu masu (gradski otpad, energetski nasadi, poljoprivredna biomasa)

- Životinjski otpad

Električna energija iz biomase proizvodi se putem istovremenog spaljivanja biomase i ugljena ili kogeneracijom. Kogeneracija omogućuje istovremenu proizvodnju topline i električne energije, uz značajno veću učinkovitost od konvencionalnih elektrana. [7]

2.5.1. Utjecaj biomase na okoliš u proizvodnji električne energije

Kada se biomasa spaljuje direktno prilikom proizvodnje električne energije ili ako prilikom istog procesa koristimo njezine derivate poput bioplina ili etanola u atmosferu se ispušta samo ona količina ugljika u obliku CO_2 koju je ta masa prethodno zarobila tijekom svog rasta, odnosno pri djelovanju procesa fotosinteze. Zbog toga biomasu smatramo ugljično neutralnim izvorom energije, za razliku od fosilnih goriva. Spaljivanjem fosilnih goriva, u okoliš ispuštaju se ogromne količine CO_2 u krakom razdoblju, ta količina CO_2 se ne može zarobiti dovoljnom brzinom sa procesom fotosinteze i rezultat toga je ubrzan proces globalnog zagrijavanja. [35] Međutim, prilikom procesa proizvodnje električne energije iz biomase, osim ispuštanja ugljikova dioksida, dolazi i do emisija drugih štetnih plinova (SO_2, CO, NO_X, CH_4) koji također negativno utječu na okoliš, a njihova koncentracija ovisi o vrsti korištene sirovine. [5] Pretpostavlja se da elektrana koja za proizvodnju električne energije spaljuje samo biomasu, uzevši u obzir emisije tijekom njezina cijelog radnog vijeka, prosječno proizvede oko 230g CO_2 po kWh proizvedene energije. Biomasa može se koristiti i kao nadopuna pri proizvodnji električne energije iz fosilnih goriva (najčešće ugljena), njezina uloga tada je smanjivanje emisija stakleničkih plinova samoga procesa, ali te emisije su ipak značajno veće. Pretpostavlja se da količina emisija kod procesa suizgaranja biomase i ugljena, prosječno iznosi oko 740g CO_2 po kWh proizvedene energije. [20] Stoga, može se zaključiti da biomasa predstavlja najvećeg zagađivača među OIE. Biomasa također predstavlja problem za kvalitetu zraka područja na kojemu se obrađuje, zbog svojeg organskog sastava i procesa raspadanja biomasa ispušta neugodan miris uzrokovan brojnim plinovima ali i hlapivim organskim česticama, no ovaj se problem lako rješava korištenjem filtracijskih sustava. [5]

Biomasa kao izvor energije zahtjeva poprilično veliku količinu zemljišta, ono se koristi za uzgoj kalorijsko bogatih poljoprivrednih kultura, njihovo skladištenje te preradu u električnu energiju ili biogorivo. Slika 2.7. prikazuje količinu prostora koju zauzima postrojenje za proizvodnju bioplina, dok se oko njega nalazi poljoprivredno zemljište sa budućom biomasom.

Slika 2.9. *Pogon za proizvodnju bioplina* [36]

2.5.2. Utjecaj na tlo, vodu i bioraznolikost

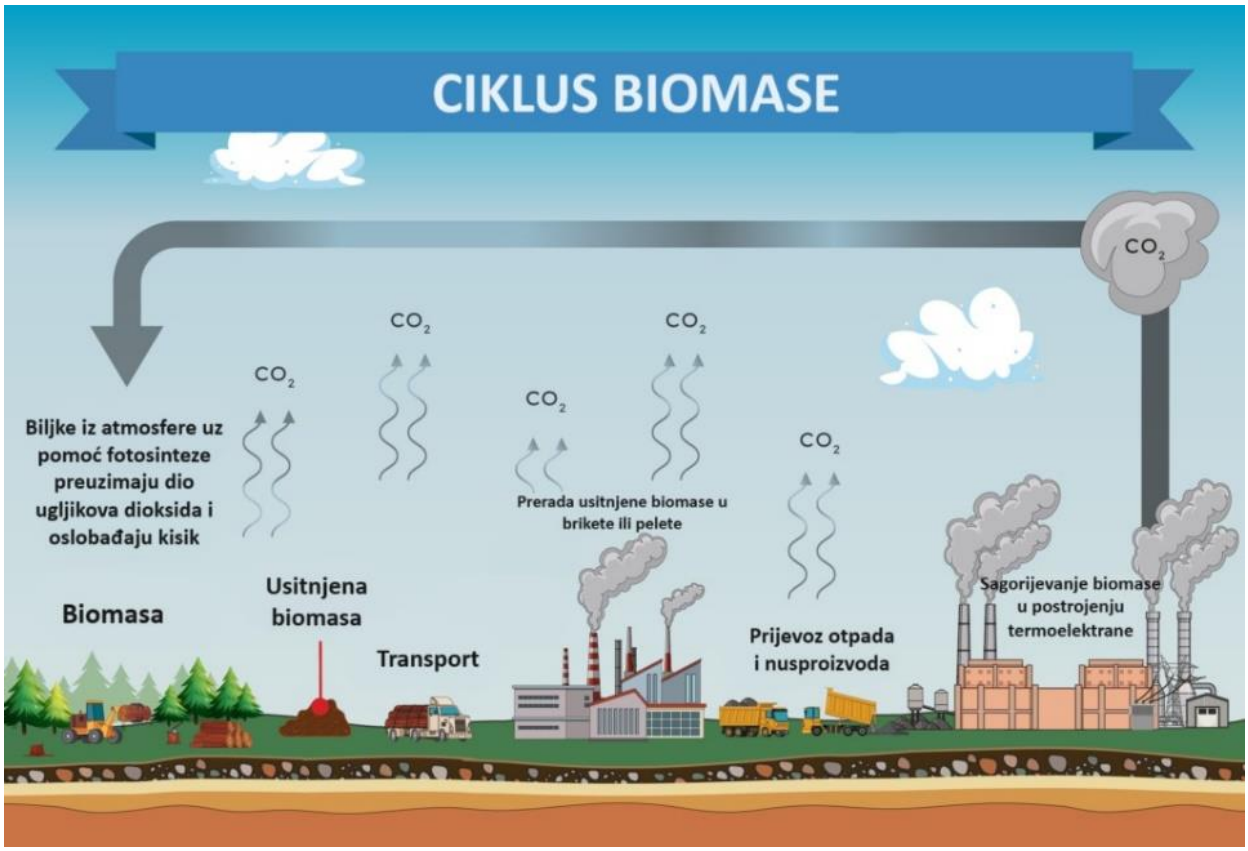
Erozija tla predstavlja ozbiljan problem, koji je zbog uzgoja monokultura poput kukuruza i soje sve češći. Erozija smanjuje kvalitetu tla, a time se smanjuje i produktivnost prirodnih i poljoprivrednih ekosustava. Erozija tla izaziva se i uklanjanjem usjeva, ali i prenamjenom nepoljoprivrednih zemljišta u poljoprivredna, najčešće u obliku deforestacije. [37] Uzgoj poljoprivrednih kultura isključivo za biomasu može dovesti i do pada hranjivosti, odnosno plodnosti tla. Uklanjanje biomase sa obradive površine pojačava isparavanje vode i onemogućava njezino zadržavanje u tlu. Hortikultura je aktivnost koja zahtjeva značajne količine vode, ona također doprinosi njezinu onečišćenju korištenjem velikih količina insekticida i herbicida te gnojiva koja su neizbježno potrebna za održavanje svake intenzivne poljoprivredne kulture. Korištenje pesticida dodatno narušava i kvalitetu tla, ali ujedno predstavlja opasnost za okoliš i ljudsko zdravlje. Monokulture također narušavaju bioraznolikost ekosustava i time potiskuju autohtone vrste biljaka i životinja. Na bioraznolikost utječe se i deforestacijom te preinakom

nepoljoprivrednih zemljišta u poljoprivredna, pri tome se uništavaju staništa životinjskih vrsta i smanjuje njihova populacija. [35]

Slika 2.10. *Primjer deforestacije zbog prikupljanja drvne mase* [38]

2.5.3. Kumulativna CO_2 neutralnosti biomase i problem njezine održivosti

Kumulativna CO_2 neutralnost za biomasu ispunjena je samo ako je godišnje iskorištavanje mase jednako ili manje od godišnjeg prirasta nove mase. U tom slučaju, emisija CO_2 prilikom korištenja biomase biti će jednaka količini CO_2 apsorbiranom tijekom fotosinteze te biomase. Ciklus biomase prikazan je na slici 2.11., iako se prilikom korištenja pojma kumulativne neutralnosti obuhvaća ukupni lanac (od generiranja energije, izrade i montaže pogonjenog uređaja do korištenja i zbrinjavanja istog), ipak se misli samo na neutralnost prilikom pretvorbe biomase u iskoristiviji oblik i tada je kumulativna neutralnost ispunjena. U ciklus biomase ubrajaju se emisije ugljikova dioksida nastale prilikom prikupljanja biomase, njezina usitnjavanja i transporta, prilikom njezine prerade u povoljni oblik za korištenje pri proizvodnji električne energije (briketiranje, peletiranje) te emisije nastale u procesu njezina spaljivanja u termoelektranama. [39]



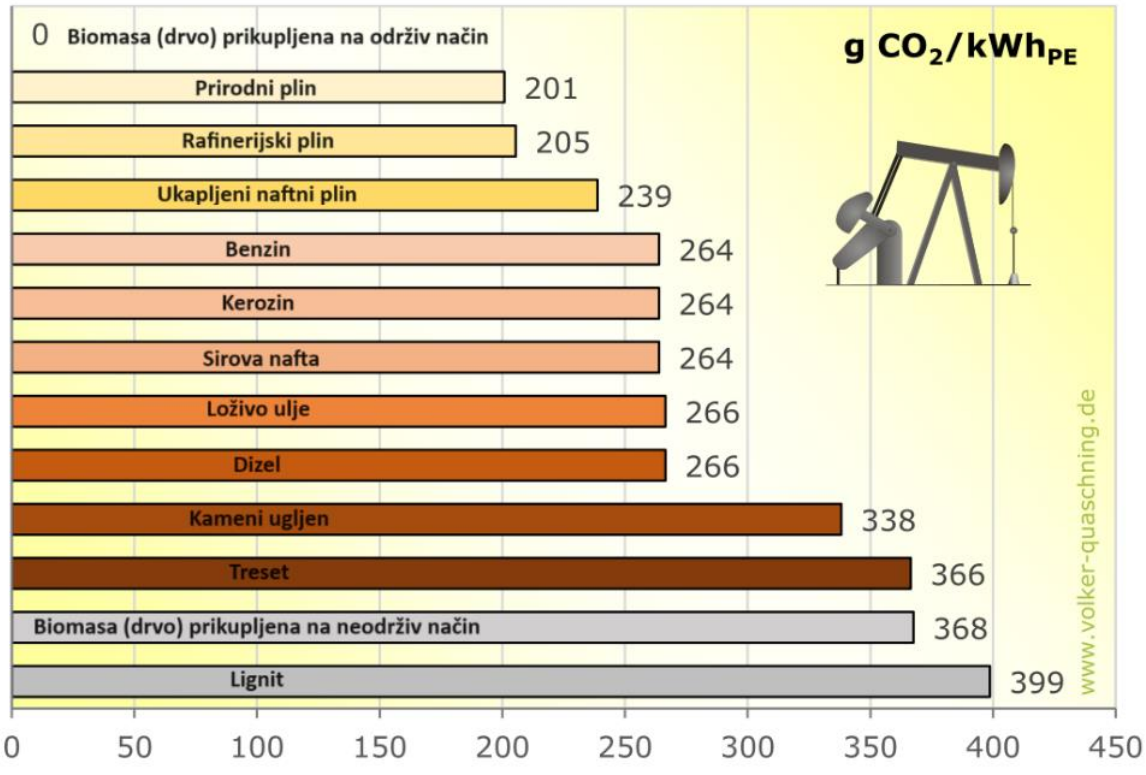
Slika 2.11. *Ciklus biomase* [40]

Problem održivosti proizvodnje električne energije iz biomase javlja se kada se ta ista biomasa ne prikuplja na ispravan, odnosno održiv način. Zbog prekomjernog iskorištavanja biomase i njezina neobnavljanja u tom procesu, ne postiže se kumulativna neutralnost procesa te se u atmosferu oslobađa veća količina CO_2 od one koju biljke mogu apsorbirati. Tada se javlja i problematika slabe ogrjevne moći biomase, uzrokovane velikim udjelom vlage i pepela u samoj biomasi (drvo, biljni ostaci), usporedno sa neobnovljivim izvorima energije (nafta, ugljen, prirodni plin). U tablici 2.1. prikazana je usporedba ogrjevne moći pojedinih goriva, iz nje možemo vidjeti da većina goriva proizvedenih iz biomase imaju manju ogrjevnu moć usporedno sa ostalim neobnovljivim izvorima, iznimka je biodizel koji ima značajno veću ogrjevnu moć od same biomase, etanola i bioplina te parira ugljenu i prirodnom plinu.

