

Energetska tranzicija Poljske

Štambuk, Marin

Graduate thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:148:630375>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-06**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Ekonomski fakultet
Specijalistički stručni studij Ekonomika energije i okoliša

Energetska tranzicija Poljske

Diplomski rad

Marin Štambuk

Zagreb, rujan 2024.

Sveučilište u Zagrebu

Ekonomski fakultet

Specijalistički stručni studij Ekonomika energije i okoliša

Energetska tranzicija Poljske

Energy transition of Poland

Diplomski rad

Student: Marin Štambuk, JMBAG: 0248071285

Mentor: prof. dr. sc. Tomislav Gelo

Zagreb, rujan 2024.

Marin Štambuk

Ime i prezime studenta/ice

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ diplomski rad _____

(vrsta rada)

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

Student/ica:



U Zagrebu, rujan 2024.

(potpis)

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Predmet i cilj rada	1
1.2. Istraživačke metode.....	1
1.3. Sadržaj i struktura rada.....	1
2. Energetska tranzicija	2
2.2. Utjecaj fosilnih goriva na klimatske promjene kao uzrok energetske tranzicije.....	14
2.3. Dekarbonizacija gospodarstva i zelena tranzicija	17
2.4. Elektrifikacija prometa kao dio energetske tranzicije	22
3. Energetsko tržište Poljske	30
3.1. Proizvodnja i potrošnja energije	31
3.2. Ponuda i potražnja za električnom energijom	39
3.3. Elektroenergetski sustav i njegova važnost.....	44
3.4. Emisije stakleničkih plinova	46
3.5. Bruto domaći proizvod i energetska intenzivnost	49
4. Determinante energetske tranzicije Poljske	52
4.1. Nacionalni energetski klimatski plan	52
4.2. Uloga obnovljivih izvora energije u energetskej tranziciji	54
4.3. Specifičnost energetske tranzicije s obzirom na nuklearnu energiju.....	57
5. ZAKLJUČAK.....	65
LITERATURA	68
POPIS SLIKA	75
POPIS GRAFIKONA	76

1. UVOD

1.1. Predmet i cilj rada

Predmet rada jest energetska tranzicija u Poljskoj, a cilj rada je na primjeru Poljske ukazati na pojam i važnost energetske tranzicije zemlje koja ima značajne kapacitete za proizvodnju električne energije iz fosilnih goriva, specifično ugljena. U radu su istaknuta uzroci i karakteristike tranzicije te je odrađena analiza njene provedbe u Poljskoj.

1.2. Istraživačke metode

U radu je korišteno sekundarno istraživanje koristeći stranu i domaću literaturu. Izvori podataka su prvenstveno znanstveni radovi i istraživanja mnogih stručnjaka u područjima energetike, kao i službeni dokumenti koji su objavljeni od strane Poljske, dok su svi kvantitativni podatci preuzeti iz službenih statističkih stranica.

Korištene su znanstvene metode deskripcije, analize, sinteze, komparacije i kompilacije koje su korištene za utvrđivanje i interpretaciju složenog pojma energetske tranzicije te cjelokupan proces iste u Poljskoj.

1.3. Sadržaj i struktura rada

Rad sadrži 5 glavnih poglavlja. U prvom poglavlju su predstavljeni predmet i cilj rada, izvori i metode prikupljanja podataka te sadržaj i struktura rada. U drugom poglavlju se razrađuje pojam energetske tranzicije, dekarbonizacija i utjecaj fosilnih goriva na gospodarstvo i elektrifikacija prometa. U trećem poglavlju ovog rada se nalaze kvantitativni podatci vezani uz energetske tržište, poput proizvodnje i potrošnje primarne, finalne i električne energije. U četvrtom poglavlju se nalaze determinante energetske tranzicije u Poljskoj, te je objašnjen nacionalni plan Poljske i uloga obnovljivih izvora i nuklearne energije u budućnosti tranzicije. U petom poglavlju nalazi zaključak rada. Na kraju rada se nalaze popisi grafikona, slika, literature te životopis.

2. Energetska tranzicija

Globalno zagrijavanje i povećanje temperaturnih amplituda traži globalni odgovor na klimatske promjene. Glavni cilj je kontrola i smanjenje emisije stakleničkih plinova. Mnoga su predložena rješenja koja će dovesti ili već dovode do postavljenog cilja. To su: povećanje produktivnost resursa, održivo gospodarenje resursima, resursno učinkovito gospodarstvo i društvo uopće, održivo gospodarenje otpadom, smanjenje degradacije okoliša i potrošnje resursa, zelena industrija, prijelaz iz linearnog u kružno gospodarstvo kao i druga rješenja. Jedno od rješenja koje se već primjenjuje je prijelaz s fosilnih na obnovljive izvore energije a odvija se kroz energetska tranziciju. Energetska tranzicija se općenito definira kao dugoročna strukturna promjena u energetske sustavima. Pretpostavke za energetska tranziciju u EU definirane su kroz zakonsko i organizacijsko uređivanje sustava. To je proces koji još uvijek traje s obzirom na kompleksnost odnosa u elektroenergetskom sustavu i zakonsko definiranje i uređivanje istih. Prije nekoliko desetljeća elektroenergetski sektor u EU je bio u vlasništvu i pod kontrolom država. Svaka je država imala jednu ili više vertikalno integriranih tvrtki koje su bile odgovorne za proizvodnju, prijenos, distribuciju i opskrbu električnom energijom.

EU zakonskim aktima (direktivama) 1996. godine počinje s procesom otvaranja tržišta električne energije konkurenciji. Direktiva se sastojala od zajedničkih pravila za unutarnje tržište električne energije (i prirodnog plina) EU. Proces se nastavlja novim direktivama 2003. i 2009. godine. Direktiva iz 2003. godine uvodi pravilo o razdvajanju tvrtki koje upravljaju mrežnim djelatnostima (prijenos i distribucija) od tvrtki koje obavljaju tržišne djelatnosti. Također se uvode uvjeti za prekogranično trgovanje električnom energijom (i prirodnim plinom). Direktivom iz 2009. godine se uvodi Agencija za suradnju energetske regulatora. Njen cilj je suradnja s nacionalnim regulatorima i rad na jedinstvenom energetske tržištu EU za električnu energiju i prirodni plin. Uvode se mrežna i tržišna pravila. Cilj direktiva je stvaranje konkurentnog jedinstvenog tržišta električne energije (i tržišta prirodnog) plina u EU. Daljnji razvoj tržišta nastavlja se 2016. godine donošenjem paketa različitih zakonskih rješenja (Čista energija za sve Europljane) kojim se dovršava uspostavljanje jedinstvenog tržišta te se stvara Energetska unija. Jedan od razloga što je EU među prvima započela energetska tranziciju su globalne promjene u proizvodnji i potražnji energije koje imaju značajan utjecaj na geopolitiku i industrijsku konkurentnost. EU želi pojačati

svoju ulogu globalnog lidera u energetske tranzicije ka čistoj energiji, istovremeno pružajući energetske sigurnost svim svojim građanima. Europa se kreće od energetskog sustava temeljenog na fosilnim gorivima na digitalni nisko-ugljični sustav u čijem središtu se nalazi potrošač. Energetski sektor je u prijelazu na fleksibilni i održivi energetski sustav temeljen na obnovljivim izvorima energije. U energetske tranzicije značajno se mijenja i uloga potrošača kojima se otvara mogućnost aktivnog sudjelovanja u proizvodnji i korištenju energije.¹

Pojam energetske tranzicije podrazumijeva znatnu strukturnu izmjenu u korištenju i opskrbljivanju energijom i načinu trošenja te energije u sustavu. Trenutno se odvija tranzicija s fosilnih izvora energije na održive s ciljem zaustavljanja zagađenja okoliša i danjih klimatskih promjena. Glavna misija je na brzi i održivi način reducirati štetno ispuštanje stakleničkih plinova iz fosilnih energenata, to se postiže postepenim odmicanjem od fosilnih goriva i izmjenama što veće količine procesa za operiranje s električnom energijom s puno manjim emisijama. Prijašnja tranzicija odvijala se tijekom industrijske revolucije od međutim radilo se o prijelazu s drva na novu vrstu goriva tj. ugljen, a uskoro nakon na korištenje nafte i zatim nakon toga na prirodni plin.²

Na globalnoj razini više od 75 % potreba za energijom ispunjeno je izgaranjem fosilnih energenata, i to sagorijevanje emisije CO₂ koji uzrokuju klimatske promjene. Veliki dio emitiranog CO₂ prouzročenog ljudskim djelovanjem dolazi iz generacije i potrošnje energije. Krajem prošlog desetljeća prijelaz na obnovljive oblike energije se potiče zbog naglog smanjenja troškova za energiju vjetrova i za solarnu energiju. Također bitan zadatak tranzicije je smanjenje efekta industrije na zdravlje ljudi i na okoliš, i to ne vrijedi jedino za klimatske promjene, nego i na štetan i toksičan utjecaj na ljude i u nekim slučajevima, smrt zbog od zagađenja zraka.

Toplinske pumpe su najučinkovitija tehnologija za grijanje zgrada. Da bi se nadogradila fleksibilnost električnih mreža, implementacija tehnologija skladištenja energije iznimne je bitnosti za osposobljavanje uporabe raznih varijabilnih tehnologija koje su ovisne u vremenskim promjenama. Doduše, subvencioniranje korištenja fosilnih goriva sprječavaju brži razvoj energetske tranzicije.³

Energetska tranzicija predstavlja postupak koji će preobratiti globalno gospodarstvo iz korištenja

¹ Gelo, T. (2024.) Energetska Tranzicija

² Davidsson, (2015.) Global energy transitions

³ Smil, V. (2023.) Energy Transitions

fosilnih goriva u čisto, zdravo i najbitnije održivo gospodarstvo. Kod određenih država, kao što je Poljska, tranzicija podrazumijeva prestanak uporabe ugljena i ostalih fosilnih goriva. Kako bi se to ostvarilo, vlade i politika država će trebati poticati razvoj novih tehnologija i generacije obnovljive energije. Da bi se globalne temperature ograničile na 1,5 °C, bit će potrebna značajna kapitalna ulaganja. Neophodno je zamijeniti infrastrukturu koja se temelji na fosilnim gorivima obnovljivim izvorima energije poput solarne i energije vjetra te uložiti u razvoj rješenja za sektore s visokim emisijama, kao što su proizvodnja čelika, cementa i zrakoplovstvo.

Procjene troškova zelene tranzicije do 2050. godine variraju od 100 do 300 bilijuna dolara, što je značajan iznos u usporedbi s trenutnim globalnim BDP-om od oko 100 bilijuna dolara godišnje. Iako je ostvarenje ovih investicijskih ciljeva izazovno, ono je moguće čak i uz McKinseyjevu procjenu godišnjih kapitalnih ulaganja od 9,2 bilijuna dolara. Svjetska ekonomija već godišnje ulaže oko 1,4 bilijuna dolara u čistu energiju i pripadajuću infrastrukturu, a očekuje se povećanje tih ulaganja na 2,5 bilijuna dolara godišnje. Međutim, to i dalje ostavlja godišnji investicijski jaz od oko 5,3 bilijuna dolara. Taj se jaz može smanjiti preusmjerenjem 3,7 bilijuna dolara, koji se trenutno ulažu u "smeđu" infrastrukturu (nafta, plin, proizvodnja cementa i čelika), u zelene tehnologije. Nakon toga, neto preostali investicijski jaz bio bi 1,6 bilijuna dolara godišnje, što predstavlja samo 2% globalnog BDP-a.

Većina ulaganja u zelenu tranziciju bit će potrebna u zemljama u razvoju i na tržištima u nastajanju, gdje emisije brzo rastu i nastaviti će rasti do sredine 2040-ih, nakon čega će se postupno smanjivati. Unatoč napretku u energetskej efikasnosti i većem korištenju obnovljivih izvora, brzi gospodarski rast, urbanizacija i industrijalizacija u tim regijama povećat će emisije. S obzirom na to da energija čini 75% globalnih emisija, a zemlje u razvoju čine najveći dio buduće potražnje za energijom, potrebna su značajna ulaganja kako bi se spriječio porast emisija koji razvijene zemlje ne bi mogle nadoknaditi dekarbonizacijom. Nažalost, većina razvijenih zemalja ne ispunjava svoje obveze u financiranju borbe protiv klimatskih promjena. Samo četiri zemlje ostvarile su svoj "pravedan udio" godišnjeg cilja od 100 milijardi dolara, dogovorenog u Parizu 2015. godine. Taj cilj nije postignut, a potrebna sredstva daleko premašuju ono što je trenutno osigurano za postizanje klimatskih ciljeva do 2050. godine. Kako bi se postigla pravedna tranzicija, zemlje u razvoju morat će biti uvjerene da zelena tranzicija neće nepravedno opteretiti njihova gospodarstva, posebno s obzirom na to da su emisije po glavi stanovnika u razvijenim zemljama i dalje znatno veće nego u ostatku svijeta. Ako se rast u zemljama u razvoju ne uspije odvojiti od aktivnosti s visokim

emisijama ugljika, emisije će nastaviti rasti.⁴

Sudjelovanje urbanih dijelova ključno je za postizanje klimatske neutralnosti. Više od 75 % stanovništva EU-a živi u urbanim područjima, a očekuje se da će ta brojka do 2050. porasti na gotovo 85 %. Zbog toga su gradovi odgovorni za većinu potražnje za energijom u EU-u, koja se najčešće proizvodi izvan njihovih granica, i odgovorni su za najviše razine emisija stakleničkih plinova. Istodobno, kao središta gospodarske aktivnosti, angažmana zajednice i inovacija, gradovi su u dobrom položaju da preuzmu vodeću ulogu u uvođenju rješenja koja su potrebna za energetske tranziciju i da upravljaju partnerstvima sa znanstvenim stručnim znanjem na terenu, dionicima iz cijelog energetskeg spektra, poduzećima i građanima kako bi se potaknule koordinirane mjere i promjene u ponašanju potrošača. Koristeći svoju fiskalnu i regulatornu moć na lokalnoj razini, gradovi mogu usmjeravati razvoj korištenja zemljišta i prostornog planiranja na način kojim se povećava energetska učinkovitost u svim urbanim sektorima, od održivog prometa do lokalne proizvodnje obnovljive energije. Također su izravno ovlašteni zakonodavstvom EU-a, kao što su nedavno revidirana Direktiva o energetskeim svojstvima zgrada i Direktiva o energetskejoj učinkovitosti, kojom se općinama od 45 000 stanovnika i više predviđa da izrade lokalne planove hlađenja i grijanja.⁵

Gradovi također mogu napraviti stvarnu razliku kao lokalni pružatelji usluga kada rade, održavaju ili donose strateške odluke o ulaganjima u imovinu u vlasništvu općine. Kao takve, imaju prednost u pogledu načina smanjenja emisija stakleničkih plinova koji proizlaze iz voznih parkova javnog prijevoza, gospodarenja otpadom i otpadnim vodama, sustava grijanja/hlađenja iz komunalnih zgrada fonda. Mogu uključiti nove prakse putem zelene i inovativne javne nabave, energetske pregleda ili javno-privatnih partnerstava. Gradske vlasti u dobrom su položaju za mobilizaciju relevantnih lokalnih industrijskih i gospodarskih aktera. Održivi energetske sustavi moraju se razviti u odgovarajućim razmjerima kako bi služili većem broju potrošača i zgrada na razini susjedstva ili okruga. Daljinsko upravljanje energijom ima važnu ulogu u stvaranju pametnih integriranih energetske sustava koji smanjuju potražnju za primarnom energijom. Okruzi predstavljaju pravu ljestvicu za inovacije i za uključivanje građana i preuzimanje izravne kontrole nad dijelovima lanca opskrbe energijom. Posebno bi mali i srednji gradovi mogli imati koristi od manje ograničenih mreža za distribuciju energije od većih aglomeracija kako bi se istaknuli u

⁴ Keller, C., O'Neal, M. (2023.) Costing the earth: What will it take to make the green transition work?