Usporedba ogrjevne moći pojedinih goriva	
Gorivo	**Ogrjevna moć**
Drvo	8,2 – 18,7 MJ/kg
Biljni ostaci	5,8 – 16,7 MJ/kg
Biodizel	37,2 MJ/l
Etanol	26,8 MJ/l
Bioplin	26 MJ/Nm^3
Nafta	42 MJ/l
Prirodni plin	34 – 38 MJ/Nm^3
Kameni ugljen	24 – 37,7 MJ/kg

Tablica 2.1. *Usporedba ogrjevne moći pojedinih goriva* [39]

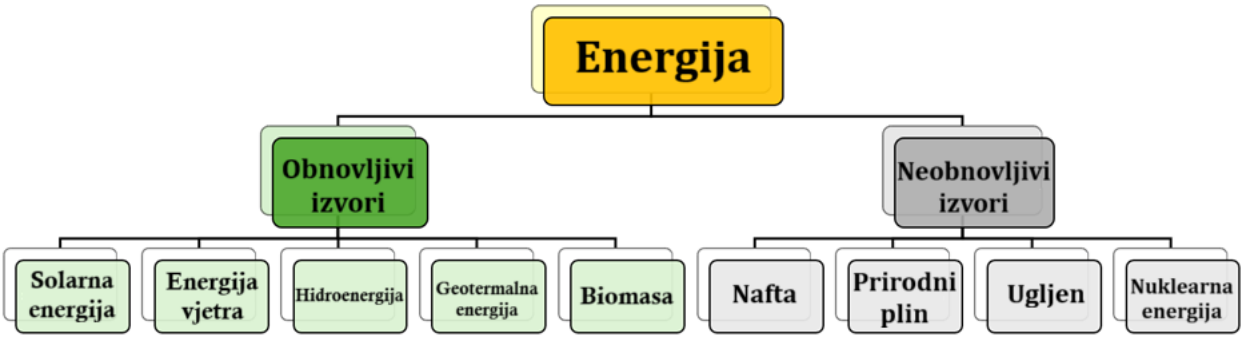
Zbog toga biomasa prikupljena na neodrživ način može biti veći zagađivač okoliša od većine neobnovljivih izvora energije, a ovu tvrdnju potvrđuje i iznos emisija CO_2 oslobođenih korištenjem neodrživo prikupljene biomase u proizvodnji električne energije (slika 2.12.). Kako bi dobili istu količinu energije, zbog slabe ogrjevne moći biomase, potrebno je koristiti značajno veću količinu iste, pri čemu se emisije CO_2 i ostalih štetnih plinova povećavaju, ali se povećava i otpad u obliku pepela, a to negativno utječe na okoliš. Neodrživo prikupljena biomasa nalazi se pri samom vrhu u količini proizvedenog ugljikova dioksida po kilovat-satu proizvedene energije (368g CO_2/kWh), od nje jedino je lignit veći zagađivač okoliša (399g CO_2/kWh).



Slika 2.12. Specifične emisije CO_2 za razna goriva [41]

3. USPOREDBA TEHNOLOGIJA OIE S KONVENCIONALNIM METODAMA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Svijet danas raspolaže raznovrsnim energetskim resursima koji se mogu jednostavno koristiti za proizvodnju električne energije. Energetske resurse najjednostavnije dijelimo na obnovljive i neobnovljive (konvencionalne, tradicionalne), detaljna podjela prikazana je na slici 3.1.



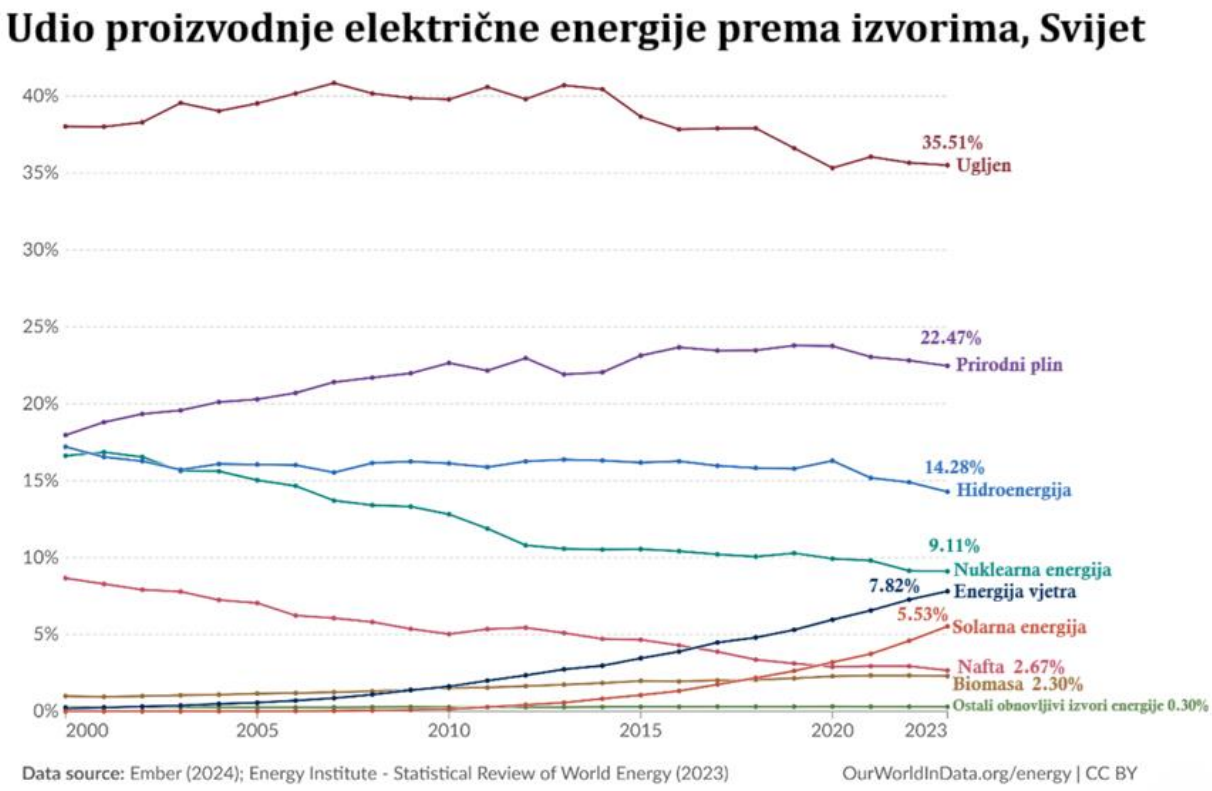
Slika 3.1. *Podjela izvora energije prema vrsti*

Neobnovljivi izvori energije predstavljaju izvore čija se ekonomska vrijednost ne može nadomjestiti drugim prirodnim sredstvima na istoj razini potrošnje, odnosno jednom iskorišteni izvori ne mogu se ponovno iskoristiti. Formiranje ovakvih izvora energije traje milijardama godina, a njihova uporaba nije održiva te šteti okolišu. Zbog toga, obnovljivi izvori sve se više koriste, odnosno oni postupno zamjenjuju konvencionalne izvore energije na globalnoj razini. [42]

3.1. Korištenje energetskih resursa na globalnoj razini

Globalni zahtjevi za energijom svake se godine povećavaju, tako je svjetska potražnja za električnom energijom u 2023. godini narasla za 2,2 posto, a također se očekuje da će se potražnja rasti bržim tempom u naredne tri godine. Ovakav rast bit će potaknut gospodarskim oporavkom razvijenih zemalja, kao i daljnjim razvojem gospodarstava zemalja u razvoju poput Kine. Rekordna proizvodnja električne energije iz izvora s niskim emisijama koji uključuju nuklearnu energiju i OIE trebala bi pokriti sav rast globale potražnje u naredne tri godine. Predviđa se da će u periodu između 2023. i 2026. godine, proizvodnja električne energije iz OIE porasti sa 30 posto na 37 posto, pri čemu će takav rast uglavnom podržati širenje sve jeftinijih solarnih fotonaponskih sustava. Takvim tempom rasta OIE trebali bi osigurati više od jedne trećine ukupne globalne proizvodnje električne energije do početka 2025. godine, time prestižući ugljen. Povećanje proizvodnje energije iz izvora s niskim emisijama smanjuje pritisak na okoliš i dovodi do smanjenja emisija štetnih plinova, posebice emisija CO_2. [43]

Trenutna globalna raspodjela proizvodnje električne energije prema izvoru prikazana je grafom na slici 3.2..



Slika 3.2. *Podjela proizvedene električne energije prema izvoru (Svijet)* [44]

Iz grafa se može uočiti da količina električne energije iz neobnovljivih izvora postupno opada, dok postotak energije dobiven iz OIE raste, iznimka je hidroenergija, koja opada zbog sve češćih sušnih razdoblja , uzrokovanih promjenom klimatskih uvjeta diljem svijeta.

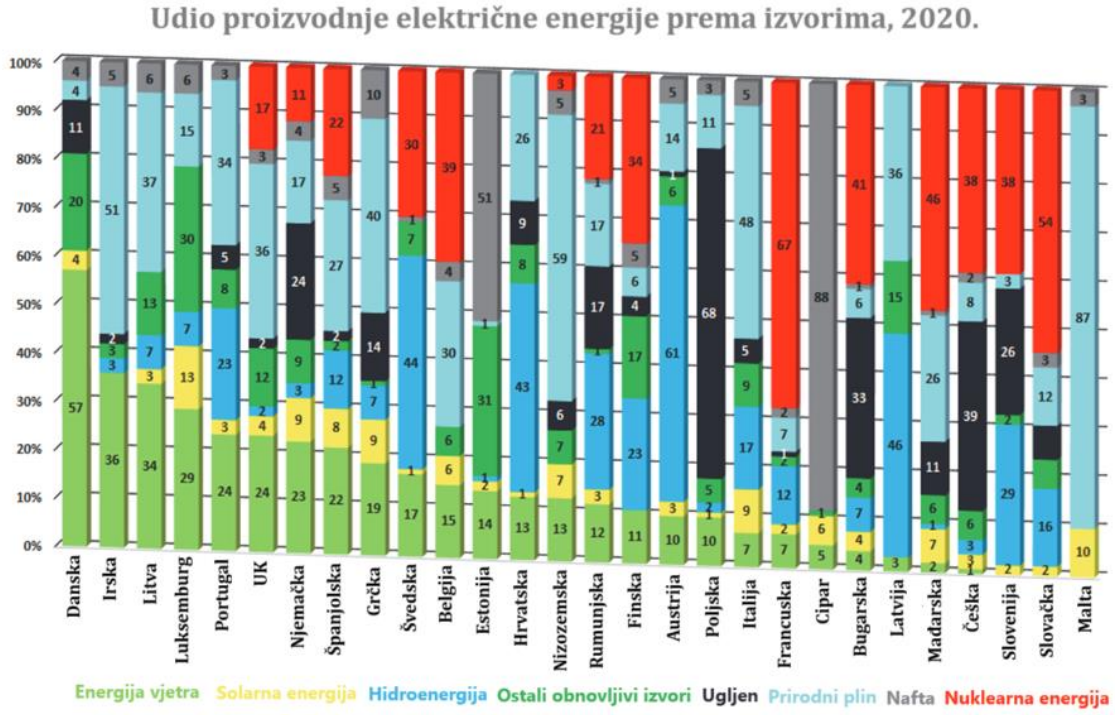
3.1.1. Europska unija

Europska unija ulaže velike napore u energetskoj tranziciji sa konvencionalnih izvora energije na obnovljive, u ožujku 2007. godine čelnici država članica Europske unije odobrili su skup ciljeva poznat i kao „20-20-20 do 2020.“. Ovaj skup objedinjavao je tri cilja na razini cijele EU:

- Smanjenje emisija stakleničkih plinova za najmanje 20 posto u usporedbi s razinama iz 1990. godine
- Udio od 20 posto OIE u konačnoj potrošnji energije
- Povećanje energetske efikasnosti za 20 posto [45]

Predviđeni ciljevi su postignuti. Emisije stakleničkih plinova zemalja u Europskoj uniji 2020. godine bile su za 31 posto niže usporedno sa razinama iz 1990. godine. Na razini cijele unije

postignut je i udio od 21,3 posto OIE u konačnoj potrošnji energije. Međutim, samo je 21 zemlja članica od 27 ispunila svoj nacionalni cilj. Odnosno, Bugarska, Cipar, Finska, Njemačka, Irska i Malta morale su koristiti fleksibilnosti, poput kupnje emisijskih kvota od drugih zemalja Europske unije, kako bi ispunile svoje zakonske obveze. [46] Slika 3.3. prikazuje podjelu proizvedene električne energije prema izvoru svake od članica Europske unije u 2020. godini. Iz grafa možemo izdvojiti Dansku, Švedsku i Austriju kao zemlje članice koje su proizvele najviše električne energije iz OIE, dok su Poljska, Cipar i Malta većinski dio električne energije proizvele koristeći fosilna goriva. Francuska i Slovačka su predvodnici u korištenju nuklearne energije, obje zemlje u 2020. godini proizvele su više od 50 posto električne energije pomoću nuklearnih elektrana.