⁵ European Urban Initiative (b.d.), Energy Transition

takvim inovativnim i participativnim pristupima. Prijelaz na decentraliziranije i dinamičnije energetske sustave i tehnologije, zahtjeva sve više gradova i okolnih općina da zajedno planiraju kako će se potražnja za energijom razvijati i kako će se s vremenom zadovoljiti na određenom mjestu. Udruživanjem snaga pomaže se u postizanju kritične mase potrebne za određene vrste ulaganja, osiguravanju učinkovitije upotrebe resursa i ostvarivanju ekonomije razmjera, diversifikaciji izvora opskrbe i/ili boljoj integraciji u veće energetske mreže. Rad preko administrativnih granica i djelovanje na razini funkcionalnih urbanih područja također je vrlo važno za financiranje i postizanje čišće mobilnosti u zoni putovanja na posao i u međudjelovanju urbanih i ruralnih područja.⁶

Prema podacima Svjetske meteorološke organizacije Ujedinjenih naroda, 2023. godine globalna prosječna godišnja temperatura bila je gotovo 1,5 stupnjeva Celzija iznad predindustrijskih razina (točnije, $1,45 \pm 0,12$ °C). Ovo je dramatična brojka, jer Pariški sporazum o klimatskim promjenama iz 2015. ima za cilj ograničiti dugoročni porast temperature (tj. prosjek za desetljeće, a ne za jednu godinu kao što je 2023.) na najviše 1,5 stupnjeva Celzija. Osim što uzrokuje topljenje polarnih ledenih kapa i porast razine mora, globalno zatopljenje uzrokuje i druge vrste klimatskih promjena, poput dezertifikacije i povećanja ekstremnih vremenskih događaja kao što su uragani, poplave i požari: narušavanje klime riskira da izazove neprocjenjivu štetu. Znanstvena zajednica slaže se da je to zbog antropogenih emisija stakleničkih plinova u atmosferu, posebno od industrijske revolucije. Glavni takav plin, ugljični dioksid, uglavnom potječe iz energetskog sektora. U prosincu 2023. COP28 u Dubaiju zatvoren je izričitim sporazumom o okončanju upotrebe fosilnih goriva, ali nije postavljen precizni cilj za postupno ukidanje neobnovljivih izvora energije. Istodobno je priznao da zemlje svijeta još nisu na putu da ispune cilj ograničavanja porasta globalne temperature na unutar 1,5 °C. Na konferenciji COP28 stranke su pozvane da poduzmu mjere na globalnoj razini kako bi utrostručile kapacitete obnovljive energije i udvostručile napredak u energetskej učinkovitosti do 2030. Također ih je pozvao da predlože ambiciozne ciljeve smanjenja emisija koji obuhvaćaju sve stakleničke plinove, gospodarske sektore i kategorije. To je u skladu s ograničenjem od 1,5 °C u sljedećem krugu nacionalnih akcijskih planova za klimu za 2025.⁷

Cilj je do 2050. i dalje postići takozvanu ugljičnu neutralnost, drugim riječima, smanjiti i izbjeći emisije stakleničkih plinova kompenzacijom preostalih emisija korištenjem takozvanih ugljičnih

⁶ European Urban Initiative (b.d.), Energy Transition

⁷ Enel Green Power (b.d.), The energy transition

kredita. Da bi bilo moguće postići ovaj cilj, koji je sadržan na COP26 u Glasgowu, naš glavni alat je energetska tranzicija, odnosno prijelaz s energetskog miksa temeljenog na fosilnim gorivima na onaj koji proizvodi vrlo ograničene, ako ne i nulte, emisije ugljika, temeljene na obnovljivim izvorima energije. Ogroman doprinos dekarbonizaciji dolazi od elektrifikacije potrošnje, zamjene električne energije proizvedene iz fosilnih goriva energijom proizvedenom iz obnovljivih izvora, što također čini druge sektore poput prometa čišćima; Digitalizacija mreža također doprinosi poboljšanju energetske učinkovitosti.

Povijesno gledano, energetska tranzicija nije nova. U prošlosti su vidljivi veliki epohalni pomaci poput prijelaza s korištenja drva na korištenje ugljena u 19. stoljeću ili s ugljena na naftu u 20. stoljeću. Ali ono što razlikuje ovu tranziciju od prethodnika je hitnost zaštite planeta od najveće prijetnje s kojom se ikada morao suočiti, i to što je prije moguće. Taj je poticaj ubrzao promjene u energetskom sektoru: između 2010. i 2022. godine, prema podacima Irena, troškovi obnovljivih tehnologija smanjili su se za 83% u slučaju solarne fotonaponske energije i 42% u slučaju kopnene energije vjetra. Međutim, energetska tranzicija nije ograničena samo na postupno zatvaranje elektrana na ugljen i razvoj čistih energija: to je promjena paradigme koja se odnosi na cijeli sustav. Ovo rješenje može donijeti koristi ne samo za klimu, već i za gospodarstvo i društvo. Digitalizacija elektroenergetskih mreža može uvesti doba pametnih mreža i otvoriti put novim uslugama za potrošače. Iz ekološke perspektive, obnovljivi izvori i električna mobilnost smanjuju onečišćenje, dok se elektrane na ugljen mogu prenamijeniti u skladu s načelima kružnog gospodarstva. Što se tiče socijalne održivosti, nova radna mjesta mogu apsorbirati one ljude koji su prethodno radili u termoelektričnom sektoru. Važno je da energetska tranzicija bude uključiva i da nitko ne bude zapostavljen. Prednosti energetske tranzicije nisu ograničene samo na okoliš. Razvoj obnovljivih izvora energije i prenamjena starih elektrana pomažu gospodarstvu i stvaraju nova radna mjesta. Važno je, međutim, da nitko ne bude zapostavljen. ⁸

Energetska tranzicija ključna je za spašavanje planeta od učinaka klimatskih promjena. Ali svatko tko misli da će to samo koristiti okolišu, jako se vara. Naravno, obnovljivi izvori i elektrifikacija smanjuju zagađenje i poboljšavaju kvalitetu zraka, ali promjena paradigme uključena u energetska tranziciju također pruža veliku priliku za poticanje ekonomskog blagostanja, rasta zaposlenosti i društvenog razvoja uključenih zajednica. Razvoj obnovljivih tehnologija ide ruku pod ruku s

⁸ Enel Green Power (b.d.), The energy transition

otvaranjem potpuno novih zelenih radnih mjesta, dok razgradnja starih elektrana na ugljen može biti popraćena prekvalifikacijom tehničara i operativnog osoblja koji se zatim mogu ponovno zaposliti u drugim sektorima. Borba protiv energetske siromaštva u mnogim područjima planeta i ulaganja koja će pomoći u jamčenju pristupa čistoj energiji za sve još su jedna važna razvojna prilika za lokalne zajednice. Važno je da energetska tranzicija bude uključiva i da nikoga ne smije zapostaviti. Drugim riječima, to mora biti pravedna tranzicija.⁹

Kako sve više ulagača i tvrtki traži veću jasnoću i povjerenje u uzimanje u obzir dugoročnih klimatskih rizika i prilika, tvrtke se prilagođavaju energetske tranziciji. Prijelaz s neobnovljivih izvora energije poput nafte, prirodnog plina i ugljena na obnovljivu energiju omogućen je tehnološkim napretkom i društvenim pritiskom prema održivosti. Potaknuta strukturnim, trajnim promjenama u ponudi energije, potražnji i cijenama, energetska tranzicija također ima za cilj smanjiti emisije stakleničkih plinova povezane s energijom kroz različite oblike dekarbonizacije. Nakon godina ovisnosti o regulaciji za rast u sektoru, obnovljivi izvori energije postali su snažan i isplativ izvor električne energije. Troškovi sunca i vjetra toliko su drastično pali da je u nekim regijama SAD-a, kao i u Velikoj Britaniji i Europi, energija vjetra postala jeftinija od tradicionalnih izvora energije s visokim udjelom ugljika. Kako troškovi nastavljaju padati, a vjetar i sunce postaju mainstream, sektor obnovljive energije samo će rasti i učvršćivati se kao snažna prilika za ulaganje.

Međunarodna agencija za energiju predviđa da će se ukupni svjetski kapacitet energije temeljen na obnovljivim izvorima energije povećati za 50% između 2019. i 2024. godine. Kao odgovor na ovu promjenu, komunalna poduzeća započela su brzi energetske prijelaz s ugljena. Dok neki promatrači tržišta očekuju da će se taj prijelaz usporiti, raste pritisak na proizvođače električne energije da povuku postojeću imovinu koja ovisi o opskrbi ugljenom i izgrade druge oblike proizvodnje električne energije. Mnoge velike naftne kompanije ubrzavaju potrošnju i diversifikaciju na obnovljivu i niskougljičnu energiju kao odgovor na rastuću zabrinutost zbog klimatskih promjena. Kako se pokret nastavlja širiti, ESG rješenja S&P Globala pružaju holističku perspektivu energetske tranzicije. Iako će savezne subvencije za energiju vjetra i sunca isteći, potražnja za obnovljivom energijom, potaknuta prvenstveno kupnjom obnovljive energije velikih razmjera, vjerojatno će ostati visoka. Očekuje se da će tržište korporativnih obnovljivih izvora energije

⁹ Enel Green Power (b.d.), The energy transition

nastaviti rasti u 2019. nakon što je više nego udvostručilo prethodni vrhunac godišnjeg korporativnog kapaciteta obnovljivih izvora energije od 2015. godine. Potražnja je već osigurana inicijativama kao što su koalicija RE100, u okviru koje su se velike tvrtke obvezale da će 100% svoje energije nabavljati iz obnovljivih izvora, i Savez kupaca obnovljive energije, koji je pokrenulo više od 300 tvrtki, uključujući Facebook Inc., Google LLC, Walmart Inc. i General Motors Co. Proizvodnja energije iz obnovljivih izvora energije samo je dio energetske tranzicije. Masovno uvođenje električne transportne infrastrukture i skladištenja energije, zajedno s većom upotrebom tehnologija za poboljšanje energetske učinkovitosti, također pokreće ovaj pokret. Kako je prosječna cijena litij-ionskih baterija drastično pala zbog mješavine proizvodne ekonomije razmjera i tehnoloških poboljšanja, tvrtke i potrošači sve se više okreću elektrifikaciji za transport energije, čineći prijelaz na električna vozila (EV) jednim od najvećih potencijalnih područja za elektrifikaciju. Globalna stopa usvajanja električnih vozila mogla bi doseći 10%-12.5% do 2025. Još jedan središnji čimbenik za obnovljivu energiju i elektrifikaciju je skladištenje energije iz obnovljivih izvora, što bi moglo riješiti probleme proizvodnje s kojima se suočavaju mnoge tehnologije obnovljive energije. Iako se dugo smatralo karikom koja nedostaje između isprekidane obnovljive energije i stalne pouzdanosti, skladištenje energije počelo je igrati širu ulogu u energetskej tranziciji, s potencijalom da omogući konačnu dekarbonizaciju energetskih sustava. Kako troškovi padaju, skladištenje obnovljive energije ima potencijal za široku upotrebu izvan nišnih tržišta na kojima se trenutačno koristi. Neke komercijalne namjene za skladištenje energije već su ekonomičnije.¹⁰

Globalne regulatorne strukture u području energetske tranzicije bile su prilično neujednačene. U Europi su regulatori preuzeli vodeću ulogu u poticanju revizije kako postići ugljično neutralno gospodarstvo pokretanjem cilja EU-a o nultoj neto emisiji stakleničkih plinova do 2050. godine. Mnoge zemlje EU-a otvoreno su govorile o svojim prioritetima u području energije i elektrifikacije javnim postavljanjem povezanih ciljeva. Predvođena velikim dijelom Kinom, gospodarstva u nastajanju također pokušavaju odrediti kako povećati pristup energiji i održati razvoj, a istovremeno prelaziti na čišće izvore energije. U SAD-u raste politički zamah oko proizvodnje električne energije s nižim emisijama stakleničkih plinova i gospodarstva čiste energije. Zajedno,

¹⁰ S&P Global (b.d.), What is Energy Transition?

gotovo 200 zemalja obvezalo se na suzbijanje globalnog zatopljenja značajnim smanjenjem emisija stakleničkih plinova; Međutim, ispunjavanje tih obveza variralo. Regulacija i predanost neujednačeni su u cijelom globalnom gospodarstvu, a neke zemlje nastavljaju povećavati svoje emisije unatoč obećanjima o daljnjoj dekarbonizaciji.¹¹

U SAD-u je tržište nastavilo sazrijevati tijekom protekle godine, okupljajući se oko različitih aspekata ugovornih aranžmana CCUS-a (carbon capture, utilisation and storage), a emiteri i pružatelji usluga sekvenciranja postali su ugodniji sa svojim obvezama. Unatoč općem pomaku prema usklađivanju, fleksibilnost u pristupu i dalje je ključna za sofisticirane strane koje žele uravnotežiti dostupnu monetizaciju CCUS-a i povezane rizike i obveze. Vlada Ujedinjenog Kraljevstva najavila je potporu industriji CCUS-a u vrijednosti od 20 milijardi funti i donijela Zakon o energiji iz 2023. kako bi osigurala omogućujuće zakonodavstvo za nove modele CCUS-a. Identificirana su četiri klastera CCUS-a koji će krenuti naprijed od sada do 2030. godine: HyNet, Teesside, Humber i Acorn. Identificirani su preferirani projekti, poslovni modeli su unaprijeđeni, u tijeku su pregovori o konačnom obliku ugovora, a tržište predviđa pokretanje otvaranja duga od strane projekata prvih pokretača u nadolazećim mjesecima. Velika su očekivanja za nastavak opipljivog napretka na tržištu u 2024. Međutim, mnoge stvari moraju se kretati zajedno, a suradnja tržišta i vlade kritičnija je nego ikad.