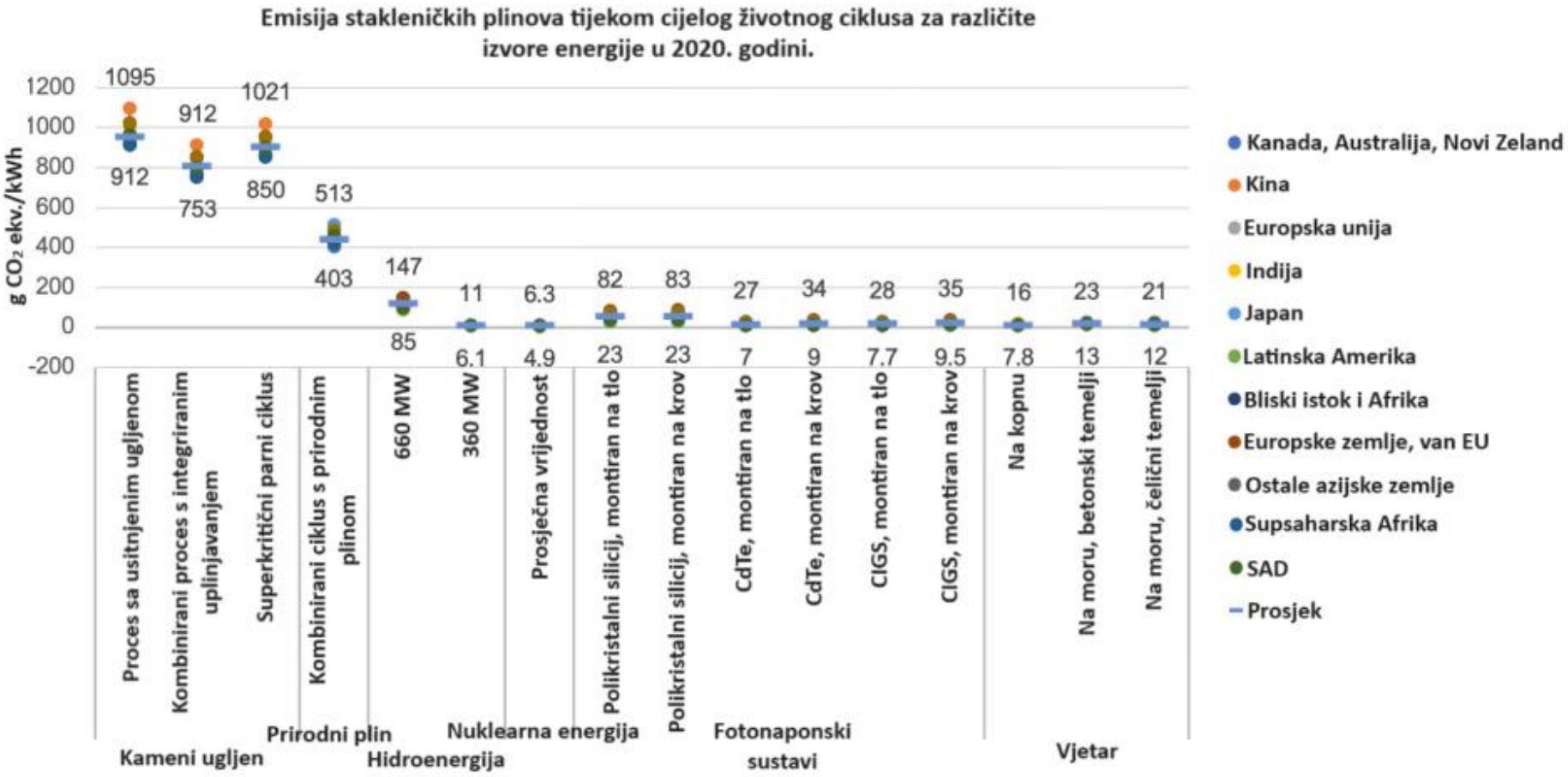
Slika 3.3. *Podjela proizvedene električne energije prema izvoru (EU + UK, 2020.)* [47]

U 2023. godini više od četvrtine električne energije u EU potjecalo je iz vjetra i solarne energije (27%), po prvi puta u povijesti Europske unije udio energije iz obnovljivih izvora prešao je prag od 40 posto, dosegnuvši ukupno 44 posto proizvodnje električne energije. Također, emisije stakleničkih plinova nastale pri proizvodnji električne energije su se u usporedbi sa rekordnom 2007. godinom smanjile za 46 posto. [48]

3.2. Emisije stakleničkih plinova

Obnovljivi izvori tijekom rada ne ispuštaju direktne emisije štetnih plinova, iznimka je energija dobivena iz biomase. Emisije OIE su indirektne, isto se ne može reći i za emisije stakleničkih

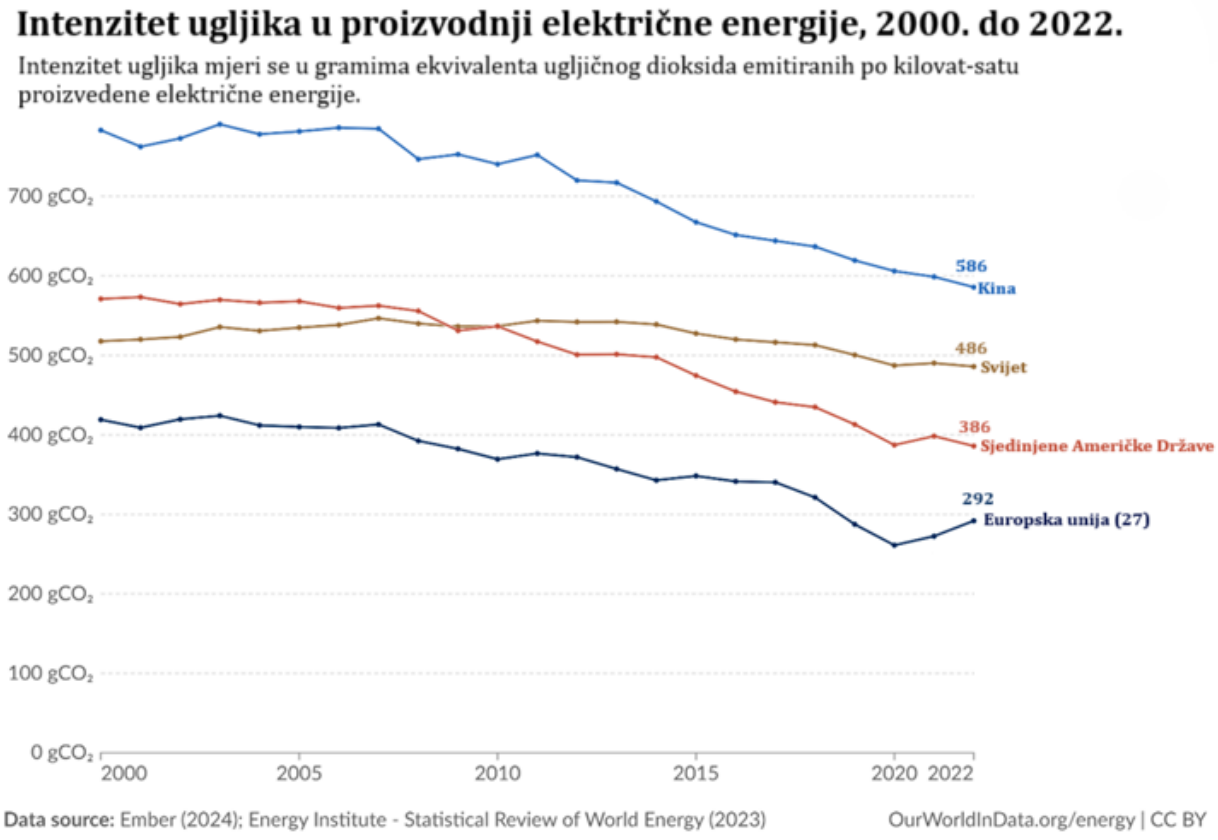
plinova nastale proizvodnjom električne energije iz fosilnih goriva. Spaljivanjem ugljena, prirodnog plina ili nafte nastaju direktne emisije CO_2 koje negativno utječu na okoliš i ubrzavaju proces globalnog zagrijavanja Zemlje. Slika 3.4. prikazuje usporedbu emisija stakleničkih plinova nastalih tijekom cijelog životnog ciklusa postrojenja za proizvodnju električne energije različitih (obnovljivih i neobnovljivih) tehnologija. Možemo vidjeti da je predvodnik u emisijama CO_2 kameni ugljen, svi njegovi procesi dobivanja električne energije u atmosferu ispuštaju podjednake količine ugljikova dioksida. Ovi procesi u atmosferu emitiraju između 753 i 1095 grama CO_2 ekvivalenta po proizvedenom kilovat-satu. Emisije prirodnog plina upola su manje, no one su također visoke i predstavljaju problem za okoliš. Emisije nastale korištenjem nuklearne energije, najmanje su, s obzirom na ostale obnovljive i neobnovljive izvore energije, prosječna vrijednost emisija stakleničkih plinova nastalih pri radu nuklearne elektrane iznosi 5,6 g CO_2 ekv./kWh. Najveće emisije CO_2 kod OIE imaju velike hidroelektrane (660MW), uzrok tomu je velika količina stakleničkih plinova nastala tijekom raspadanja biljnih ostataka na dnu korita rijeka, ali i emisije nastale građenjem masivnih brana, koje ovakva postrojenja zahtijevaju. Emisije velikih hidroelektrana (660MW) kreću se između 85 i 147 g CO_2 ekv./kWh. Dok su emisije hidroelektrana manje snage (360MW) značajno manje. Ipak, ove razine ugljikova dioksida su neusporedivo manje od razina koje proizvedu konvencionalne termoelektrane na ugljen i plin. Emisije CO_2 fotonaponskih sustava variraju, ovisno o korištenoj tehnologiji solarnih ćelija, ali i načinu montiranja panela. Veće emisije stakleničkih plinova proizvode fotonaponski sustavi na bazi polikristalnog silicija (23 – 83 g CO_2 ekv./kWh.), dok najmanje emisije imaju CdTe sustavi (7 – 34 g CO_2 ekv./kWh.). Bitno je naglasiti da sustavi montirani na tlo za svojeg životnog ciklusa emitiraju veću količinu emisija CO_2 od sustava montiranih na krov, doduše razlika u količini emisija nije velika (1 – 7 g CO_2 ekv./kWh., ovino o tehnologiji), no ona ipak postoji. Razlika u emisijama javlja se zbog toga što sustavi montirani na tlo zahtijevaju građenje dodatne konstrukcije, pa se pri tome oslobađaju dodatne količine CO_2. Vjetroelektrane predstavljaju najčišći izvor električne energije, razina emisija koje nastaju njihovim radom najmanje su u usporedbi sa svim ostalim izvorima (obnovljivim i neobnovljivim) električne energije, ne računajući nuklearnu energiju. Za svojeg cijelog životnog ciklusa vjetroelektrane proizvedu između 7,8 i 23 g CO_2 ekv./kWh (ovisno o tipu). Emisije vjetroelektrana na kopnu manje su od onih na pučini, odnosno na moru, razlog tomu je jednostavniji transport i potreba za manjom količinom materijala poput čelika i betona pri konstrukciji.