Nasuprot tome, napredak Europe bio je odmjeraniji. Norveška i Nizozemska prednjačile su – a od tada su im se pridružile i druge europske zemlje; međutim, napredak je i dalje sporiji nego u SAD-u. To se može pripisati nizu čimbenika – manje predvidljivoj cijeni ugljika, različitim regulatornim pristupima obveznoj i dobrovoljnoj sekvenciranju, regulatornom iskustvu u nastajanju na nacionalnoj razini i razini Komisije EU-a, potrebi za sustavima otvorenog pristupa u skladu s pravom tržišnog natjecanja, nedostatku usklađenog tehničkog i komercijalnog okvira te stalnoj zabrinutosti u vezi s obvezama u sustavu trgovanja emisijama duž lanca vrijednosti. Oslanjanje na državne subvencije i subvencije EU-a dodatno otežava, posebno za transnacionalne projekte. Međutim, uz priznavanje uloge CCUS-a u ispunjavanju klimatskih ciljeva EU-a, projekti napreduju, financiranje postaje dostupno i pojavljuju se inovativna rješenja. Globalno, težnja prema CCUS-u nije motivirana samo potencijalom za porezne olakšice, subvencije i ekološke koristi za osnovne

¹¹ S&P Global (b.d.), What is Energy Transition?

proizvode, već i željom za povećanjem vrijednosti postojećih postrojenja, osiguranjem financiranja za novi razvoj i stvaranjem održivih goriva i materijala. Kako tržište ovih održivih proizvoda raste u tandemu s ponudom, potražnja za pružateljima CCUS-a i infrastrukturom spremna je za rast. Zamah se skuplja u azijsko-pacifičkoj regiji i trebao bi se dodatno pojačati u 2024., iako će aktivnost ostati raznolika na svim tržištima. Na razvijenijim tržištima kao što su Australija, Južna Koreja, Japan i Singapur, kreatori politika uvode kombinaciju mandata za miješanje, ciljeva i sponzorstava za pilot projekte, što je potaknulo regionalne kupce i proizvođače goriva da razmotre mogućnosti za razvoj zelenih goriva u regiji.¹²

Novi okvir EU-a ima obvezujuće ciljeve za zračne prijevoznike i dobavljače goriva – dobavljači zrakoplovnog goriva morat će miješati sve veće količine održivog zrakoplovnog goriva s e-kerozinom, počevši od minimalne mješavine od 2 % u 2025. do 70 % u 2050. Vlada Ujedinjenog Kraljevstva također je rekla da će implementirati model "sigurnosti prihoda" specifičan za SAF (sustainable aviation fuel) i ima planove za najmanje pet postrojenja koja će biti u izgradnji do 2025. i da će se najmanje 10% mlaznog goriva proizvoditi od SAF-a do 2030. godine. Ujedinjeno Kraljevstvo ima povijest u pružanju unovčivih modela potpore prihodima, koji su ciljani i imaju opipljiv učinak; na primjer, Ugovor za obnovljive izvore energije, pri čemu su slični modeli za proizvodnju vodika sada blizu uvođenja. Iako regija APAC-a blago zaostaje za Europom i SAD-om, potaknuta rascjepkanim regulatornim režimima i lokacijom postrojenja za proizvodnju SAF-ova, u Aziji se pušta u rad više postrojenja kako bi se azijskim zračnim prijevoznicima pomoglo u usvajanju zelenijih goriva. Japan je predvodnik u pogledu regulatornih zahtjeva, s ciljem da se do 2030. godine za japanske zračne prijevoznike i međunarodne letove u japanskim zračnim lukama upotrebljava 10 % SAF-ova. Na primjer, SAF-ovi mogu se izravno zamijeniti proizvodima koji se temelje na fosilnim gorivima bez potrebe za bilo kakvom promjenom infrastrukture srednjeg toka ili krajnjeg korisnika, a primjena bi mogla biti brza. Kad je riječ o biogorivima, dostupnost sirovina i ograničenja u opskrbi znatan su izazov za proizvodna postrojenja, posebno za one projekte koji traže financiranje dugom treće strane. Biogoriva mogu znatno smanjiti emisije CO₂ u usporedbi s ekvivalentima koji se temelje na fosilnim gorivima, ali popis dopuštenih sirovina ograničen je unutar EU-a zbog sigurnosti opskrbe hranom i održivosti. Ujedinjena Kraljevina ima koristi od svojih postojećih lanaca opskrbe otpadom u energiju i biomasu. Regija APAC ima značajan broj

¹² Clifford Chance (b.d.), Energy Transition Trends 2024

rafinerija i obilniju dostupnost potencijalnih sirovina; međutim, zabrinutost oko pouzdanosti standarda održivosti znači da uvoz sirovina ili goriva proizvedenih u Aziji može dovesti do povećanog nadzora. Očekivano povećanje potražnje za zelenim gorivima moglo bi dovesti i do ograničenja u lancu opskrbe opremom i tehnologijama sličnim onima u sektoru vodika kod dobavljača elektrolizatora. Rast u tom sektoru pružit će prilike ulagačima i bit će potrebna fleksibilnost kako bi se uzele u obzir različite metode proizvodnje: projekti biogoriva općenito su manji, pa je vjerojatnije da će transakcije spajanja i preuzimanja u tom sektoru biti strukturirane na temelju portfelja (ponekad uključuju i sredstva centraliziranoga grijanja ili grijanja u energiju povezana s postrojenjima za proizvodnju biogoriva); dok su postrojenja za SAF-ove i proizvodnja e-goriva obično veći, pa bi kapitalni troškovi mogli biti dovoljno značajni da opravdaju financiranje projekta na samostalnoj osnovi. Osim regulatornih zahtjeva, financijske strukture povezane s održivošću potiču usvajanje zelenijih goriva u pomorskoj i zrakoplovnoj industriji.¹³

Za sve ove projekte, bez obzira na tehnologiju, ključno je osigurati da postrojenje ima pristup obnovljivoj energiji kako bi zadovoljilo zahtjeve obnovljivih izvora nebiološkog izvora i/ili da gorivo ima potreban intenzitet ugljika. Što se tiče budućnosti, uključivanje proizvoda dobivenih iz vodika u mehanizam EU-a za graničnu prilagodbu emisija ugljika (CBAM) moglo bi utjecati na uvezene goriva, ali trenutačno postoji određena neizvjesnost o tome kako uzeti u obzir troškove ugrađenih emisija za takve proizvode, što bi moglo utjecati na odluke o ulaganjima. Više možete pročitati u našem brifingu: 10 pitanja o mehanizmu EU-a za ugljičnu prilagodbu na granicama. Očekuje se da će umjetna inteligencija i softver za strojno učenje imati sve veću ulogu u omogućavanju prelaska na energetske sustav u kojem prevladava ugljik pomažući u upravljanju proizvodnjom, distribucijom i potražnjom kako bi se održala stabilnost elektroenergetskog sustava. Istražuje se upotreba umjetne inteligencije u pametnim mrežama radi preciznijeg predviđanja potražnje i prilagodbi rasporeda proizvodnje u stvarnom vremenu, kao i pokretanja skladištenja viška energije za buduću upotrebu. Korištenje umjetne inteligencije i povezanih uređaja u upravljanju potražnjom također će biti područje kontinuiranog rasta. Takve digitalne transformacije mogu poduprijeti prijelaz na pojedinačne domaće i komercijalne kupce energije koji imaju veću ulogu. Na primjer, već je vidljivo da maloprodajni pružatelji energije upravljaju domaćim opterećenjima punjenja električnih vozila kako bi izbjegli razdoblja najveće potražnje korištenjem

¹³ Clifford Chance (b.d.), Energy Transition Trends 2024

tehnika prikupljanja podataka i fleksibilnih tarifa. U maloprodaji energije, prikupljanje, upotreba i dijeljenje osobnih podataka i drugih vrijednih skupova podataka iz pametnih brojila i kućanskih uređaja s omogućenim internetom stvari bit će ključno za uspješno iskorištavanje distribuiranih izvora energije. Snalaženje u zakonima o privatnosti i drugim zakonima o podacima (kao što je Akt EU-a o podacima) postat će značajno područje fokusa za postupke dubinske analize i analizu izravnih stranih ulaganja tijekom transakcija spajanja i preuzimanja te kao dio programa upravljanja i usklađenosti. S obzirom na sve veću decentralizaciju energetske sustava i broj međusobno povezanih sredstava, očekuje se da će se digitalni blizanci sve više koristiti i za modeliranje i praćenje utjecaja promjena sustava, čime će se informirati o političkim odlukama o strateškoj dekarbonizaciji energije. Digitalna tehnologija može imati ulogu i u omogućavanju nabave energije – na primjer, lanac blokova može se upotrebljavati za utvrđivanje podrijetla energetske resursa, među ostalim omogućavanjem označavanja vremena u stvarnom vremenu na mjestu proizvodnje energije kako bi se osigurala transparentnost podrijetla energije i (sve više) njezina "zelenost". Očekuje se da će se upotreba digitalne tehnologije za upravljanje rizicima "greenwashinga" povećati.¹⁴

Sve je veći međunarodni zamah iza širenja kapaciteta multilateralnih razvojnih banaka i pronalaznja načina za bolje iskorištavanje međunarodnih obveza. Sada postoji dobar broj primjera struktura koje se koriste kako bi pomogle vladama da stave sredstva na raspolaganje na različite načine kako bi privukle ulagače. Banke pružaju podređeni dug, jamstva, likvidnosne instrumente i djeluju kao temeljni ulagači kako bi potaknule privatni sektor. Međutim, mješovito financiranje borilo se za rast jer su projekti prilagođeni, a njihove su strukture često složene. Mješovito financiranje može potaknuti ulaganja privatnog sektora, ali potrebno je više. Na konferenciji COP28 najavljen je niz inicijativa, koje često kombiniraju javni i filantropski sektor. Više možete pročitati u našim brifinzima: COP28: Što to znači za tvrtke i Financiranje energetske tranzicije: Mobilizacija privatnog financiranja za neto nulu.

Inovativni pristupi kao što su transakcije "dug za prirodu" i "dug za klimu" pružaju priliku vladama domaćinima da podrže domaće klimatske inicijative uz istodobno smanjenje troškova servisiranja duga. Ove strukture su svestrane i mogu se primijeniti na različite ciljeve. Potrebno je više, a kako se sve više transakcija izvršava, izazov će biti standardizirati te strukture kako bi bile lakše

¹⁴ Clifford Chance (b.d.), Energy Transition Trends 2024

dostupne. Više možete pročitati u našem brifingu: Zamjene duga za prirodu: Nova generacija. Vlade i ulagači također koriste razvojne alate koji su uspješno primijenjeni u prošlosti za financiranje obnovljivih izvora energije i drugih kritičnih infrastrukturnih projekata za nove tehnologije i sektore. Međutim, ne postoji jedinstven pristup za uspješan projekt energetske tranzicije, a zamah koji se stvara iza projekata tragača visokog profila sve više izaziva strane u transakcijama da budu fleksibilnije u svom pristupu kako bi projekti prekoračili. To će pomoći u izgradnji presedana za dobro strukturirane projekte i rješenja te pružiti prilike ulagačima privatnog kapitala za stvaranje vrijednosti.¹⁵

2.2. Utjecaj fosilnih goriva na klimatske promjene kao uzrok energetske tranzicije

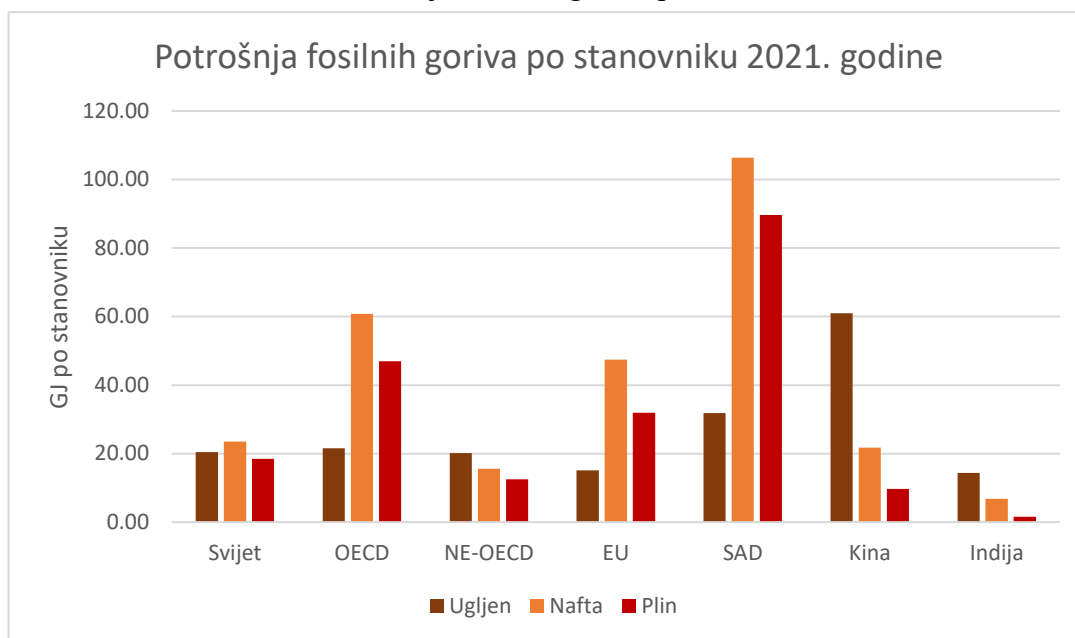
Naša globalna ovisnost o fosilnim gorivima je uzrok klimatske krize. Industrija fosilnih goriva najviše doprinosi emisijama stakleničkih plinova koji opasno zagrijavaju planet i pogoršavaju klimatsku krizu. Fosilna goriva poput ugljena, nafte i plina odgovorna su za više od 75% globalnih emisija stakleničkih plinova na globalnoj razini. Razine onečišćenja zraka alarmantno su visoke. 99% ljudi u svijetu sada udiše otrovni zrak, a zagađenje zraka sada je odgovorno za jednu od devet smrtnih slučajeva u svijetu. Zagađenje zraka uzrokuje 7 milijuna smrtnih slučajeva godišnje, pogoršava bolesti srca, moždani udar i kronične respiratorne probleme, utječe na rast i razvoj beba u maternici te povećava rizik od raka, dijabetesa, kognitivnih oštećenja i neuroloških bolesti.

Ekstremni vremenski događaji poput poplava, toplinskih valova i uragana povećavaju se u razmjerima, učestalosti i intenzitetu te uzrokuju ozljede, bolesti, smrt i raseljavanje. Prijenos bolesti hranom, vodom i vektorima, poput malarije, kolere, denga groznice i lajmske bolesti, u porastu je, a klimatska kriza utječe na to kako se patogeni razvijaju i putuju. Prehrambeni i vodni sustavi poremećeni su vrućinom i sušom, kao i poplavama i zagrijavanjem mora, što dovodi do pothranjenosti, nesigurnosti hrane i kontaminacije. Sve veći šumski požari uzrokuju akutnu izloženost onečišćenju zraka, što rezultira ozljedama i smrtnim slučajevima te uništava domove ljudi.¹⁶

¹⁵ Clifford Chance (b.d.), Energy Transition Trends 2024

¹⁶ Denchak, M. (2022.) Fossil Fuels: The Dirty Facts

Grafikon 1: Potrošnja fosilnih goriva po stanovniku 2021.



Izvor: izrada autora na temelju podataka (Gelo, T. (2024.) Energetska Tranzicija)

Grafikon prikazuje da SAD imaju najveću potrošnju nafte i plina po stanovniku, dvostruko veću od prosjeka EU. Kina troši najviše ugljena sa dvostruko većim iznosom od SAD-a, međutim u potrošnji nafte i plina je znatno manja od EU.

Poljska je drugi najveći proizvođač ugljena u Europi, iza Njemačke. U 2022. godini 42 % primarne potrošnje energije u zemlji bio je ugljen, a sva fosilna goriva zajedno činila su 87 %. Poljska ima relativno malu proizvodnju nafte i prirodnog plina, ali je zato velik neto uvoznik tih goriva, najviše iz Rusije. Zbog povijesno velike ovisnosti o ugljenu i snažnog industrijskog sektora, Poljska je u problematičnoj situaciji što se tiče prijelaza na obnovljive izvore energije.