Slika 3.6. *Emisija stakleničkih plinova tijekom cijelog životnog ciklusa za različite izvore energije u 2020. godini*

3.2.1. Emisije CO_2 nastale pri proizvodnji električne energije na globalnoj razini

Emisije stakleničkih plinova nastalih prilikom proizvodnje električne energije u padu su diljem svijeta, to je vidljivo i na slici 3.5.. Prosječna količina CO_2 po kWh proizvedene energije na svjetskoj razini 2022. godine iznosila je 486g, veće emisije CO_2 proizvodile su zemlje u razvoju poput Kine, dok su emisije SAD-a i zemalja članica EU u prosijeku bile značajno manje. Iz grafa je vidljiv oštar pad emisija u 2020. godini, uzrokovan pandemijom, nakon njezina završetka razina emisija se ponovo povećala u SAD-u i EU zbog ekonomskog i industrijskog oporavka. Trend rasta emisija Europske unije je strmiji u usporedbi sa svjetskim razinama, potencijali razlog toga je njemačko napuštanje nuklearne energije i povećanje proizvodnje električne energije iz ugljena, ali i sam industrijski oporavak, koji zahtjeva povećanje proizvodnje energije koji se najčešće postiže povećanjem upotrebe fosilnih goriva. [49], [50]



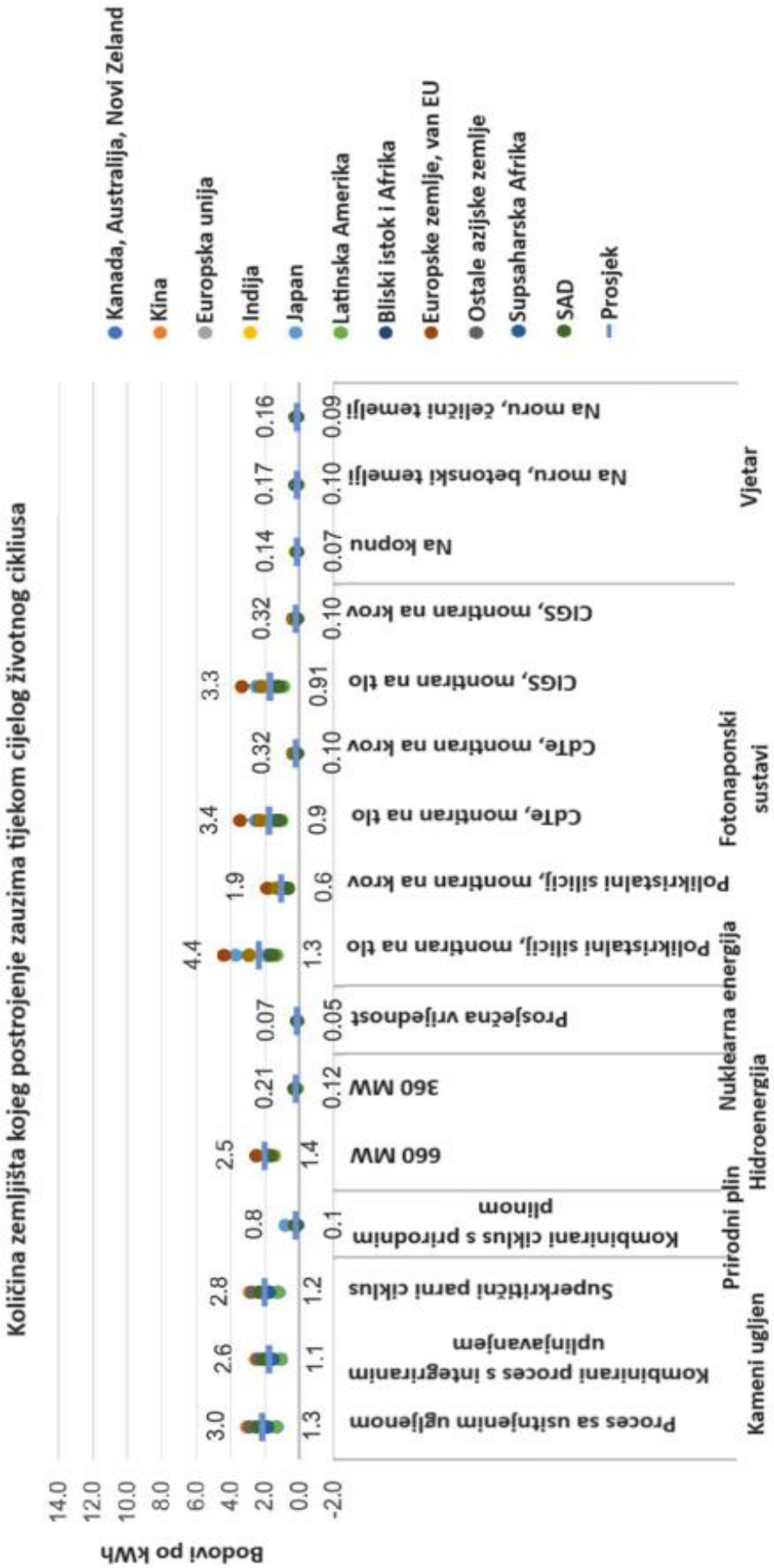
Slika 3.5. *Trend kretanja emisija CO_2 na globalnoj razini* [51]

3.3. Usporedba utjecaja obnovljivih i neobnovljivih izvora električne energije na ostale aspekte okoliša i društva

Obnovljivi i neobnovljivi izvori električne energije različito utječu na brojne aspekte društva i okoliša. U većini slučaja, odnosno usporedbi OIE imaju manji utjecaj na okolinu od neobnovljivih izvora, no ipak postoje statistički podaci pri kojima je negativan utjecaj OIE veći od neobnovljivih izvora, ipak takvi slučajevi su rijetkost.

3.3.1. Zauzimanje zemljišta

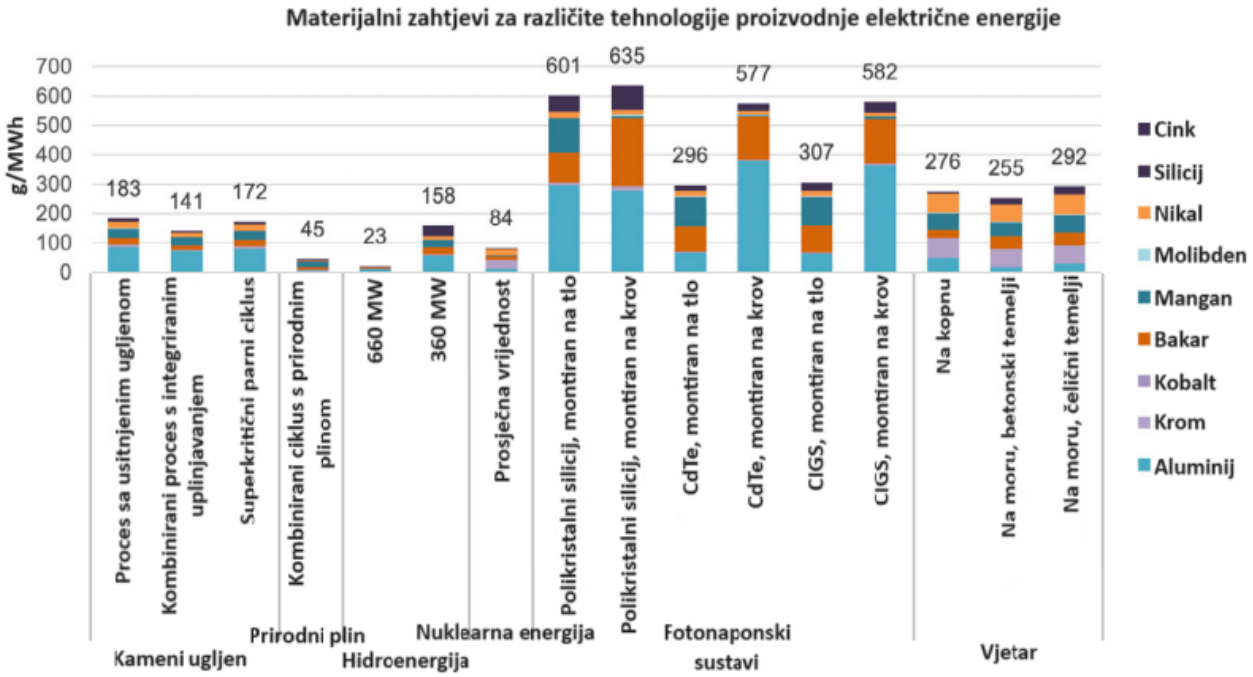
Svi oblici pogona za proizvodnju električne energije, zahtijevaju određenu količinu zemljišta za pravilan i efikasan rad. Slika 3.6. prikazuje grafikon pomoću kojeg je uspoređena količina zemljišta kojeg zauzimaju postrojenja za proizvodnju električne energije različitih tehnologija tijekom svojega cijeloga životnog vijeka. Iz ovog grafikona vidljivo je da postrojenja solarnih elektrana zauzimaju najveću količinu zemljišta, usporedno sa svim ostalim tehnologijama za proizvodnju električne energije, uzrok toga je relativno mala efikasnost solarnih modula, stoga kako bi se ostvarila zadovoljavajuća proizvodna snaga postrojenja potrebno je instalirati veliki broj solarnih panela. Novije tehnologije fotonaponskih sustava (CdTe i CIGS) zauzimaju manju površinu usporedno sa sustavima na bazi polikristalnog silicija, a ujedno je važno i napomenuti da su sustavi montirani na krovove zgrada bolje rješenje za prikupljanje sunčeve energije od sustava instaliranih na tlo, zbog toga što se takvim postrojenjima ne zauzima novo zemljište, nego se iskorištava potencijal krovova zgrada. Velike hidroelektrane (660MW) zauzimaju sličnu količinu zemljišta poput elektrana na ugljen, većinu toga zemljišta kod takvih hidroelektrana zauzimaju njihova akumulacijska jezera. Ostali oblici OIE i neobnovljivih izvora energije zauzimaju relativno malu površinu, dok najmanju količinu zemljišta u prosijeku zauzimaju nuklearne elektrane.



Slika 3.6. *Količina zemljišta kojeg postrojenje zauzima tijekom cijelog životnog ciklusa* [52]

3.3.2. Količine ruda potrebnih za rad postrojenja

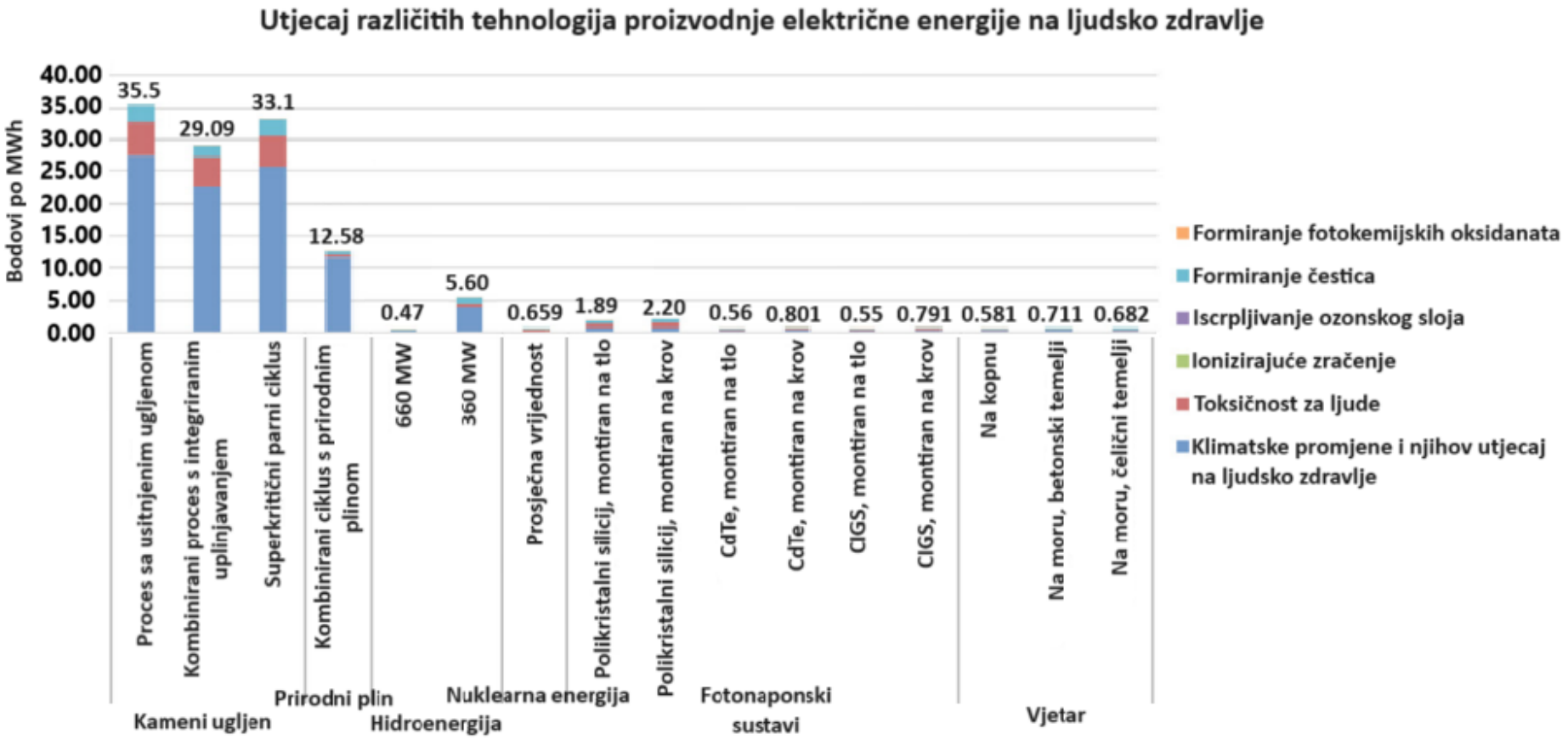
Građenja postrojenja za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora zahtjeva velike količine različitih materijala, pa tako i raznih ruda, poput cinka, nikala, bakra, kobalta i aluminija. Solarne i vjetroelektrane sastoje se od brojnih komponenti, koje zahtijevaju velike količine prethodno navedenih ruda, a razlog tomu je taj što se takva postrojenja najčešće sastoje od nekoliko stotina, pa i do nekoliko tisuća solarnih panela ili vjetroturbina. Slika 3.7. prikazuje grafičku usporedbu potrebne količine materijala u gramima po megavat-satu proizvedene energije za rad različitih vrsta postrojenja. Iz grafa je vidljivo da u prosijeku većina tehnologija korištenih za dobivanje energije iz OIE zahtjeva veće količine materijala poput aluminija, bakra i mangana, odnosno najviše ovih metala u gramima po megavat-satu proizvedene energije utrošeno je kod svih vrsta tehnologija fotonaponskih sustava (od 296 g/MWh do 635 g/MWh). Vjetroelektrane na kopnu i na pučini zahtijevaju manje ruda od solarnih elektrana, no ipak i kod njih je uočljiv veći utrošak takvih materijala usporedno sa postrojenjima na neobnovljive izvore (od 255 g/MWh do 292 g/MWh), građenje vjetroelektrana zahtjeva korištenje veće količine nikala i kroma. Elektrane na ugljen od ruda najviše zahtijevaju aluminij te u manjoj mjeri mangan. Zahtjevi za materijalima, odnosno rudama najmanji su kod velikih hidroelektrana (23 g/MWh) , nuklearnih elektrana (84 g/MWh) i elektrana na prirodni plin (45 g/MWh).



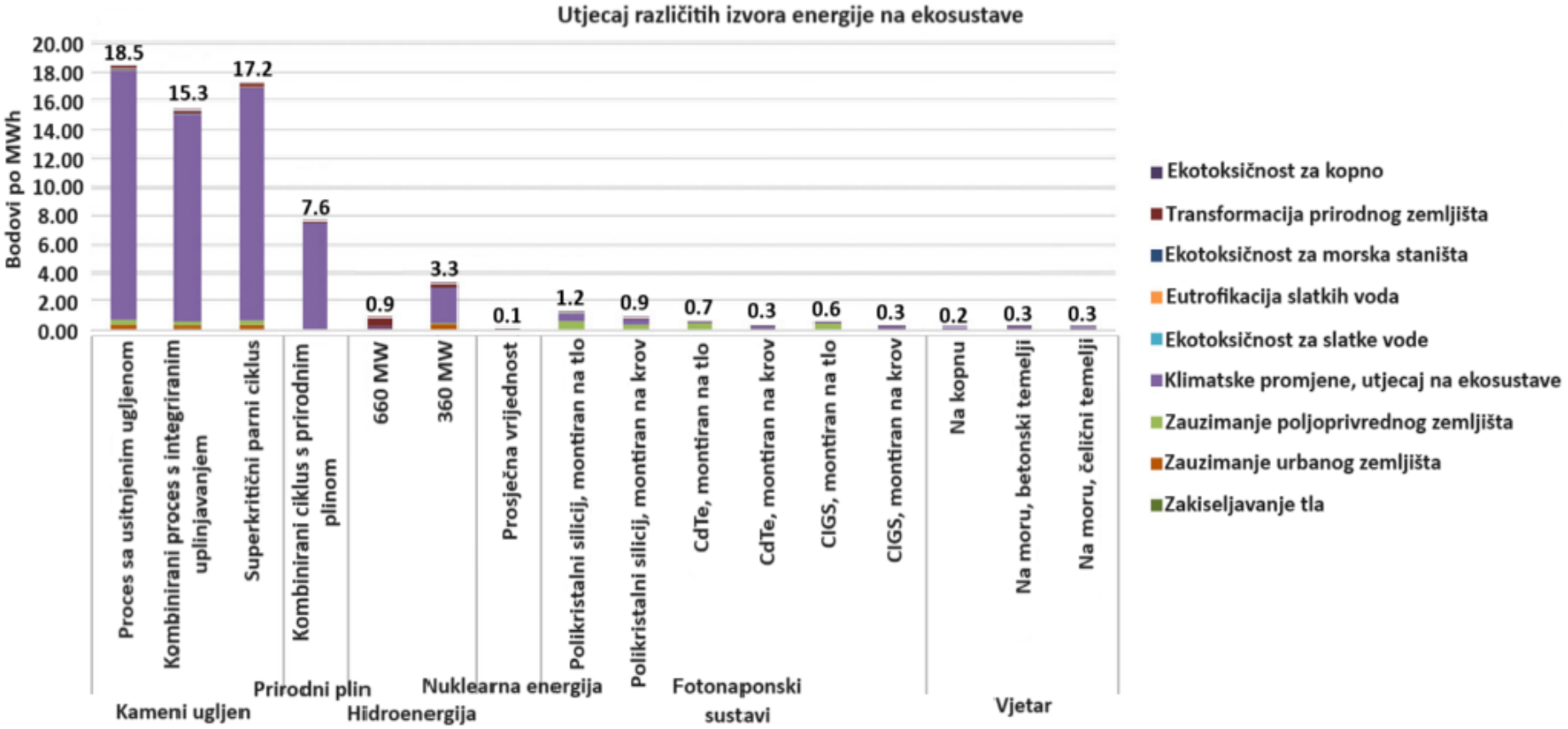
Slika 3.7. *Materijalni zahtjevi za različite tehnologije proizvodnje električne energije* [52]

3.3.3. Utjecaj na ljudsko zdravlje i na ekosustav

Proizvodnja električne energije direktno utječe na okoliš, to jest na čitavi ekosustav, samim time ona ima i negativnih posljedica na ljudsko zdravlje. Različite tehnologije nejednako doprinose zagađenju okoliša, odnosno negativno djelovanje na ekosustav ovisi o samom tipu korištene tehnologije za proizvodnju električne energije i goriva korištenog za pogon toga proizvodnog procesa. Razlike u utjecaju na okoliš i ljudsko zdravlje između konvencionalnih i nekonvencionalnih (obnovljivih) izvora energije su značajne, što je vidljivo iz grafova na slikama 3.7. i 3.8.. Graf sa slike 3.7. prikazuje utjecaj različitih tehnologija proizvodnje električne energije na ljudsko zdravlje po megavat-satu, izražen u bodovima, pri čemu jedan bod odgovara utjecaju na jednu osobu tijekom jedne cijele godine. Na grafu je vidljiva drastična razlika između obnovljivih i neobnovljivih izvora električne energije, utjecaj solarne energije, energije vjetra, hidroenergije i nuklearne energije je malen, skoro zanemarivih vrijednosti. Ipak, postoje odudaranja od ostatka tehnologija OIE, a to su male hidroelektrane i fotonaponski sustavi izrađeni od polikristalnog silicija. Negativan utjecaj malih hidroelektrana proizlazi iz njihova djelovanja na klimatske promjene uslijed njihova građenja i njihova djelovanja na tok rijeka na kojima se nalaze. Fotonaponski sustavi na ljudsko zdravlje imaju povećan učinak zbog vlastite toksičnosti, odnosno zbog materijala koji se koriste u njihovoj proizvodnji, taj učinak je malen, no on ipak predstavlja opasnost po ljudsko zdravlje. Svi oblici konvencionalnih (neobnovljivih) izvora energije imaju drastične posljedice po ljudsko zdravlje, najveći prijestupnik je proizvodni proces baziran na korištenju ugljena, takvi procesi uzrokuju formiranje čestica u zraku, toksični su za ljude te ubrzano pospješuju negativne učinke klimatskih promjena. Elektrane na prirodni plin, iako manje toksičnosti i smanjena ukupna utjecaja na ljudsko zdravlje, još uvijek značajno više doprinose klimatskim promjena i time direktno utječu na ljudsko zdravlje. Graf na slici 3.8. prikazuje utjecaj različitih tehnologija proizvodnje električne energije na ekosustav po megavat-satu, izražen u bodovima, pri čemu je jedan bod ekvivalentan utjecaju na broj vrsta jedne osobe globalno tijekom jedne godine. I ovdje su konvencionalni izvori energije značajno gori od OIE, elektrane na ugljen dramatično djeluju na ekosustave zbog poticanja klimatskih promjena oslobađanjem enormnih količina CO_2 u atmosferu te zauzimanjem i prenamjenom velike količine životinjskih staništa. Utjecaj elektrana na plin također je povezan s poticanjem klimatskih promjena, no on je usporedno sa elektranama na ugljen manji. Male hidroelektrane imaju najveći negativan učinak na klimatske promjene od OIE, one također transformiraju prirodna staništa brojnih životinjskih i biljnih vrsta. Ostale tehnologije OIE imaju minimalan učinak na ekosustave, koji se najčešće odnosi na zauzimanje poljoprivrednog ili urbanog zemljišta.



Slika 3.7. *Utjecaj različitih tehnologija proizvodnje električne energije na ljudsko zdravlje* [52]



Slika 3.7. *Utjecaj različitih tehnologija proizvodnje električne energije na ekosustav* [52]

4. ANALIZA TROŠKOVA CO_2 EKVIVALENATA PRI RADU RAZLIČITIH TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Pri radu svake od tehnologija korištenih pri proizvodnji električne energije oslobađa se određena količina CO_2 ekvivalenata u atmosferu. Tijekom cijelog životnog ciklusa elektrane, ovisno o pogonskom gorivu iste, količina CO_2 ekvivalenata može biti pozamašna. Kako bi se ograničilo prekomjerno ispuštanje ugljikova dioksida u atmosferu, donesene su mjere kojima se želi ograničiti, odnosno kazniti prekomjerno zagađivanje okoliša te ubrzano poticanje klimatskih promjena. Jedna od takvih mjera je uvođenje sistema trgovanjem emisijama CO_2 ekvivalenata.