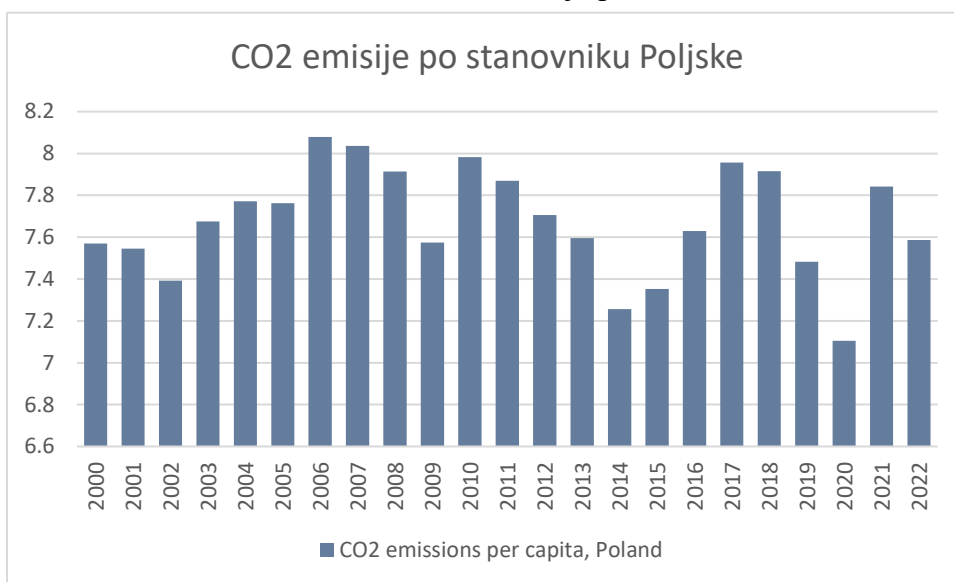
Godine 2022. Poljska je bila odgovorna za 19 % ukupne potrošnje lignita u EU, što ju je svrstalo na drugo mjesto iza Njemačke, s 45 %. U zadnjih nekoliko godina je vidljiv trend pada u svim državama.

Klimatske eksternalije:

Pri sagorijevanju fosilnih goriva, ona iz sebe emitiraju takozvane stakleničke plinove kao što su CO₂, ti plinovi zatim drže toplinsku energiju u atmosferi i uzrokuju klimatske promjene. U SAD-u 2019. emisija od fosilnih goriva imale su udio preko 75 %. Te negativne eksternalije dolaze u oblicima:

- Zakiseljavanje oceana: Ocean apsorbira najmanje četvrtinu ugljičnog dioksida koji se emitira iz fosilnih goriva, mijenjajući njegovu kemiju (pH). Povećana kiselost otežava morskim organizmima izgradnju školjki i kostura koralja.
- Porast razine mora: Oceansko i atmosfersko zagrijavanje zbog klimatskih promjena topi ledenjake i kopnene ledene ploče, što rezultira globalnim porastom razine mora. Razina mora porasla je oko 9 centimetara od kasnih 1800-tih, uzrokujući češće poplave, razorne olujne udare i prodor slane vode.¹⁷

Grafikon 2: CO2 emisije po osobi



Izvor: izrada autora na temelju podataka (IEA, Poland - energy mix)

Emisije po stanovniku su konstantne kroz promatrani period, dok su ostale zemlje EU smanjile svoje emisije, Poljska zbog dosadašnje spore energetske tranzicije i dalje ostaje blizu vrha zemalja EU.

Okolišne eksternalije:

¹⁷ Environmental and energy study institute, Fact Sheet | Climate, Environmental, and Health Impacts of Fossil Fuels (2021)

- Onečišćenje zraka: Fosilna goriva proizvode opasne onečišćujuće tvari u zraku, štetne za okoliš i ljudsko zdravlje. Također je moguće prouzročiti porast kiselim kišama, štetu biljkama i vegetaciji te flori i fauni tih staništa.¹⁸
- Zagađenje plastikom: Gotovo sva plastika na svijetu je napravljena od fosilnih goriva. U svijetu se godišnje proizvede više od 300 milijuna tona otpada od plastike, od kojeg skoro 15 nađe put do mora i oceana, što uzrokuje smrt mnogih životinja divlje životinje i izumiranje pojedinih vrsta.
- Zagađenje vode: Izljevi fosilnih goriva u pitku vodu dovodi do trajnog onečišćenja te vode. U prosjeku bušotine koriste između 2 i 15 milijuna litara vode tijekom svojih radnih procesa, dok otpadne vode nastale od toga postaju otrovne.
- Izlijevanje nafte: Vađenje fosilnih goriva, transport i rafiniranje mogu dovesti do izlijevanja nafte koja šteti zajednicama i divljim životinjama, uništava staništa, nagrizava obale i rezultira zatvaranjem plaža, parkova i ribarstva.

Onečišćeni zrak je sposoban uzrokovati razne zdravstvene probleme, kao što su razne vrste raka, astma i bolest srca. U SAD-u 350.000 prijevremenih smrti u 2018. pripisano je zagađenju povezanom s fosilnim gorivima.¹⁹

2.3. Dekarbonizacija gospodarstva i zelena tranzicija

Iako je krajnji cilj energetske tranzicije prijelaz na obnovljive izvore energije, prirodni plin će na tom putu igrati ključnu ulogu u stabilnosti mreže, dok će elektrifikacija potrošnje dovesti do dekarbonizacije. Energetska tranzicija na održiviju proizvodnju energije neće se dogoditi

¹⁸ Environmental and energy study institute, Fact Sheet | Climate, Environmental, and Health Impacts of Fossil Fuels (2021)

¹⁹ Environmental and energy study institute, Fact Sheet | Climate, Environmental, and Health Impacts of Fossil Fuels (2021)

jednostavnim napuštanjem fosilnih goriva odjednom. Proces eliminacije morat će se postupno i pažljivo provoditi kako bi se zajamčila stabilnost, otpornost i učinkovitost mreže. Ključ za postizanje ove promjene je elektrifikacija: postupna zamjena tehnologija koje koriste fosilna goriva tehnologijama koje koriste električnu energiju samo iz obnovljivih izvora u svim sektorima, od domaće kuhinje do grijanja i transporta. Time će se smanjiti i onečišćenje zraka u gradovima, a zahvaljujući digitalizaciji mreža energetska učinkovitost dramatično će se poboljšati. Prijelaz s fosilnih goriva na obnovljive izvore energije jedan je od temelja u borbi protiv klimatskih promjena i u tranziciji prema održivom svijetu. Međutim, to također uključuje promjenu paradigme s potpuno planiranog modela proizvodnje električne energije na scenarij koji je suštinski neplaniran. Ovo je putovanje koje uključuje tehničke i infrastrukturne izazove, dijelom i zato što se ne smije dopustiti da elektroenergetske mreže postanu nestabilne, ili da dođe do nestanka struje ili nestanka struje. Ako pokušamo zamisliti kako bi moglo izgledati upravljanje energijom budućnosti, brzo je vidljivo da je jedan bitan čimbenik fleksibilnost. Nagle promjene u ravnoteži između ponude i potražnje, preopterećene elektroenergetske mreže i neobične situacije već nas prisiljavaju da upravljamo energijom kroz postrojenja koja su sposobna predvidjeti i tolerirati kritične situacije, rješavati ih u stvarnom vremenu i zatim se vratiti u normalne uvjete.²⁰

Najveći izazov je pronaći način za upravljanje svakodnevnim razlikama između ponude i potražnje. Postoji neusklađenost između proizvodnje energije vjetra i fotonaponske energije i njihove potrošnje. To je dijelom predvidljivo, a dijelom zbog vremenskih i klimatskih uvjeta. Jedini odgovor je ići u dva glavna smjera. Prvo, potrebno je ojačati sustave za skladištenje energije kako bi se isporuka energije prilagodila potražnji. Drugo, u prijelaznoj fazi ugljen će se morati privremeno zamijeniti drugim izvorima koji manje zagađuju, ali još uvijek mogu jamčiti planiranu opskrbu električnom energijom. Prirodni plin nudi obećavajuću i učinkovitu alternativu te je izvrstan saveznik u trenutnoj energetskej tranziciji. Prirodni plin ima nekoliko prednosti u odnosu na ugljen. IEA je uspjela kvantificirati neke od njih, od kojih je prva i najvažnija poboljšana učinkovitost: tradicionalne elektrane na ugljen nude 40% učinkovitosti, dok elektrane na metan nude 50% učinkovitosti, brojka koja se može dodatno poboljšati na 60% korištenjem tehnologija nove generacije. Što se tiče emisija, za istu količinu proizvedene električne energije količina proizvedenog ugljičnog dioksida može se smanjiti i do polovice. Prijelaz s ugljena na plin nudi

²⁰ Enel Green Power (b.d.), Decarbonization

veću spretnost u smislu upotrebe poboljšanjem stabilnosti i otpornosti elektroenergetskih mreža. Gledajući srednjoročno, ako potrošnja energije postane sve isprekidanija, tada se prirodni plin čini najboljim mogućim rješenjem za praktične zahtjeve, barem dok se kombinacija obnovljivih izvora (za proizvodnju) i baterija (za skladištenje) ne razvije dovoljno da jamči optimalne razine performansi. Ostale prednosti plina uključuju mogućnost intenzivnih vrhunaca proizvodnje energije. Ovu posebnu značajku utjelovljuju takozvane vršne elektrane i jedna je od karakteristika zbog kojih će prirodni plin olakšati ulazak obnovljivih izvora energije na energetska tržišta. Njegova sposobnost da nadoknadi vršnu potražnju, zapravo, rješava glavni problem s vjetrom i suncem. To potvrđuju brojke objavljene u energetskom izvješću BloombergNEF-a za 2020., koje predviđa stalni godišnji rast od 0,6% u korištenju prirodnog plina sve do 2050. godine. Međutim, mnogo će ovisiti i o postignutim tehnološkim ciljevima. Međutim, najnovija klasa turbina zabilježila je skok proizvodnje energije s maksimalnih 50 megavata u minuti na 100.²¹

Zrak u Poljskoj je zagađen onim što se smatra 'prljavim' fosilnim gorivom. Program "Čisti zrak" ima za cilj eliminirati epizode smoga u Poljskoj. Ima proračun od 25 milijardi eura do 2030. godine, pri čemu dio tog novca dolazi iz EU. Uvest će strože standarde, ali će također više ulagati u obnovljive izvore, skladištenje energije i elektrifikaciju javnog prijevoza na lokalnoj razini.²² Dekarbonizacija poljskog gospodarstva zahtijeva sveobuhvatan pristup specifičan za sektor. Procjena rješenja, uzimajući u obzir lance opskrbe, kritične sirovine, dostupnost alternativnih opcija i geopolitičke pomake, ključna je za smanjenje ovisnosti. Za ostvarivanje dekarbonizacije bitno je primijeniti i usvojiti razne tehnologije koje pomažu u dostizanju tog cilja, kao što su elektrifikacija, hvatanje i skladištenje ugljika (CCS) i goriva s nultom stopom emisija ugljika kako bi se osigurala industrijska dekarbonizacija bez ugrožavanja konkurentnosti. S velikom potražnjom za elektrifikacijom i potrebom poljskog elektroenergetskog sustava da se prebaci s ugljena, koji trenutno čini 70 % mješavine snage, složenost tranzicije postaje sve izraženija. Za postizanje klimatske neutralnosti potrebno je usvajanje raznih tehnologija koje svojim alatima osiguravaju specifično dekarboniziranje individualnih sektora. Da bi tranzicija bila učinkovita, potrebno je dugotrajno i efikasno planiranje. Ključan dio tog planiranja je razvijanje strategije i planiranje energetske infrastrukture. Uključenost javnosti i učlanjivanje lokalnih zajednica u donošenje

²¹ Enel Green Power (b.d.), Decarbonization

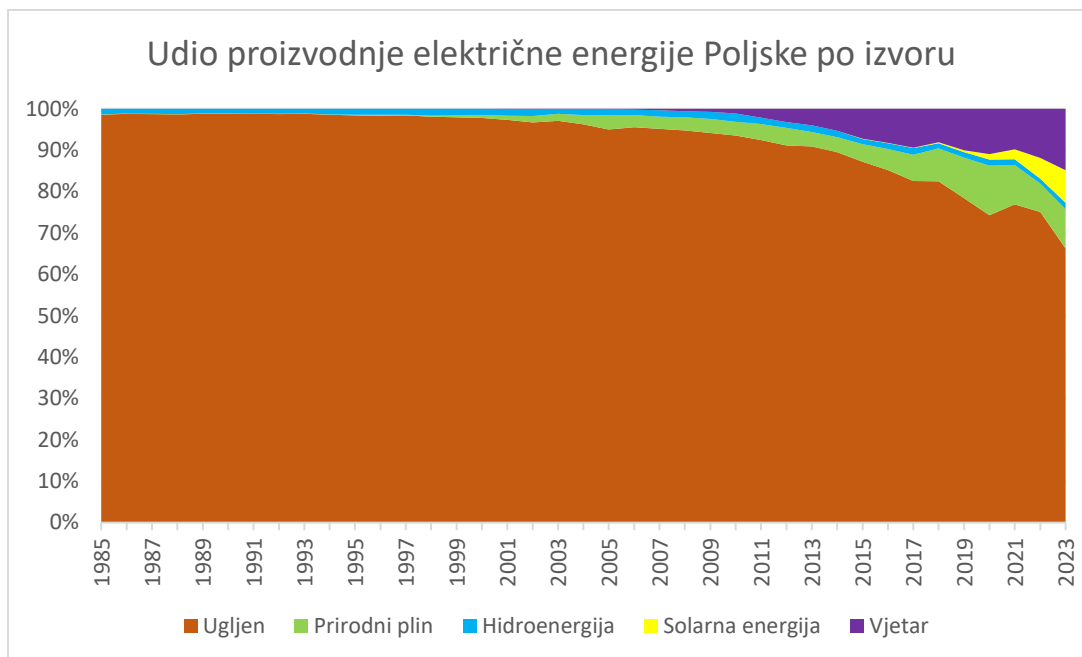
²² Canas, N. (2024.) Departing from coal: Poland's new energy roadmap

odluka je bitan korak u postizanju dekarbonizacije gospodarstva. Međunarodne i regionalne suradnje su bitni dijelovi problematike regionalnog razvoja.

Poljska se nalazi u ključnom trenutku transformacije svog energetskeg sektora, prelazeći sa sustava koji se oslanja na ugljen kako bi postigla ambiciozne ciljeve dekarbonizacije. Dugogodišnja dominaciju ugljena u poljskoj energetici stvara jedinstvene izazove dok zemlja nastoji ostvariti održivu i niskougljičnu budućnost. Kao industrijsko središte srednje i istočne Europe, Poljska je značajan proizvođač čelika, cementa, petrokemijskih proizvoda i gnojiva. Teška industrija također osigurava visoku zaposlenost i značajan doprinos bruto dodanoj vrijednosti. U EU-u je Poljska treći najveći onečišćivač nakon Njemačke i Italije po ukupnim godišnjim emisijama. Od 2020. poljske emisije CO₂ po glavi stanovnika bile su pete u Europi.²³ Čak i danas do 85 % energije Poljske potječe iz fosilnih goriva, što njezin energetskeg sektor čini jednim od najintenzivnijih emisija ugljika u Europi.

Grafikon 3: Udio generacije električne energije Poljske prema izvoru

²³ Global Energy Monitor, Poland and fossil gas



Izvor: izrada autora na temelju podataka (OurWorldInData)

Pad udjela ugljena u generaciji električne energije vidljiv je posebice posljednjih nekoliko godina, dok plin i ostali obnovljivi izvori kontinuirano rastu, a najviše solarna energija. Predviđa se da će solarna energija nastaviti trend naglog rasta. Prirodni plin ima veliki porast kroz posljednjim 20 godina međutim vjetar ga je prestigao i zauzima 2. mjesto u udjelu proizvodnje električne energije.

U razdoblju 2016. – 2021. Poljska je svjedočila iznimnom porastu kapaciteta fotonaponske energije²⁴, sa samo 0,2 GW na impresivnih 7,7 GW. U Poljskoj je 2022. prodano više od 203.000 toplinskih crpki svih vrsta, samo 33.000 manje nego u Njemačkoj, koja ima dvostruko veću populaciju. Poljska je na vrhuncu nekih ključnih odluka u vezi s razvojem nuklearne energije, projektima hvatanja i skladištenja ugljika te gospodarstvom čistog vodika. Iako je potrebno napomenuti da je poljski proboj solarne fotonaponske energije vrijedan pažnje, treba napomenuti da dosad stopa uvođenja obnovljivih izvora energije u zemlji, slično kao i druge zemlje u regiji²⁵, nije bila jednaka njezinim potrebama za dekarbonizacijom. Prekid opskrbe Rusijom imale su izravne posljedice na energetska sigurnost Poljske. U nastojanju da ojača energetska sigurnost, Poljska je počela istraživati razvoj nuklearne energije i putem konvencionalne nuklearne elektrane (NPP) i malih modularnih reaktora (SMR). Nekoliko zemalja u regiji već proizvodi znatan udio

²⁴ IEA, Poland 2022, Executive summary

²⁵ Czyzak, P., Popp, R. (2023.) Eastern EU countries will make or break the bloc's 2030 renewables goal

električne energije iz nuklearne energije: Bugarska (44 %), Češka (36 %), Mađarska (46 %), Rumunjska, (18 %), Slovačka (54 %) i Slovenija (37 %).

2.4. Elektrifikacija prometa kao dio energetske tranzicije

Uz vodik i solarnu energiju, električna vozila jedna su od ključnih tehnologija koja će potaknuti energetska tranziciju. Srećom, nakon sporog pokretanja, globalna prodaja električnih vozila (EV) se ubrzava. Mnoge vlade namjeravaju potaknuti prihvaćanje zakonodavstvom, međutim, ostaje za vidjeti mogu li se ostvariti ambiciozni ciljevi za prodaju električnih vozila.

Nošena izazovom dekarbonizacije koji većina vodećih nacija sada shvaća ozbiljno i podržana raznim politikama i poticajima, globalna prodaja električnih vozila nastavila se ubrzavati u 2023. Prema IEA-i, globalna prodaja električnih automobila dosegla je gotovo 14 milijuna, što predstavlja povećanje od 35% u odnosu na 2022. Električni automobili činili su oko 18% svih prodanih automobila u 2023., što je porast u odnosu na 14% u 2022. i samo 2% 5 godina ranije, u 2018. Ovi trendovi ukazuju na to da rast ostaje snažan kako tržišta električnih automobila sazrijevaju. Električni automobili na baterije činili su 70% zaliha električnih automobila u 2023.

Ovaj rast značio je da je globalna električna flota porasla na 40 milijuna u 2023. Samo u prvom tromjesečju ove godine prodaja je porasla za 25% u odnosu na isto razdoblje 2023. Predviđa se da će se do kraja 2024. biti 17 milijuna prodaje. Električni automobili do tada bi mogli činiti 20% ukupne prodaje automobila.²⁶Iako prodaja električnih automobila raste na globalnoj razini, ona je i dalje značajno koncentrirana na samo nekoliko velikih tržišta. U 2023. nešto manje od 60% registracija novih električnih automobila bilo je u Kini, nešto manje od 25% u Europi i 10% u Sjedinjenim Državama – što odgovara gotovo 95% globalne prodaje električnih automobila zajedno. U tim zemljama električni automobili čine veliki udio na lokalnim tržištima automobila: više od jedne od tri registracije novih automobila u Kini bilo je električno u 2023., više od jedne pete u Europi i jedna od deset u Sjedinjenim Državama. Međutim, prodaja je i dalje ograničena drugdje, čak i u zemljama s razvijenim tržištima automobila kao što su Japan i Indija. Kao rezultat koncentracije prodaje, globalne zalihe električnih automobila također su sve više koncentrirane. Ipak, Kina, Europa i Sjedinjene Države također predstavljaju oko dvije trećine ukupne prodaje i

²⁶ IEA, (2024.) Trends in electric cars

zaliha automobila, što znači da tranzicija električnih vozila na tim tržištima ima velike posljedice u smislu globalnih trendova.²⁷

Što se tiče dostupnosti EV modela, potrošačima je u 2023. bilo dostupno ukupno 590 modela električnih automobila. To je povećanje od 15% u odnosu na prethodnu godinu. Predviđa se da bi 1 000 modela trebalo biti dostupno 2028. godine. Norveška (95% svih prodanih automobila su električni), Švedska (60%) i Nizozemska (30%) i dalje su najveća europska tržišta. Većina punjenja i dalje se događa kod kuće ili na poslu, a broj privatnih punjača deset je puta veći od broja javnih. U Ujedinjenom Kraljevstvu možemo pronaći jedan od najvećih udjela pristupa kućnom punjenju, 97%. Što se više električnih vozila nalazi na cestama, to je potrebno više javnih mjesta za punjenje kako bi se podržala široka primjena električnih vozila, posebno u gušćim područjima gdje je pristup kućnom punjenju ograničeniji.

U Europi je broj registracija novih električnih automobila dosegao gotovo 3,2 milijuna u 2023., što je povećanje od gotovo 20% u odnosu na 2022. U Europskoj uniji prodaja je iznosila 2,4 milijuna, sa sličnim stopama rasta. Kao i u Kini, visoke stope prodaje električnih automobila zabilježene u Europi sugeriraju da rast ostaje snažan kako tržišta sazrijevaju, a nekoliko europskih zemalja postiglo je važne prekretnice u 2023. Njemačka je, na primjer, postala treća zemlja nakon Kine i Sjedinjenih Država koja je zabilježila pola milijuna novih registracija električnih automobila na baterije u jednoj godini, s 18% prodaje automobila na baterije. Međutim, postupno ukidanje nekoliko subvencija za kupnju u Njemačkoj usporilo je ukupni rast prodaje električnih vozila. Početkom 2023. PHEV subvencije su postupno ukinute, što je rezultiralo manjom prodajom PHEV-a u odnosu na 2022., a u prosincu 2023. sve subvencije za električna vozila završile su nakon odluke o Fondu za klimu i transformaciju. U Njemačkoj je udio prodaje električnih automobila pao s 30% u 2022. na 25% u 2023. To je utjecalo na ukupni udio prodaje električnih automobila u regiji. U ostatku Europe, međutim, prodaja električnih automobila i njihov udio u prodaji porasli su. Oko 25% svih automobila prodanih u Francuskoj i Ujedinjenom Kraljevstvu bilo je električno, 30% u Nizozemskoj i 60% u Švedskoj. U Norveškoj je udio prodaje blago porastao unatoč ukupnom smanjenju tržišta, a udio prodaje i dalje je najveći u Europi, s gotovo 95%. Prodaja električnih automobila ostala je snažna u prvom tromjesečju 2024., nadmašivši onu iz istog razdoblja 2023. za oko 25% i dosegnuvši više od 3 milijuna. Ta je stopa rasta bila slična povećanju zabilježenom za

²⁷ IEA, (2024.) Trends in electric cars

isto razdoblje 2023. u odnosu na 2022. Većina dodatne prodaje došla je iz Kine, koja je prodala oko pola milijuna električnih automobila više nego u istom razdoblju 2023. U relativnom smislu, najznačajniji rast zabilježen je izvan glavnih tržišta električnih vozila, gdje je prodaja porasla za više od 50%, što sugerira da se prijelaz na elektromobilnost ubrzava u sve većem broju zemalja diljem svijeta.²⁸

U 2023. zalihe javnih naplata porasle su za oko 40%. Brzi punjači, konkretno, činili su 35% zaliha javnih punjača do kraja godine i nadmašili su rast sporih punjača. I za sporo punjenje izmjeničnom strujom i za brzo punjenje istosmjernom strujom, Kina je dominirala tržištem 2023. Više od 85% svjetskih brzih punjača i 60% sporih punjača instalirano je u Kini tijekom godine. Tehnologija vehicle-to-grid (V2G) omogućuje prijenos električne energije pohranjene u baterijama električnih vozila natrag u mrežu na isti način na koji su stacionarna skladišta spojena na mrežu. V2G usluge već su komercijalno dostupne, a nekoliko proizvođača punjača može isporučiti V2G punjače. Predviđa se da će V2G tržište narasti na više od 5 milijardi eura do 2024. godine. . Povećanje registracija električnih automobila rezultiralo je povećanom proizvodnjom automobilskih litij-ionskih baterija. U 2023. potražnja za baterijama za električna vozila porasla je za 40% u odnosu na prethodnu godinu jer je prodaja električnih vozila nastavila rasti na svim tržištima, posebno u Europi i SAD-u. Povećanje potražnje za baterijama može se pripisati rastućoj prodaji baterijskih električnih vozila (BEV) i plug-in hibridnih električnih vozila (PHEV), za koja su potrebne baterije veće veličine za razliku od hibridnih električnih vozila (HEV).

Kina ostaje vodeća zemlja u proizvodnji baterija, posebno u proizvodnji baterija za teške uvjete rada. Oko 12% baterija proizvedenih u zemlji izvozi se. Međutim, Europa ne zaostaje. Prema BloombergNEF-u, udio Europe u globalnoj proizvodnji baterija mogao bi porasti na 31% do 2030. godine. 2023. je bila godina kada su cijene baterija za električna vozila pale. To je uglavnom uzrokovano padom cijena svih glavnih metala za baterije, poput kobalta, grafita i mangana. To je uzrokovalo pad cijene gotovih baterija od gotovo 14% u odnosu na 2022. Proizvodnja baterija i dalje je najjeftinija u Kini, a slijede je Sjeverna Amerika i Europa. Do 2040-ih električna vozila će dodati više od 30 TWh instaliranog kapaciteta za pohranu baterija. Za komunalna poduzeća to znači da električna vozila nude jeftino skladištenje energije, bez kapitalnih troškova i relativno niskih

²⁸ IEA, (2024.) Trends in electric cars

operativnih troškova.

To postaje posebno zanimljivo s rastom obnovljivih izvora energije jer njihova proizvodnja ima tendenciju fluktuacije. Ova se tehnologija naziva Vehicle-to-Grid i omogućuje povratak energije u električnu mrežu iz baterije električnog vozila. U 2023. upotreba električnih vozila uštedjela je više od 220 milijuna tona emisija stakleničkih plinova na globalnoj razini, u usporedbi s 80 milijuna u 2022. U praksi se emisije električnih vozila uglavnom rađaju zbog proizvodnog procesa, dok sličnu logiku ne možemo primijeniti na automobile s motorom s unutarnjim izgaranjem (ICE). Električno vozilo na baterije prodano 2023. proizvest će samo polovicu emisije koju bi tijekom svog životnog ciklusa proizvelo samo polovica emisija koje bi proizvelo vozilo s unutarnjim motorom s unutarnjim izgaranjem. Sa sigurnošću se može zaključiti da se javna rasprava o utjecaju električnih vozila i automobila s unutarnjim izgaranjem na okoliš okreće u korist električnih vozila. Scenarij NZE pretpostavlja da će se do 2050. postići nulta neto stopa emisija i da se porast globalne temperature može ograničiti na 1,5 °C. NZE predviđa da će globalne zalihe električnih vozila morati doseći 790 milijuna električnih vozila 2035. godine, a prodaja električnih vozila popeta se na 95% ukupne prodaje vozila u 2035. ako želimo postići neto nulu do 2050. godine.²⁹

Prijevoz omogućuje prosperitet i sredstva za život. U 2021. sektor je pridonio 7% (\$6,8 bilijuna) globalnom bruto domaćem proizvodu i zapošljavao 5,6% svjetske radne snage (193 milijuna ljudi). Međutim, prema trenutnim paradigmama, prometni sektor nije na putu da postigne svoje globalne ciljeve u području klime i održivosti. Naglašava se da su za postizanje dekarboniziranih i održivih putova hitno potrebne globalne transformacije u načinu na koji se ljudi i roba premještaju i kako se napajaju prometni sustavi. Potrebno je drastično smanjenje emisija i potražnje za energijom u kombinaciji s poboljšanim pristupom integriranim sustavima kopnenog prometa koji ne koriste fosilna goriva. Pravednijima, pristupačnijima, zdravijim, dekarboniziranim, održivijim i otpornijim kopnenim prometnim sustavima za ljude i robu pružit će se troškovno učinkovita i međusektorska rješenja na sjecištu pravednosti, gospodarskog razvoja, klimatske politike, zdravlja, energetske učinkovitosti i obnovljive energije.

Zbog gotovo potpune ovisnosti o fosilnim gorivima i sve veće potražnje za prijevozom, prometni sektor činio je 20,7% globalnih emisija CO₂ iz fosilnih goriva u 2022. Istodobno udio energije iz

²⁹ Virta (b.d.) The global electric vehicle market overview in 2024

obnovljivih izvora iznosi samo 4,1 % ukupne krajnje potražnje za energijom u prometu. Danas cestovni promet doprinosi više od tri četvrtine emisija CO₂ iz prometa. Promet i izgaranje fosilnih goriva u kopnenom prometu negativno utječu na kvalitetu zraka, izravno pridonoseći smrtnosti i bolestima. Prometne nesreće i dalje su vodeći uzrok smrti među osobama mlađim od 30 godina diljem svijeta, posebno u zemljama s niskim i srednjim dohotkom. Većina svjetskog stanovništva nema pristup pristupačnom, sigurnom i održivom kopnenom prijevozu, a predviđa se da će se potražnja za prijevozom ljudi i robe znatno povećati. To znači da će emisije, onečišćenje zraka i potražnja za energijom iz sektora kopnenog prometa i dalje rasti. Prometni sustavi i sredstva za život izloženi su sve većem riziku zbog sve češćih ekstremnih vremenskih uvjeta i porasta razine mora. Osim često velikih ljudskih žrtava, financijski gubici diljem svijeta od izravne štete na prometnim sredstvima su ogromni, a novčani učinci poremećaja u prometu daleko premašuju štetu na imovini.³⁰

Promet čini oko 30% globalne potrošnje energije, zbog čega je obnovljivi prijevoz ključan za održivu energetska budućnost, a električna vozila ključna su za oslobađanje sinergija između čistog prometa i niskouglične električne energije. Baš kao što se budući promet mora sve više elektrificirati, budući elektroenergetski sustavi moraju maksimalno iskoristiti promjenjive obnovljive izvore energije. Bioplin, kada je dovoljno pročišćen, može se koristiti umjesto plina iz fosilnih goriva za pogon vozila na prirodni plin (NGV) ili vozila s dvojnim gorivom. Prelaskom na bioplin kao gorivo za vozila mogu se smanjiti emisije stakleničkih plinova u prometnom sektoru između 60 % i 80 % u usporedbi s fosilnim gorivima kao što su benzin i dizel.