4.1. Sustav trgovanja emisijama CO_2

Europski sustav trgovanjem emisijama, poznatiji kao ETS ili EU-ETS, predstavlja mjeru za smanjenje emisija stakleničkih plinova uz što niže ekonomske troškove. Usvojen je od strane Europskog parlamenta i Vijeća Europske unije 2003. godine, nakon Protokola iz Kyota, a na snagu je stupio 1. siječnja 2005. godine. Od 2019. godine, 31 europska zemlja s oko jedanaest tisuća postrojenja iz sektorima proizvodnje električne energije i industrijskih djelatnosti s intenzivnim emisijama CO_2, sudjeluje u europskom sustavu trgovanja emisijama. [53]

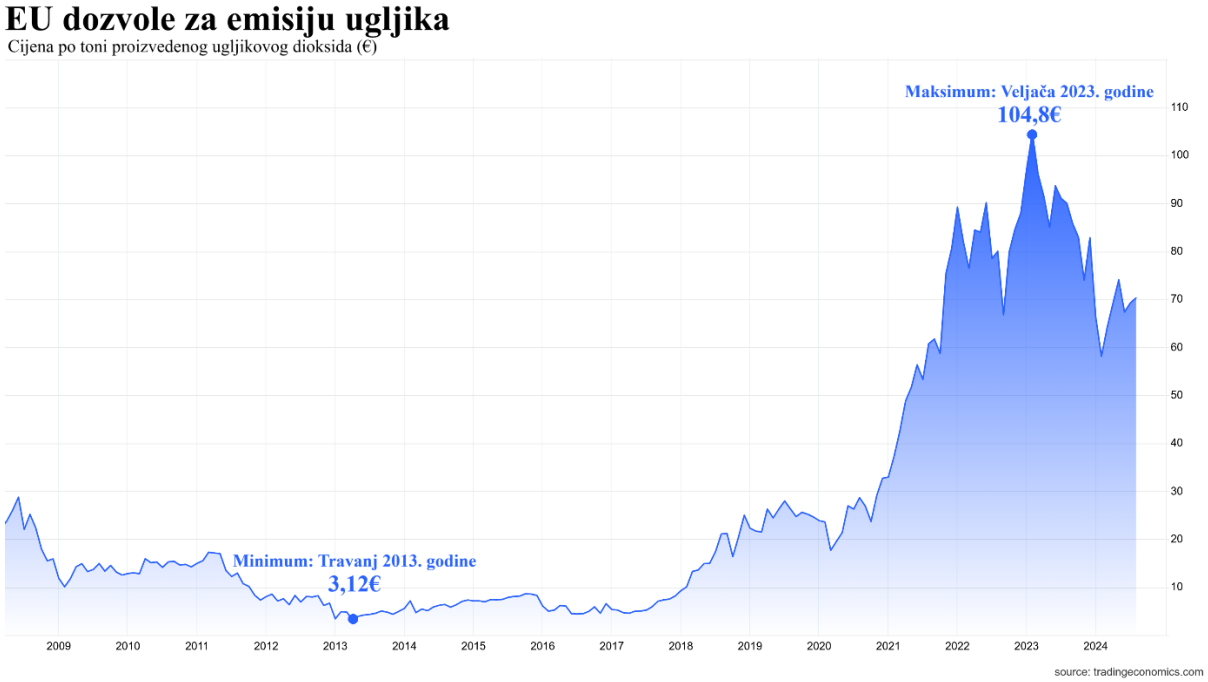
ETS je tržišno orijentiran instrument za smanjenje emisija CO_2 ekvivalenata koji koristi pristup „ograničenja i trgovanja". On predstavlja samo srce europske klimatske i energetske politike. Njegov glavni cilj jest smanjenje emisija stakleničkih plinova u Europi, odnosno njime se želi postignuti smanjenje emisija za 50% do 2030. godine u odnosu na razine iz 1990. godine. Sustav je pokazao učinkovitost u svojoj namjeri smanjivanja emisija te su one u posljednjih petnaest godina smanjene za 40%, dok su cijene ugljika porasle deset puta. [54]

4.1.1. Funkcioniranje europskog sustava trgovanja emisijama CO_2

ETS funkcionira na sljedeći način:

- Svaka tona CO_2 mora biti pokrivena dozvolom, poznatom kao *EU Allowance (EAU)*.
- Na kraju godine, industrijski zagađivači moraju predati dovoljan broj EU dozvola koji odgovara njihovim emisijama.
- EU ne postavlja fiksnu cijenu za dozvole, umjesto toga, određuje ukupan broj dozvola koji se izdaje svake godine i omogućuje slobodnu trgovinu dozvolama među tvrtkama, što stvara cijenu za emisije.

- Smanjenje broja dozvola povećava njihovu cijenu, a kako cijena raste, tvrtke su motivirane za smanjenje emisija umjesto kupovine dodatnih dozvola.
- Brzina smanjenja broja dozvola povećana je s 2,2% godišnje na 4,3% godišnje od 2024. godine kako bi se dodatno ubrzalo smanjenje emisija stakleničkih plinova. [54]



Slika 4.1. *EU dozvole za emisiju ugljika* [55]

Slika 4.1. prikazuje grafikon kretanja cijena EU dozvola za ugljik, pri čemu je cijena pojedinačne dozvole dosegla svoj maksimum u veljači 2023. godine te je tada ona iznosila 104,8 eura po toni proizvedenog ugljikova dioksida, dok je minimum u posljednjih deset godina ostvaren u travnju 2013. godine, tada je cijena po toni proizvedenog ugljikova dioksida iznosila 3,12 eura. U 2024. godini cijena dozvole za CO_2 je opala usporedno sa prethodnom godinom te se kretala između 60 i 70 eura po toni proizvedenog ugljikova dioksida. Međutim, cijena dozvole ovisi i o razmjerima oslobođenog CO_2 unutar samog postrojenja, pri čemu razlikujemo postrojenja visokih, umjerenih i niskih emisija. Tada se pri proračunu troškova emisija CO_2 ekvivalenata za budućnost u obzir najčešće uzimaju postrojenja s umjerenim emisijama, čija je cijena (umjerena cijena ugljika) emisija također u prosijeku smanjena na 27,1 euro (30$).

4.2. Proračun troškova emisija CO_2 ekvivalenata za različite tehnologije proizvodnje električne energije

Za prethodno navedene tehnologije proizvodnje električne energije; hidroenergija, energija vjetra, solarna energija, nuklearna energija, ugljen i prirodni plin, u ovom poglavlju izračunati će se troškovi emisija CO_2 ekvivalenata tijekom njihova cijeloga životna ciklusa. Za ove proračune koristiti će se slijedeći podatci:

Tehnologija proizvodnje električne energije		Minimalna količina oslobođenog CO_2 ekvivalenta, t/MWh	Maksimalna količina oslobođenog CO_2 ekvivalenta, t/MWh
Kameni ugljen	Proces sa usitnjenim ugljenom	0,912	1,095
	Kombinirani proces s integriranim uplinjavanjem	0,753	0,912
	Superkritični parni ciklus	0,850	1,021
Prirodni plin	Kombinirani ciklus s prirodnim plinom	0,403	0,513
Hidroenergija	660MW	0,085	0,147
	360MW	0,006	0,011
Nuklearna energija	Prosječna vrijednost	0,005	0,006
Solarna energija	Polikristalni silicij, montiran na tlo	0,023	0,082
	Polikristalni silicij, montiran na krov	0,023	0,083
	CdTe, montiran na tlo	0,007	0,027
	CdTe, montiran na krov	0,009	0,034
	CIGS, montiran na tlo	0,008	0,028
	CIGS, montiran na krov	0,010	0,035
Energija vjetra	Na kopnu	0,008	0,016
	Na moru, betonski temelji	0,013	0,023
	Na moru, čelični temelji	0,012	0,021

Tablica 4.1. *Tablica minimalne i maksimalne količine oslobođenog CO_2 ekvivalenta u t/MWh, za različite tehnologije proizvodnje električne energije* [52]

Podatci iz tablice odgovaraju grafu na slici 3.6., vrijednosti su preračunate iz grama po kilovat-satu u tone po megavat-satu.

Troškove emisija CO_2 ekvivalenata računamo po slijedećoj formuli:

$$Troškovi\ emisija\ CO_2\ ekvivalenata = (Ugljik_{t/MWh} + D_{t/MWh}) * Cijena\ ugljika$$

Gdje su:

- $Ugljik_{t/MWh}$ - Troškovi ugljika tijekom cijelog životnog ciklusa u t/MWh
- $D_{t/MWh}$ - Troškovi razgradnje postrojenja i zbrinjavanja otpada tijekom cijelog životnog ciklusa u t/MWh
- $Cijena\ ugljika$ – Cijena dozvola za emisiju ugljika u eurima po toni proizvedenog CO_2 ekvivalenta

U tablici 4.1. sa podatcima za minimalnu i maksimalnu količinu oslobođenog CO_2 ekvivalenta u jedan podatak objedinjene su vrijednosti za troškove ugljika tijekom cijelog životnog ciklusa te vrijednost troškova razgradnje postrojenja i zbrinjavanja otpada tijekom cijelog životnog ciklusa u t/MWh. Proračun će obuhvatiti tri cjenovne razine dozvola za emisiju ugljika; minimalnu (3,12 €/t), umjerenu (27,1€/t) te maksimalnu (104,8€/t).

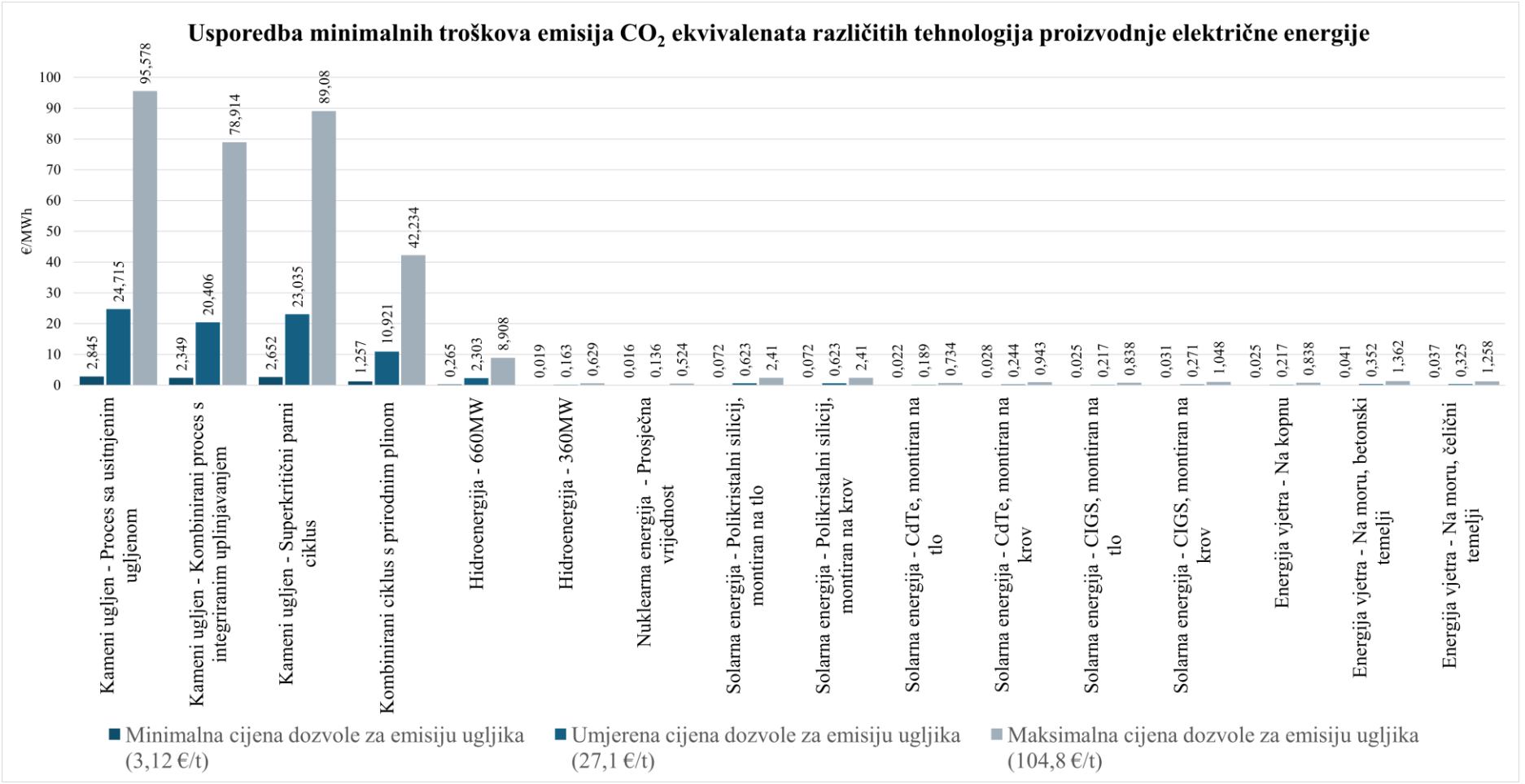
Tablica 4.2. prikazuje podatke o minimalnim i maksimalnim troškovima emisija CO_2 ekvivalenata za različite tehnologije proizvodnje električne energije pri različitim cjenovnim razinama dozvola za emisiju ugljika. Kao rezultat dobiveni su troškovi emisija stakleničkih plinova u eurima koji se obračunavaju za svaki megavat-sat proizvedene električne energije u pojedinom tipu (tehnologiji) proizvodnog postrojenja.