Međunarodni pomorski promet ključni je sektor globalnog gospodarstva, čak 90% svjetske trgovine obavlja se preko preookeanskih plovila. Ono čini 70% globalnih emisija energije u pomorskom prometu. Da je sektor međunarodnog brodarstva zemlja, bio bi šesti ili sedmi najveći emiter CO₂. Sektor je također jedan od najizazovnijih za dekarbonizaciju. Međutim, uz prave planove i dostatnu potporu, dekarbonizacija sektora međunarodnog pomorskog prometa održiva je. Strategija dekarbonizacije sektora mora uključivati kombinaciju energetske učinkovitosti i obnovljivih goriva.

Zrakoplovni sektor na globalnoj razini jedan je od najvećih emitera stakleničkih plinova s 2 %

³⁰ SLOCAT (b.d.) FossilFreeTransport

ukupnih globalnih emisija. Predviđa se da će se razina emisija udvostručiti do 2050. ako se poslovanje nastavi kao i obično. Kako bi se postigla rana smanjenja emisija tijekom 2020-ih i 2030-ih, te znatna smanjenja do 2050., bit će ključna upotreba održivih zrakoplovnih goriva.³¹ Promet uvelike doprinosi globalnom zatopljenju i čini oko 16 % globalnih emisija stakleničkih plinova u 2019. Na tri najveća svjetska tržišta automobila problem je gori: u Kini promet generira 25 % emisija, u Europi 27 %, a u SAD-u 29 %. Velik udio emisija stakleničkih plinova u prometu čini ga iznimno važnim segmentom za dekarbonizaciju. Ključni element energetske tranzicije bit će nagovaranje potrošača da se odmaknu od vozila s motorom s unutarnjim izgaranjem (ICE) i u električna vozila. Do četiri puta energetski učinkovitija od vozila ICE, EV-ovi su najbolji način za prebacivanje emisija s ispušnih cijevi. Za razliku od drugih tehnologija kao što je vodik, EV-ovi su već dokazani na terenu u razmjeru. U Kini su se proizvođači snašli u nestašicama oslanjajući se snažno na mala električna vozila kratkog dometa (BEV). U međuvremenu, europski proizvođači automobila usredotočili su se na plug-in hibride (PHEV) - automobile s benzinskim motorom i elektromotorom. Obje vrste vozila koriste bateriju od 10-12 kWh, u usporedbi s baterijskim paketima od oko 65 kWh u tipičnom BEV-u srednje veličine. Proizvođači automobila koji predstavljaju 80 % ukupne globalne prodaje automobila obećali su postati ugljično neutralni; kao što je već spomenuto, električna vozila nude najodrživiji i najučinkovitiji put prema tom cilju.³²

Najveća prednosti EV u usporedbi na tradicionalna vozila je što ne proizvode emisije za vrijeme vožnje. Također su više energetski učinkovita od ICE vozila, značeći da im je za isti rad potrebno manje energije. Taj porast u efikasnosti predstavlja manje troškove za korisnike je održavanje i gorivo jeftinije nego inače. EV posjeduju bitnu ulogu u energetskej tranziciji zato što također mogu biti korištena kao skladišta energije. To znači kada su povezana na mrežu, baterije vozila imaju sposobnost skladištiti višak energije iz koji dolazi iz obnovljivih izvora za vrijeme kada je potražnja niska. Tu istu energiju je onda moguće koristiti za napajanje stambenih prostora i poduzeća za vrijeme visoke potražnje. Taj proces, poznat kao tehnologija vozilo-mreža (V2G), pomaže uravnotežiti mrežu i smanjiti potrebu za infrastrukturom za pohranu energije. Električna vozila također mogu doprinijeti razvoju obnovljivih izvora energije. Korištenjem obnovljive energije za punjenje električnih vozila stvaramo tržište obnovljivih izvora energije. Ta povećana potražnja za

³¹ IRENA (b.d.) Transport

³² Mackenzie, W. (2021.) EVs: the biggest lever in driving the energy transition

obnovljivim izvorima energije potiče daljnja ulaganja u infrastrukturu za obnovljivu energiju i ubrzava prijelaz s fosilnih goriva.

Unatoč velikim prednostima, i dalje postoje prepreke širokom prisvajanju električnih vozila. Visoka početna cijena električnih vozila je jedna od najznačajnijih prepreka. Iako električna vozila postaju pristupačnija, i dalje zahtijevaju značajna početna ulaganja. Dostupnost infrastrukture za punjenje i zabrinjava mnoge potrošače, posebice one koji se nalaze u urbanim područjima. Sa sve većom globalnom potražnjom za održivim i ekološki prihvatljivim opcijama prijevoza, električna vozila nude obećavajuće rješenja. Manjak ovisnosti o fosilnim gorivima i promicanje uporabe obnovljivih izvora energije pomaže električnim vozilima da reduciraju emisije stakleničkih plinova i ublaže efekte klimatskih promjena. Infrastruktura punionica mora biti daleko poboljšana, zajedno sa smanjenjem troškova proizvodnje vozila i javnost se treba educirati i poboljšati svijest potrošača. S obzirom na danji tehnološki napredak i inovacije, održiviji prometni sustav ima veliki potencijal i ulogu u smanjenju našeg oslanjanja na fosilna goriva.³³

Broj EV u Poljskoj raste svake godine. Međutim, brojke su još uvijek vrlo niske u usporedbi sa zapadnom Europom. To poljsko tržište čini zanimljivim za proizvođače automobila, trgovce automobilima i investitore u infrastrukturu. Udio električnih automobila u Poljskoj je 0.25 %. Krajem veljače 2023. u Poljskoj je registriran ukupno 70263 osobnih i komercijalnih električnih automobila. Za prva dva mjeseca 2023. njihov se broj povećao za 5056 jedinica, odnosno 56 % više nego u istom razdoblju 2022. Za cijelu 2022. broj električnih automobila u Poljskoj povećao se za 26439, što je 33 % bolje od rezultata ostvarenog 2021.³⁴

Ciljevi EU-a u pogledu elektromobilnosti, a posebno zabrana prodaje novih benzinskih i dizelskih automobila od 2035. nadalje, snažan su poticaj brzim zelenim ulaganjima u Poljskoj. Važno je zapamtiti da elektromobilnost nije samo segment osobnih automobila, već i vozila kao što su: teška teretna vozila i dostavni kombiji, autobusi, avioni, željeznički prijevoz, terenski automobili, mopedi, bicikli, skuteri.³⁵

Planom razvoja punionica za automobile propisano je:

Broj punionica	Broj stanovnika	Broj motornih vozila	Broj motornih vozila na 1000 stanovnika
----------------	-----------------	----------------------	---

³³ Aeologic, Role of Electric Vehicle in the Energy Transition

³⁴ Polski Związek Przemysłu Motoryzacyjnego

³⁵ Polski Związek Przemysłu Motoryzacyjnego - Marzec 2023

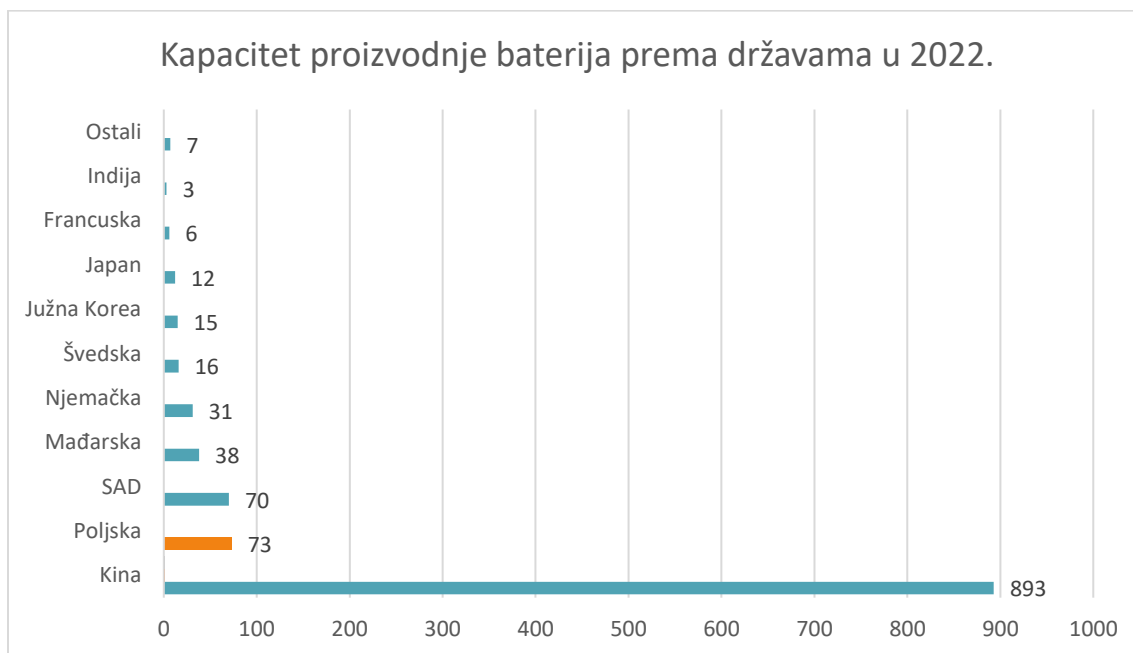
1000	1000000	600000	700
210	300000	200000	500
100	150000	95000	400
60	100000	60000	400

Izvor: AeoLogic, Role of Electric Vehicle in the Energy Transition

Novo projektirane javne zgrade i stambene zgrade opremljene unutarnjim i vanjskim parkirnim mjestima, također bi trebale imati priključnu snagu za punjenje električnih vozila kapaciteta ne manje od 3,7 kW.

Nestambene zgrade s više od 10 parkirnih mjesta projektiraju se i grade s najmanje jednim mjestom za punjenje na svakih 5 parkirnih mjesta. Stambene zgrade s više od 10 parkirnih mjesta projektiraju se tako da se na svakom parkirnom mjestu postavljaju mjesta za punjenje.³⁶

Grafikon 4: Kapacitet proizvodnje baterija prema državama u 2022.



Izvor: izrada autora na temelju publikacije (BloombergNEF)

Nakon niza ulaganja u proizvodnju litij-ionskih baterija, proizvodni kapacitet Poljske porastao je na 73 GWh 2022. godine, prestigavši SAD i postao drugi po veličini na svijetu, iza Kine. Poljska sada ima 6 % ukupnih svjetskih proizvodnih kapaciteta, u usporedbi s 14 % svih europskih zemalja

³⁶ Dudkowiak M. (2023.) Electric Vehicles Regulation in Poland

zajedno, Oni su daleko iza Kine, koja ima 77 % globalnih kapaciteta.³⁷ Poljska je trenutno dom najveće tvornice automobilskih baterija u Europi, koju je pokrenuo LG Energy Solution i najveće europske tvornica za sustave za pohranu energije, koju je pokrenuo švedski proizvođač baterija Northvolt u Gdanjsku. Neke od ostalih vodećih tvrtki u sektoru baterija koje ulažu u Poljsku su korejski SK Nexilis i njemački Mercedes-Benz. Poljska je ujedno i najveći europski izvoznik električnih autobusa.³⁸

3. Energetsko tržište Poljske

U ovom poglavlju bit će pojašnjena i grafički prikazana proizvodnja i potrošnja primarne i električne energije također s ostalim bitnim indikatorima energetskog tržišta Poljske.

Poljska	2023.
Populacija (milijuni)	39.1
BDP (milijarde dolara)	808.6
BDP po stanovniku	20681.2

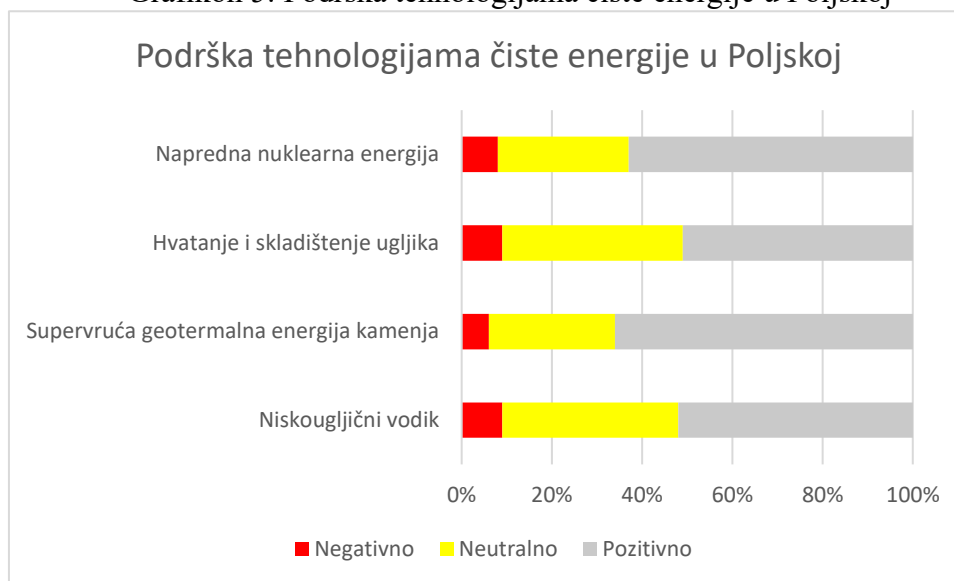
Hvatanje i skladištenje ugljika (Carbon Capture Storage) je tehnologija koju je potrebno što prije usvojiti ako Europa želi postići klimatsku neutralnost. CCS je rješenje kojim se mogu odstraniti emisije CO₂ iz procesa u kojima CO₂ proizvode fosilna goriva, biomasa ili sirovine. To podrazumijeva odvajanje CO₂ od ostalih plinova, zatim se CO₂ hvata, komprimira i transportira na geološka skladišta. Zatim se skladišti duboko pod zemljom u poroznim stijenkama, prekrivenim nepropusnom kapom koja učinkovito zarobljava CO₂ na mjestu, kada se skladišti u odgovarajućim geološkim formacijama, tamo se čuva trajno i ostaje zarobljen u podzemlju tisućljećima. U Poljskoj su industrijska postrojenja odgovorna za 42,56 milijuna tona emisija CO₂, što čini 14 % ukupnih emisija godišnje. U Poljskoj već postoje neki planirani projekti hvatanja i skladištenja cementnog ugljika koji se podupire iz Fonda EU-a za inovacije.³⁹

³⁷ Europe runs on Polish lithium-ion batteries, Polish Alternative Fuels Association

³⁸ Poland overtakes US to have world's second largest lithium-ion battery production capacity

³⁹ Lagurashvili, T. (2024.), A Vision for Poland's Clean Energy Transition

Grafikon 5: Podrška tehnologijama čiste energije u Poljskoj



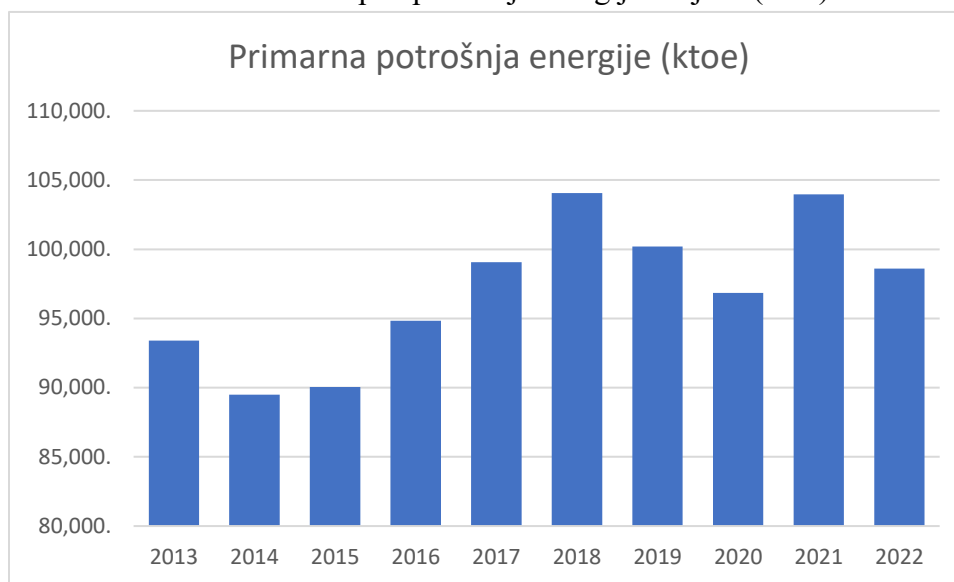
Izvor: izrada autora na temelju publikacije (Lagurashvili, T. (2024.), A Vision for Poland's Clean Energy Transition)

Grafikon prikazuje da stanovništvo Poljske podržava tehnologije čiste energije i da preferiraju nuklearnu tehnologiju unatoč puno pogrešnih javnih mišljenja i mitova o nesigurnosti nuklearne energije.

3.1. Proizvodnja i potrošnja energije

Ukupna potrošnja energije po stanovniku 2022. iznosila je 2,8 toe (Tonne of oil equivalent) (oko 6 % ispod prosjeka EU-a), uključujući oko 4 100 kWh električne energije (26 % ispod prosjeka EU-a). Ukupna potrošnja energije smanjila se za 4 % u 2022. na 104 Mtoe, nakon 6 % oporavka u 2021. Ukupna potrošnja energije smanjila se u prosjeku za 4 % godišnje u razdoblju od 2018. do 2020. Prethodno se povećala za 3,7 % godišnje u razdoblju od 2015. do 2018.

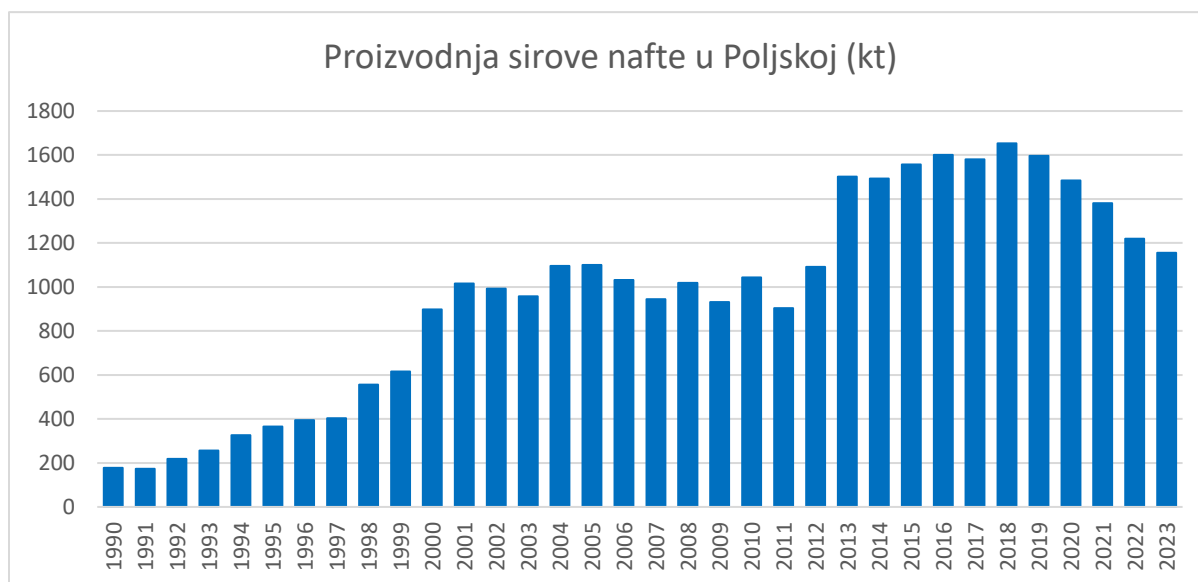
Grafikon 6: Ukupna potrošnja energije Poljske (ktoe)



Izvor: izrada autora na temelju podataka (Eurostat)

Grafikon prikazuje konstantnu razinu potrošnje energije s najvišim iznosom u 2021. i znatnim padom u 2022. Poljska proizvodnja nafte ograničena je (oko 4 % njezinih potreba s 1,2 Mt u 2022.). Poljska je 2022. uvezla 27,5 Mt sirove nafte (+ 12 % u odnosu na 2021.). Rusija je činila 43 % uvoza sirove nafte u 2022., što je smanjenje u odnosu na 63 % u 2021. Saudijska Arabija postala je drugi dobavljač nafte u 2022. godini (30 %), a slijedi Norveška, koja je više nego udvostručila svoj tržišni udio u 2022. s 5 % na 13 %.

Grafikon 7: Proizvodnja sirove nafte



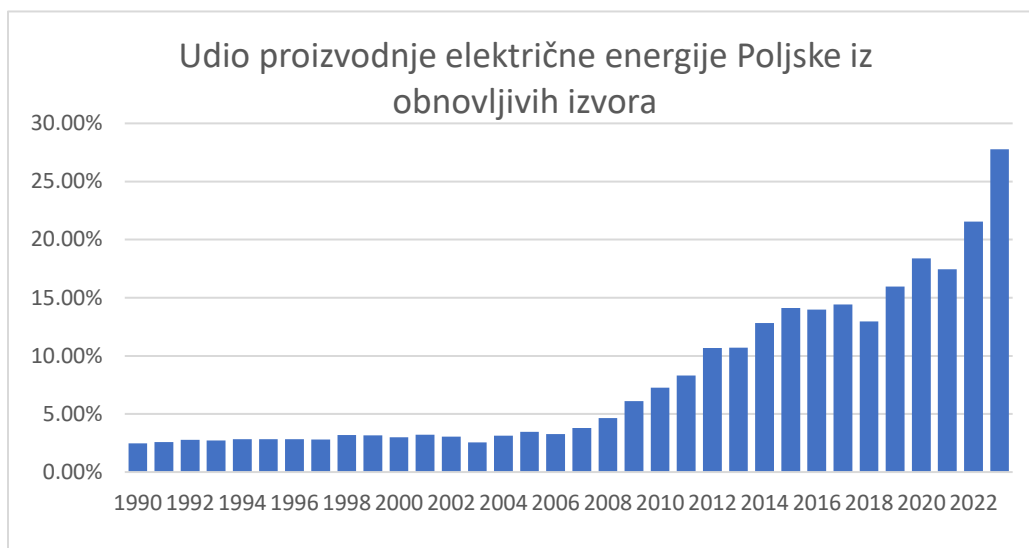
Izvor: izrada autora na temelju podataka (EnerData, Poland energy information)

Na grafikonu se vidi da je u razdoblje od 2013. do 2018. imalo najveće iznose proizvodnje, te nakon toga dolazi do pada s najmanjim iznosom u 2023. u zadnjih 10 godina. Potrošnja plina pala je za 14 % u 2022. na 19,7 bcm, zbog rasta cijena plina. U razdoblju 2014. – 2021. vrlo se brzo povećava (+3,5 % godišnje). Rast je u razdoblju od 2000. do 2014. u prosjeku iznosio 2 % godišnje.

Potrošnja ugljena i lignita smanjila se za 2 % u 2022. na 113 Mt nakon oporavka od 12 % u 2021. i pada od 8,5 % u 2020. Prethodno se potrošnja ugljena blago smanjila (-0,7 % godišnje u razdoblju 2000. – 2019.). Ugljen i lignit uglavnom troše elektrane (82 % u 2022.). Zgrade (stambene, uslužne i poljoprivrede) apsorbiraju oko 7 % potrošnje ugljena; Udio industrije je marginalan (5, 6 %).

Potrošnja električne energije smanjila se za 2 % u 2022. na 154 TWh, nakon 6 % oporavka u 2021. i blagog smanjenja u 2020. (-2 %). Prethodno je potrošnja električne energije porasla za 1,8 % godišnje u razdoblju od 2010. do 2019. U 2022. godini industrija troši 34 % električne energije u zemlji, a slijede usluge s 34 %, kućanstva s 20 % i prijevoz s 2 %.

Grafikon 8: Udio proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora



Izvor: izrada autora na temelju podataka (EnerData, Poland energy information)

Period od 1990. do 2008. je konstantan, međutim vidljiv je velik porast u zadnjem desetljeću, s daleko najvećim udjelom u 2023, otprilike dvostruko veći od 2018 te se očekuje nastavak rasta u budućnosti.

Cilj Europske direktive o obnovljivim izvorima energije za 2020. za 15 % udjela energije iz obnovljivih izvora u konačnoj potrošnji nije dosegnut (12,9 % u 2020.). U 2022. taj je udio dosegao 16,9 % (21 % za električnu energiju, 22,7 % za grijanje i 5,8 % u prometu). Poljska je 2021. proizvela 3,9 milijardi kubičnih metara fosilnog plina, što predstavlja 0,1 % globalne proizvodnje plina.⁴⁰ U 2019. godini poljski 3.43 Mtoe fosilnog plina predstavljao je približno 0.06 % od 59.67 Mtoe proizvedene energije u zemlji.⁴¹ Poljska proizvodnja fosilnog plina od 5,748 milijardi kubičnih metara u 2017. godini učinila ju je 49. najvećim proizvođačem na svijetu.⁴² Između 2009. i 2019. stopa rasta proizvodnje fosilnog plina u Poljskoj iznosila je -0,7 %. Poljska je krajem 2020. držala 2,6 bilijuna kubičnih metara dokazanih rezervi fosilnog plina. Poljska je 2021. potrošila 23,2 milijarde kubičnih metara fosilnog plina, devetog po veličini u Europi.⁴³ Poljska je 2019. izvezla 0,58 Mtoe fosilnog plina, zauzevši 8. mjesto u Europskoj uniji.⁴⁴

⁴⁰ BP Statistical Review of World Energy 2021

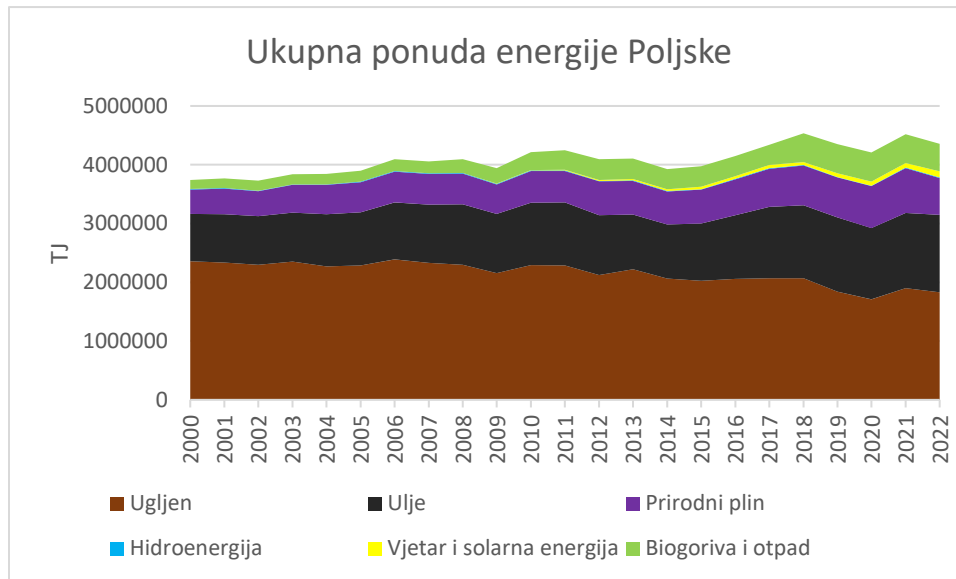
⁴¹ EC, EU energy in figures

⁴² CIA, Poland

⁴³ BP Statistical Review of world Energy 2021

⁴⁴ EC, EU energy in figures

Grafikon 9: Ukupna ponuda energije Poljske

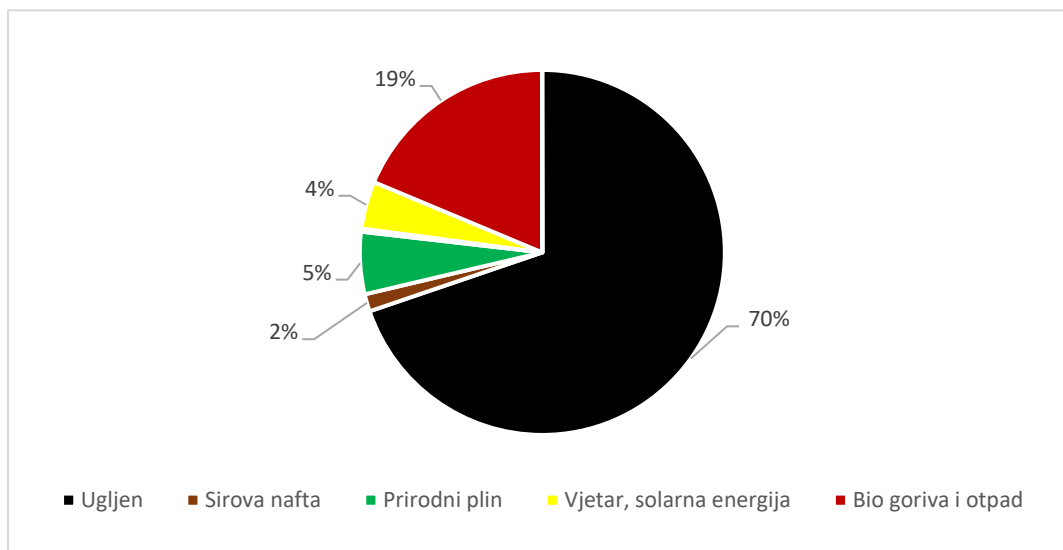


Izvor: izrada autora na temelju podataka (IEA, Energy mix)

Uključuje svu energiju proizvedenu u zemlji ili uvezenu u zemlju, umanjenu za onu koja se izvozi ili skladišti. Predstavlja svu energiju potrebnu za opskrbu krajnjih korisnika u zemlji. Neki od tih izvora energije koriste se izravno, dok se većina pretvara u goriva ili električnu energiju za krajnju potrošnju.⁴⁵ Grafikon prikazuje dominaciju ugljena u Poljskoj, zajedno sa blagim rastom prirodnog plina i još većim rastom obnovljivih izvora energije. Vjetar i solarna energija bilježe veliki rast u posljednjih nekoliko godina, ali i dalje predstavljaju mali udio ukupne ponude.

⁴⁵ Izvor: IEA, Energy mix

Grafikon 10: Domaća proizvodnja energije Poljske u 2022.