Iz tablice 4.2. vidljivo je da su troškovi emisija CO_2 ekvivalenata najveći kod proizvodnih procesa pogonjenih na kameni ugljen, dok su troškovi postrojenja na prirodni plin upola manji od postrojenja na ugljen. Od OIE najveće troškove po megavat-satu proizvedene električne energije imaju velike hidroelektrane te solarne elektrane bazirane na tehnologiji polikristalnog silicija. Ostale vrste solarnih elektrana (tehnologije CdTe i CIGS) te vjetroelektrane imaju minimalne troškove povezane s emisijama ekvivalenata ugljikova dioksida. Međutim bitno je naglasiti da od svih prethodno spomenutih tehnologija, apsolutno najmanje troškove emisija stakleničkih plinova u prosjeku imaju nuklearne elektrane.

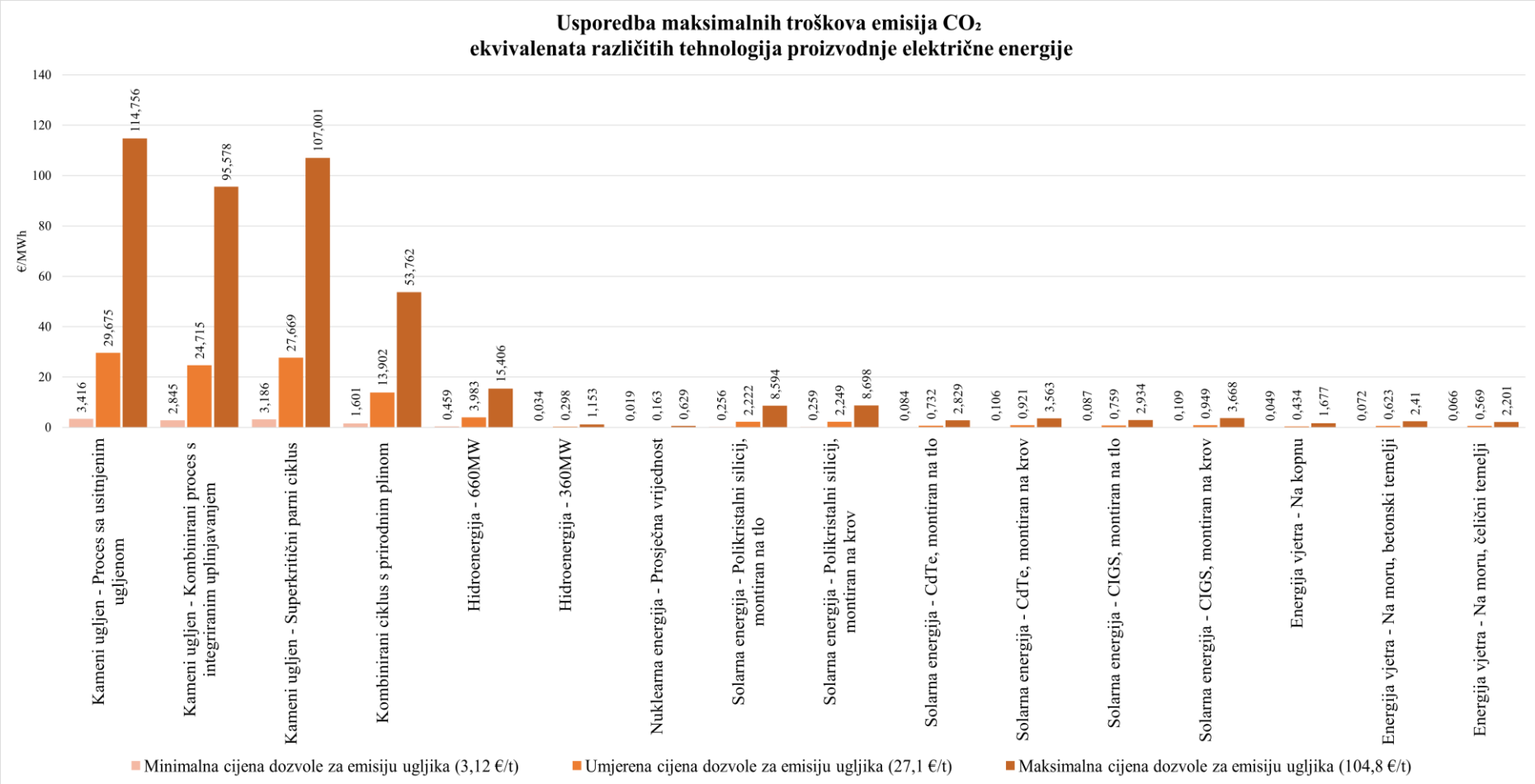
Tehnologija proizvodnje električne energije		Minimalna cijena dozvole za emisiju ugljika (3,12 €/t)		Umjerena cijena dozvole za emisiju ugljika (27,1 €/t)		Maksimalna cijena dozvole za emisiju ugljika (104,8 €/t)	
		Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum
Kameni ugljen	Proces sa usitnjenim ugljenom	2,845	3,416	24,715	29,675	95,578	114,756
	Kombinirani proces s integriranim uplinjavanjem	2,349	2,845	20,406	24,715	78,914	95,578
	Superkritični parni ciklus	2,652	3,186	23,035	27,669	89,080	107,001
Prirodni plin	Kombinirani ciklus s prirodnim plinom	1,257	1,601	10,921	13,902	42,234	53,762
Hidroenergija	660MW	0,265	0,459	2,303	3,983	8,908	15,406
	360MW	0,019	0,034	0,163	0,298	0,629	1,153
Nuklearna energija	Prosječna vrijednost	0,016	0,019	0,136	0,163	0,524	0,629
Solarna energija	Polikristalni silicij, montiran na tlo	0,072	0,256	0,623	2,222	2,410	8,594
	Polikristalni silicij, montiran na krov	0,072	0,259	0,623	2,249	2,410	8,698
	CdTe, montiran na tlo	0,022	0,084	0,189	0,732	0,734	2,829
	CdTe, montiran na krov	0,028	0,106	0,244	0,921	0,943	3,563
	CIGS, montiran na tlo	0,025	0,087	0,217	0,759	0,838	2,934
	CIGS, montiran na krov	0,031	0,109	0,271	0,949	1,048	3,668
Energija vjetra	Na kopnu	0,025	0,049	0,217	0,434	0,838	1,677
	Na moru, betonski temelji	0,041	0,072	0,352	0,623	1,362	2,410
	Na moru, čelični temelji	0,037	0,066	0,325	0,569	1,258	2,201

Tablica 4.2. *Tablica minimalnih i maksimalnih troškova emisija CO_2 ekvivalenata tijekom cijelog životnog*

Slike 4.2. i 4.3. predstavljaju grafički prikaz podataka iz tablice 4.2., slika 4.2. prikazuje usporedbu minimalnih troškova emisija CO_2 ekvivalenata različitih tehnologija proizvodnje električne energije, dok slika 4.3. prikazuje usporedbu maksimalnih troškova. Grafovi prvenstveno prikazuju razlike u troškovima obnovljivih te neobnovljivih izvora energije, pri čemu su troškovi emisija konvencionalnih izvora električne energije po megavat-satu proizvedene električne energije neusporedivo veći od troškova emisija CO_2 OIE te nuklearne energije. Osim toga grafovi također prikazuju značajan skok cijena dozvola za emisiju ugljika od 2013. do 2023. godine, a taj porast cijena odrazio se i na razinu troškova emisija stakleničkih plinova po megavat-satu proizvedene električne energije koju proizvođači moraju plaćati.



Slika 4.2. *Usporedba minimalnih troškova emisija CO_2 ekvivalenata različitih tehnologija proizvodnje električne energije*



Slika 4.3. *Usporedba maksimalnih troškova emisija CO_2 ekvivalenata različitih tehnologija proizvodnje električne energije*

5. ZAKLJUČAK

Obnovljivi izvori energije smatraju se savršenom zamjenom za konvencionalne izvore električne energije. Njih se definira kao „zelena“ alternativa u dobivanju električne energije, no takva definicija ipak nije u potpunosti točna. OIE imaju svoje nedostatke, koji se razlikuju ovisno o tehnologiji, odnosno svaki oblik nekonvencionalnih izvora; solarna energija, hidroenergija, energija vjetra, geotermalna energija i biomasa, ima svoje negativne strane koje ipak nisu zanemarive.

Solarna energija negativno utječe na okoliš zauzimanjem velike količine zemljišta, potrebnog za njezin efikasan rad te ovisno o tehnologiji fotonaponskog sustava ona ostavlja negativne posljedice na ekosustav i ljudsko zdravlje, zbog toksičnosti materijala korištenih u izradi fotonaponskih modula. Vjetroelektrane pri svojem redovnom radu negativno utječu na životinjski svijet te se nakon kraja njihova životna ciklusa javlja problematika recikliranja komponenti vjetroagregata. Hidroenergija narušava prirodnu ravnotežu, zbog uništavanja prirodnih staništa, pri izgradnji akumulacijskog jezera i brane. Osim toga, hidroelektrane u atmosferu indirektno ispuštaju velike količine metana i ugljikova dioksida, usporedno sa ostalim OIE. Geotermalnu energiju prati problematika izazivanja potencijalnih potresa manje magnitude, ali i smanjivanje kvalitete zraka, uslijed ispuštanja toksičnih plinova za vrijeme rada elektrane. Biomasa predstavlja najvećeg zagađivača među OIE, biomasu također prati i problematika njezine održivosti, to jest njezine kumulativne CO_2 neutralnosti.

Ipak negativne strane OIE su neusporedivo manje od posljedica koje nastaju uslijed korištenja konvencionalnih izvora energije pri proizvodnji električne energije, poput ugljena i prirodnog plina. Usporedbom različitih tehnologija proizvodnje električne energije iz obnovljivih i neobnovljivih izvora, moguće je zaključiti da OIE imaju značajno manje emisije stakleničkih plinova od konvencionalnih izvora energije te da su izvori električne energije poput ugljena i prirodnog plina strahovito gori od OIE po pitanju poticanja klimatskih promjena i toksičnosti za ljudsko zdravlje. Međutim, postoje i aspekti u kojima su pojedini OIE gori od konvencionalnih, a to su zauzimanje zemljišta (solarna energija) te količina materijala (ruda) potrebnih za izgradnju elektrana za njihov pravilan i efikasan rad (solarna energija i energija vjetra).

Emisije stakleničkih plinova nastalih pri proizvodnji električne energije imaju negativne posljedice po okoliš, stoga kako bi se te emisije smanjile Europska unija uvela je sustav trgovanjem emisijama ugljikova dioksida. Cilj takvog sustava je postupno povećavanje troškova vezanih uz emisije nastale pri proizvodnji električne energije i samim tim postupno napuštanje

konvencionalnih izvora energije, u zamjenu za OIE. Proračunima iz ovog rada potvrđeno je da su troškovi emisija CO_2 ekvivalenata OIE tijekom njihova cjeloživotnog ciklusa rada značajno manji usporedno sa izvorima električne energije poput ugljena i prirodnog plina.

LITERATURA

[1] F. R., Spellman, *Environmental Impacts of Renewable Energy*, 1st Edition. CRC Press LLC: Boca Raton, FL, 2014.

[2] M., Hosenuzzaman, N. A., Rahim, J., Selvaraj, M., Hasanuzzaman, A. B. M. A., Malek, A., Nahar, „Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation“, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, sv. 41, str. 284–297, sij. 2015.

[3] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE, „Photovoltaics Report“, Freiburg, svi. 2024.

[4] „Environmental Impacts of Solar Power | Union of Concerned Scientists“ [online]. Dostupno na: https://www.ucsusa.org/resources/environmental-impacts-solar-power. [Pristupljeno: 17.5.2024.].

[5] A., Rahman, O., Farrok, M. M., Haque, „Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants: Solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean, and osmotic“, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, sv. 161, str. 112279, lip. 2022.

[6] M., Bošnjaković, R., Santa, Z., Crnac, T., Bošnjaković, „Environmental Impact of Pv Power Systems“. 2023.

[7] D., Šljivac, D., Topić, *Obnovljivi izvori električne energije*. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek: Osijek, 2018.

[8] D. A. G., Staff, „As woods give way to solar farms, state to issue controversial rules that could harm solar industry - The Boston Globe“ [online]. Dostupno na: https://www.bostonglobe.com/2020/07/12/metro/woods-give-way-solar-farms-state-issue-controversial-rules-that-could-harm-solar-industry/. [Pristupljeno: 27.5.2024.].

[9] „How Do Wind Turbines Work?“ [online]. Dostupno na: https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work. [Pristupljeno: 18.5.2024.].

[10] A., Azarpour, S., Suhaimi, G., Zahedi, A., Bahadori, „A Review on the Drawbacks of Renewable Energy as a Promising Energy Source of the Future“, *Arab. J. Sci. Eng.*, izd. 2, sv. 38, str. 317–328, velj. 2013.

[11] S., Peach, „What’s the carbon footprint of a wind turbine? » Yale Climate Connections“ [online], 30-lip-2021. Dostupno na: http://yaleclimateconnections.org/2021/06/whats-the-carbon-footprint-of-a-wind-turbine/. [Pristupljeno: 18.5.2024.].

[12] T. A., Hamed, A., Alshare, „Environmental Impact of Solar and Wind energy- A Review“, *J. Sustain. Dev. Energy Water Environ. Syst.*, izd. 2, sv. 10, str. 1–23, lip. 2022.

[13] R., Saidur, N. A., Rahim, M. R., Islam, K. H., Solangi, „Environmental impact of wind energy“, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, izd. 5, sv. 15, str. 2423–2430, lip. 2011.

[14] „Protecting Birds from Wind Power | BirdNote“ [online], 22-velj-2022. Dostupno na: https://www.birdnote.org/listen/shows/protecting-birds-wind-power. [Pristupljeno: 27.5.2024.].

[15] K., Dai, A., Bergot, C., Liang, W.-N., Xiang, Z., Huang, „Environmental issues associated with wind energy – A review“, *Renew. Energy*, sv. 75, str. 911–921, ožu. 2015.

[16] J. P., Jensen, „Evaluating the environmental impacts of recycling wind turbines“, *Wind Energy*, izd. 2, sv. 22, str. 316–326, velj. 2019.

[17] N., Rathore, N. L., Panwar, „Environmental impact and waste recycling technologies for modern wind turbines: An overview“, *Waste Manag. Res. J. Sustain. Circ. Econ.*, izd. 4, sv. 41, str. 744–759, tra. 2023.

[18] C., Martin, „Wind Turbine Blades Can’t Be Recycled, So They’re Piling Up in Landfills - Bloomberg“ [online], 05-velj-2020. Dostupno na: https://www.bloomberg.com/news/features/2020-02-05/wind-turbine-blades-can-t-be-recycled-so-they-re-piling-up-in-landfills. [Pristupljeno: 27.5.2024.].

[19] „Types of Hydropower Plants“ [online]. Dostupno na: https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-plants. [Pristupljeno: 27.5.2024.].
[20] S., Schlömer, G., Hänsel, D., de Jager, M., Neelis, „Technology-specific Cost and Performance Parameters“.
[21] S. N., Silva, J. Á. D., Castillo, „An Approach of the Hydropower: Advantages and Impacts. A Review“, *J. Energy Res. Rev.*, str. 10–20, lip. 2021.
[22] „HE Lešće“ [online]. Dostupno na: https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/pp-he-zapad/he-lesce/1543. [Pristupljeno: 27.5.2024.].
[23] A., Kumar *i ostali*, „IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Hydropower“, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., 2011.
[24] V., Strezov, T., Conversation, „Explainer: What is hydroelectricity?“ [online]. Dostupno na: https://phys.org/news/2013-04-hydroelectricity.html. [Pristupljeno: 28.5.2024.].
[25] A., Kuriqi, A. N., Pinheiro, A., Sordo-Ward, M. D., Bejarano, L., Garrote, „Ecological impacts of run-of-river hydropower plants—Current status and future prospects on the brink of energy transition“, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, sv. 142, str. 110833, svi. 2021.
[26] T., Fridriksson, A., Mateos, P., Audinet, Y., Orucu, *Greenhouse Gases from Geothermal Power Production*. World Bank, Washington, DC, 2016.
[27] „Frequently asked questions about geothermal energy“ [online]. Dostupno na: https://www.enelgreenpower.com/learning-hub/renewable-energies/geothermal-energy/faq. [Pristupljeno: 28.5.2024.].
[28] M., Bošnjaković, M., Stojkov, M., Jurjević, „Environmental Impact of Geothermal Power Plants“, *Teh. Vjesn. - Tech. Gaz.*, izd. 5, sv. 26, lis. 2019.
[29] „New standard for geothermal steam turbines“ [online]. Dostupno na: https://www.iec.ch/blog/new-standard-geothermal-steam-turbines. [Pristupljeno: 28.5.2024.].
[30] A., Dhar, M. A., Naeth, P. D., Jennings, M., Gamal El-Din, „Geothermal energy resources: potential environmental impact and land reclamation“, *Environ. Rev.*, izd. 4, sv. 28, str. 415–427, pros. 2020.
[31] „sumporovodik“ [online]. Dostupno na: https://www.eionet.europa.eu/gemet/hr/concept/4107. [Pristupljeno: 29.5.2024.].
[32] A., Khansefid, S. M., Yadollahi, G., Müller, F., Taddei, „Induced Earthquake Hazard by Geothermal Power Plants: Statistical Evaluation and Probabilistic Modeling“, *Int. J. Disaster Risk Sci.*, izd. 5, sv. 13, str. 758–777, lis. 2022.
[33] „Why are there so many earthquakes in the Geysers area in Northern California? | U.S. Geological Survey“ [online]. Dostupno na: https://www.usgs.gov/faqs/why-are-there-so-many-earthquakes-geysers-area-northern-california. [Pristupljeno: 22.7.2024.].
[34] „Peninsula Clean Energy to Receive Power From World’s Largest Geothermal Complex“ [online], 07-ruj-2021. .
[35] T., Abbasi, S. A., Abbasi, „Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization“, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, izd. 3, sv. 14, str. 919–937, tra. 2010.
[36] „Research for Sustainability | FONA“ [online], 03-sij-2024. Dostupno na: https://www.fona.de/en/measures/funding-measures/CDR/BioNET_en.php. [Pristupljeno: 30.5.2024.].
[37] Y., Wu *i ostali*, „Bioenergy production and environmental impacts“, *Geosci. Lett.*, izd. 1, sv. 5, str. 14, pros. 2018.
[38] „Effects of Deforestation“ [online]. Dostupno na: https://pachamama.org/effects-of-deforestation. [Pristupljeno: 30.5.2024.].
[39] D., Šljivac, „Osnove energetike i ekologije - Obnovljivi oblici energije (Predavanje)“. .

[40] „Biomass Energy - How Do We Make Energy From Waste?“ [online]. Dostupno na: https://powerzone.clarkpublicutilities.com/learn-about-renewable-energy/biomass-energy. [Pristupljeno: 22.7.2024.].
[41] V., Quaschning, „Specific carbon dioxide emissions of various fuels“ [online]. Dostupno na: https://www.volker-quaschning.de/datserv/CO2-spez/index.php. [Pristupljeno: 23.7.2024.].
[42] R. M., Elavarasan, „The Motivation for Renewable Energy and its Comparison with Other Energy Sources: A Review“, *Eur. J. Sustain. Dev. Res.*, izd. 1, sv. 3, velj. 2019.
[43] „Executive summary – Electricity 2024 – Analysis“ [online]. Dostupno na: https://www.iea.org/reports/electricity-2024/executive-summary. [Pristupljeno: 1.6.2024.].
[44] „Share of electricity production by source“ [online]. Dostupno na: https://ourworldindata.org/grapher/share-elec-by-source. [Pristupljeno: 1.6.2024.].
[45] „Overview of Climate Targets in Europe | Climate Policy Info Hub“ [online]. Dostupno na: https://climatepolicyinfohub.eu/overview-climate-targets-europe.html. [Pristupljeno: 2.6.2024.].
[46] „EU achieves 20-20-20 climate targets, 55 % emissions cut by 2030 reachable with more efforts and policies — European Environment Agency“ [online]. Dostupno na: https://www.eea.europa.eu/highlights/eu-achieves-20-20-20. [Pristupljeno: 2.6.2024.].
[47] K., Chudy-Laskowska, T., Pisula, „An Analysis of the Use of Energy from Conventional Fossil Fuels and Green Renewable Energy in the Context of the European Union’s Planned Energy Transformation“, *Energies*, izd. 19, sv. 15, str. 7369, lis. 2022.
[48] „European Electricity Review 2024“ [online], 07-velj-2024. Dostupno na: https://ember-climate.org/insights/research/european-electricity-review-2024/. [Pristupljeno: 2.6.2024.].
[49] „The nuclear phase-out in Germany“ [online]. Dostupno na: https://www.base.bund.de/EN/ns/nuclear-phase-out/nuclear-phase-out_node.html. [Pristupljeno: 3.6.2024.].
[50] „New indicator shows recovery of service industries - Products Eurostat News - Eurostat“ [online]. Dostupno na: https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220616-2. [Pristupljeno: 3.6.2024.].
[51] „Carbon intensity of electricity generation“ [online]. Dostupno na: https://ourworldindata.org/grapher/carbon-intensity-electricity?tab=chart&time=earliest..2022&country=EU-27~OWID_EU27~OWID_WRL~USA~CHN. [Pristupljeno: 3.6.2024.].
[52] United Nations Economic Commission for Europe, „Life Cycle Assessment of Electricity Generation Options“, United Nations, Geneva, 2021.
[53] „How does the European emissions trading scheme (ETS) of CO2 certificates work? Read on to learn about prices, markets, and objectives of ETS trading“ [online]. Dostupno na: https://www.next-kraftwerke.com/knowledge/emissions-trading-scheme-ets. [Pristupljeno: 2.9.2024.].
[54] „The EU ETS: Simple Concepts of Emissions Trading Schemes | Blog article“ [online]. Dostupno na: https://www.homaio.com/post/the-eu-ets-simple-concepts-of-emissions-trading-schemes. [Pristupljeno: 2.9.2024.].
[55] „EU Carbon Permits - Price - Chart - Historical Data - News“ [online]. Dostupno na: https://tradingeconomics.com/commodity/carbon. [Pristupljeno: 2.9.2024.].

SAŽETAK

Cilj ovog rada je prikazati načine na koje različite tehnologije za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora mogu negativno utjecati na okoliš te usporediti te izvore s konvencionalnim izvorima energije. U radu su detaljno opisane negativne strane solarne energije, energije vjetra, hidroenergije, geotermalne energije i biomase. Usporedba obnovljivih i neobnovljivih izvora obuhvaća količinu emisija CO_2 koje oni ispuštaju tijekom cijelog životnog ciklusa, njihov utjecaj na okoliš i ljudsko zdravlje te njihove zahtjeve za zemljištem i materijalima, poput ruda. Na kraju su provedeni proračuni koji prikazuju razlike u troškovima povezanim s emisijama CO_2 ekvivalenata između obnovljivih i neobnovljivih izvora električne energije po megavat-satu proizvedene energije tijekom cijelog njihovog životnog ciklusa.

Ključne riječi: obnovljivi izvori energije, konvencionalni izvori energije, okoliš, emisije CO_2, solarna energija, energija vjetra, hidroenergija, geotermalna energija, biomasa

ABSTRACT

The aim of this paper is to analyze the environmental impacts of various renewable energy production technologies and compare them with conventional energy sources. The negative aspects of solar energy, wind energy, hydropower, geothermal energy, and biomass are thoroughly examined. The comparison between renewable and non-renewable sources includes an assessment of CO_2 emissions throughout their life cycle, their environmental and human health impacts, as well as their land and material (ore) requirements. Finally, calculations are presented to demonstrate the differences in costs associated with CO_2 equivalent emissions between renewable and non-renewable energy sources, measured per megawatt-hour of energy produced throughout their life cycle.

Keywords: renewable energy sources, conventional energy sources, environment, CO_2 emissions, solar energy, wind energy, hydropower, geothermal energy, biomass

ŽIVOTOPIS

Filip Cupić rođen je 14. srpnja 2001. godine u Slavonskom Brodu. U Donjim Andrijevcima pohađao je osnovnu školu „Viktor Car Emin“. Tijekom osnovnoškolskog obrazovanja sudjelovao je natjecanjima iz geografije i matematike. Nakon završene osnovne škole upisuje gimnaziju „Matija Mesić“ u Slavonskom Brodu, opći smjer. Uspješno polaže državnu maturu 2020. godine te iste godine upisuje preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Trenutno završava taj studij te planira nastaviti na diplomski studij održive elektroenergetike.