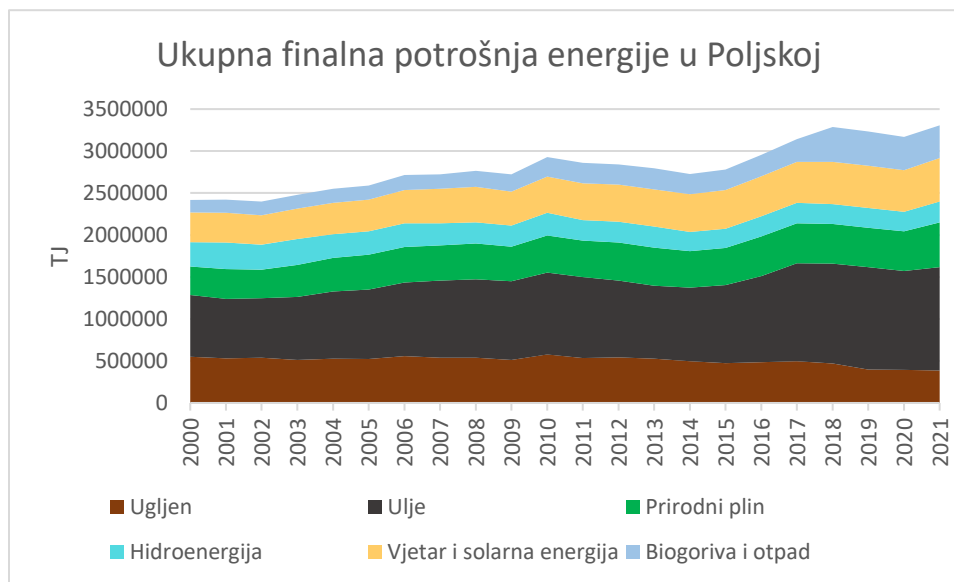


Izvor: izrada autora na temelju podataka (IEA, Energy mix)

Proizvodnja energije uključuje sva fosilna goriva koja se buše i kopaju, koja se mogu sagorjeti za proizvodnju električne energije ili koristiti kao gorivo, kao i energiju proizvedenu nuklearnom fisijom i obnovljive izvore energije kao što su hidro, vjetar i solarna fotonaponska energija. Bioenergija - koja ovdje uključuje i moderne i tradicionalne izvore, uključujući sagorijevanje komunalnog otpada - također je važan domaći izvor energije u mnogim zemljama.⁴⁶ Grafikon prikazuje ugljen na prvom mjestu u proizvodnji energije sa udjelom od skoro tri četvrtine, Obnovljivi izvori rastu velikom brzinom.

⁴⁶ Izvor: IEA, Energy mix

Grafikon 11: Ukupna konačna potrošnja energije Poljske

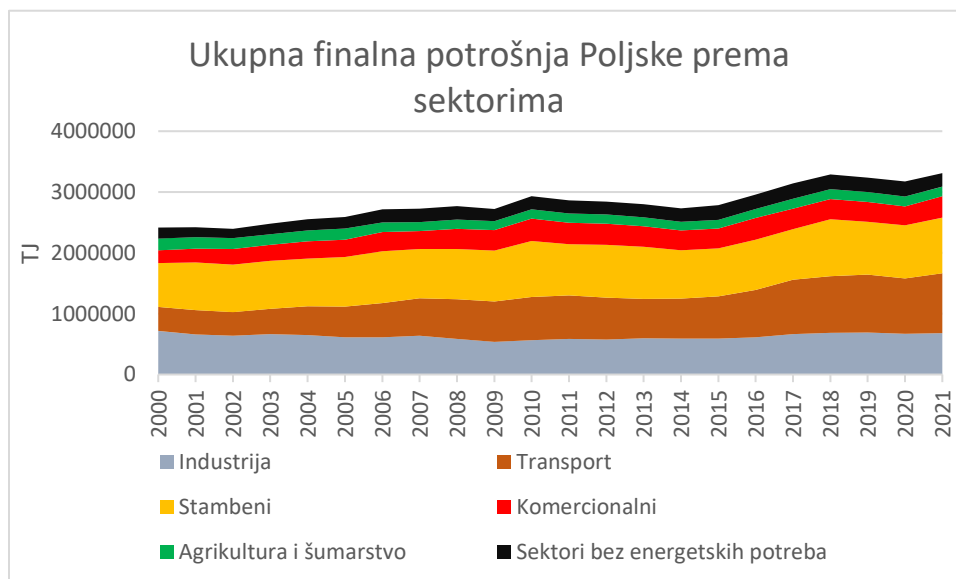


Izvor: izrada autora na temelju podataka (IEA, Energy mix)

Ukupna krajnja potrošnja je energija koju krajnji korisnici kao što su pojedinci i poduzeća troše za grijanje i hlađenje zgrada, za pokretanje svjetala, uređaja i uređaja te za pogon vozila, strojeva i tvornica. Uključuje i neenergetske uporabe energenata kao što su fosilna goriva koja se upotrebljavaju za proizvodnju kemikalija. Dio energije koja se nalazi u primarnim izvorima gubi se prilikom njihove pretvorbe u upotrebljive konačne proizvode, posebno električnu energiju. Kao rezultat toga, raščlamba krajnje potrošnje može izgledati vrlo različito od raščlambe opskrbe primarnom energijom. Oboje je potrebno za potpuno razumijevanje energetskog sustava.⁴⁷ Grafikon prikazuje pad potrošnje ugljena, međutim zbog porasta potrošnje ulja, fosilna goriva imaju otprilike jednaki udio u finalnoj potrošnji kao i prije 20 godina. Ukupna finalna potrošnja raste i u promatranom razdoblju najveća je u 2018. i 2011. godini.

⁴⁷ Izvor: IEA, Energy mix

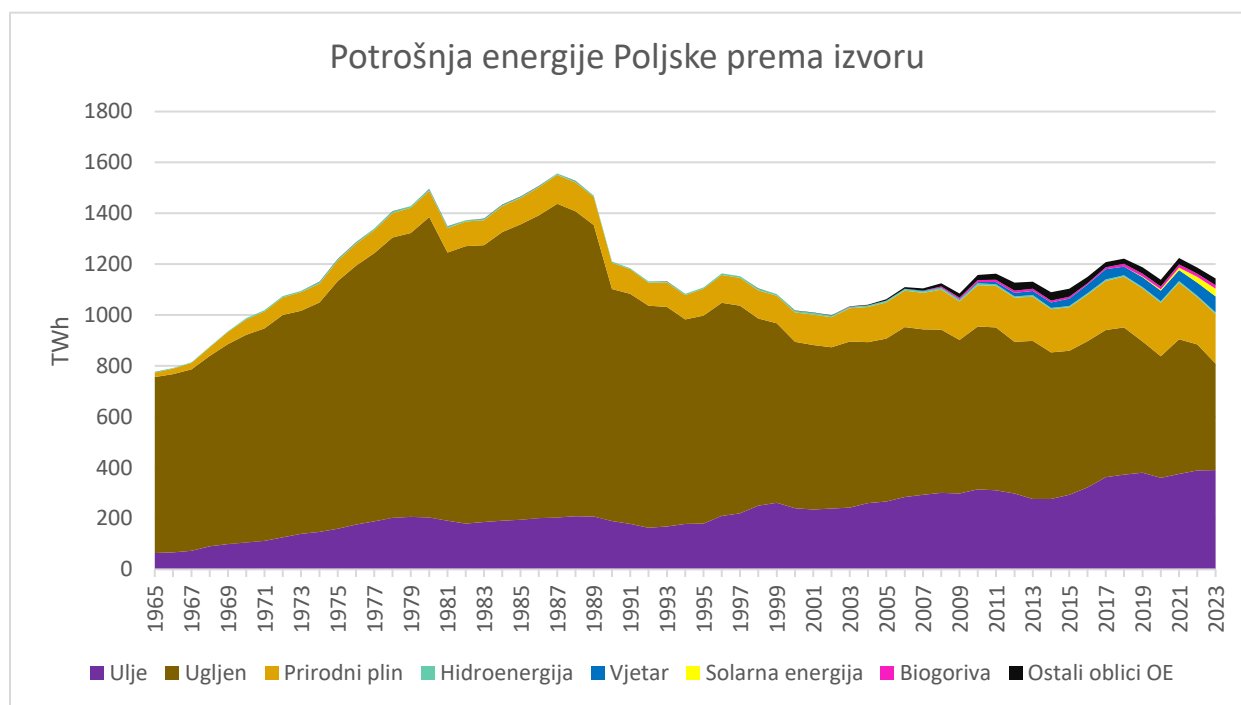
Grafikon 12: Ukupna konačna potrošnja Poljske prema sektorima



Izvor: izrada autora na temelju podataka (IEA, Energy mix)

Sektorska raspodjela potražnje za energijom u zemlji, koja se temelji na njezinom gospodarstvu, geografiji i povijesti, može uvelike utjecati na njezine energetske potrebe i izvore energije na koje se oslanja kako bi zadovoljila te potrebe – kao što su punjenje automobila, grijanje ili hlađenje domova ili vođenje tvornica. Industrija je 2000. bila izjednačena sa stambenom potrošnjom. Transport je zabilježio najveći rast i trenutno je sektor sa najvećom potrošnjom.

Grafikon 13: Potrošnja energije u Poljskoj prema izvoru



Izvor: izrada autora na temelju publikacije (Ritchie, H., Rosado, P., (2024.) Energy Mix)

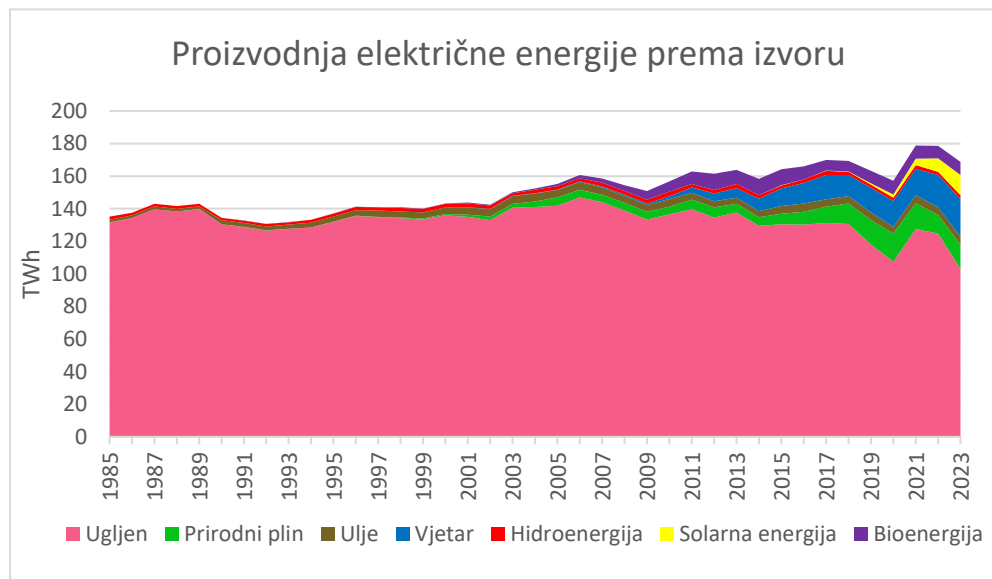
Grafikon prikazuje smanjenje udjela ugljena u potrošnji energije, i rast obnovljivih izvora energije u zadnjih nekoliko godina. Najveća ukupna potrošnja bila je u drugoj polovici 1980-ih, te je tada ugljen činio gotovo 80% potrošnje. Od 2000. dolazi do blagog rasta sa ponovnim padom zadnje dvije godine. Ugljen je pao na otprilike trećinu potrošnje, prirodni plin skupa sa obnovljivim izvorima koji su do prije 15 godina bili zanemarivi sada čine trećinu potrošnje, te porast ulja također čini trećinu.

3.2. Ponuda i potražnja za električnom energijom

2023. bila je prva godina u kojoj su obnovljivi izvori energije ovisni o vremenskim uvjetima osiguravali gotovo 25 % godišnje domaće proizvodnje električne energije u Poljskoj. Brzi rast obnovljivih izvora energije uzrokovan je povećanjem kapaciteta fotonaponske energije (s 1,5 GW u 2019. na 16,5 GW u 2023.), potaknut nacionalnim programom potpore fotonaponskoj energiji na krovu i većim fotonaponskim poljoprivrednim gospodarstvima u nastajanju. Još jedan doprinos

povećanju udjela OIE bio je rast kapaciteta vjetra (s 5,9 GW u 2019. na 9,9 GW u 2023.)⁴⁸ Nakon rasta 2015. – 2018. potrošnja električne energije u Poljskoj ostala je prilično stabilna, uglavnom potaknuta poboljšanjima energetske učinkovitosti zemlje, pandemijom bolesti COVID-19 i kasnijim razdobljem oporavka. Rastuća energetska učinkovitost u Poljskoj dovodi do manje potrebe za energijom po jedinici BDP-a. Pojava uočena i u drugim razvijenim zemljama EU-a.

Grafikon 14: Proizvodnja električne energije prema izvoru



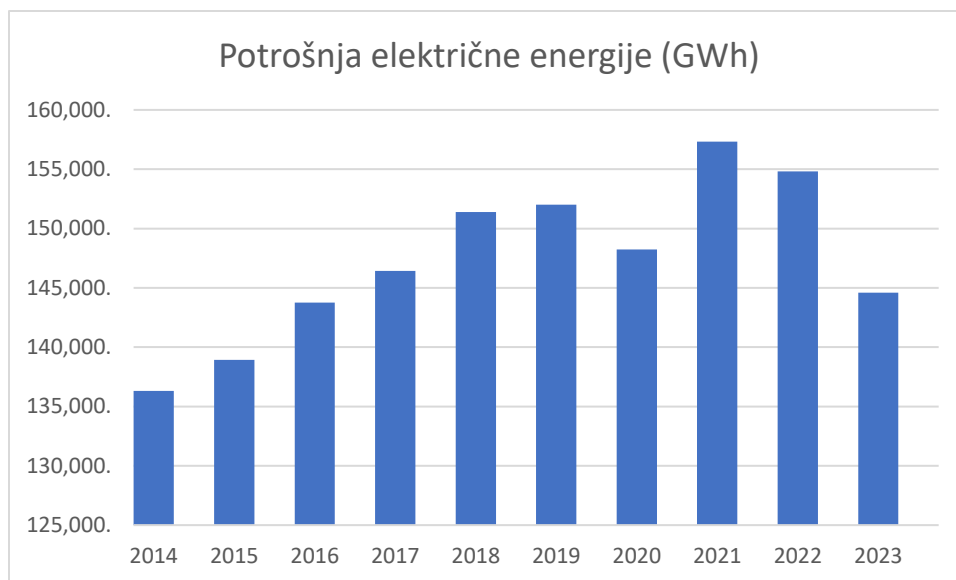
Izvor: izrada autora na temelju publikacije (Ritchie, H., Rosado, P., (2024.) Electricity Mix)

Grafikon prikazuje dominaciju ugljena u proizvodnji električne energije, međutim dolazi do pada udjela ugljena i rasta udjela obnovljivih izvora energije. Udio ugljena je svake godine sve manji te je u bruto proizvodnji električne energije u 2023 je bio 60,5 % (9,9 % manje nego 2022.). Proizvodnja iz OIE iznosila je 27,1 %, 6,2 % više nego 2022. godine. Rekordnih 45,2 TWh iz obnovljivih izvora energije učinilo ih je drugim po veličini proizvođač električne energije 2023. godine, pretekavši lignit. To je bilo moguće djelomično zahvaljujući smanjenoj potražnji za električnom energijom (pad od 4,3 % godišnje). Prvi put je proizvodnja iz vjetra premašila 20 TWh, dosegnuvši 23,2 TWh (14 %). Proizvodnja električne energije iz prirodnog plina dosegla je najvišu razinu do sada, 16,5 TWh (9,9 % proizvodnje električne energije).⁴⁹

⁴⁸ Little, A. (2024.) Poland Energy Review 2024

⁴⁹ Dusiło, M. (2024.) Energy Transition in Poland

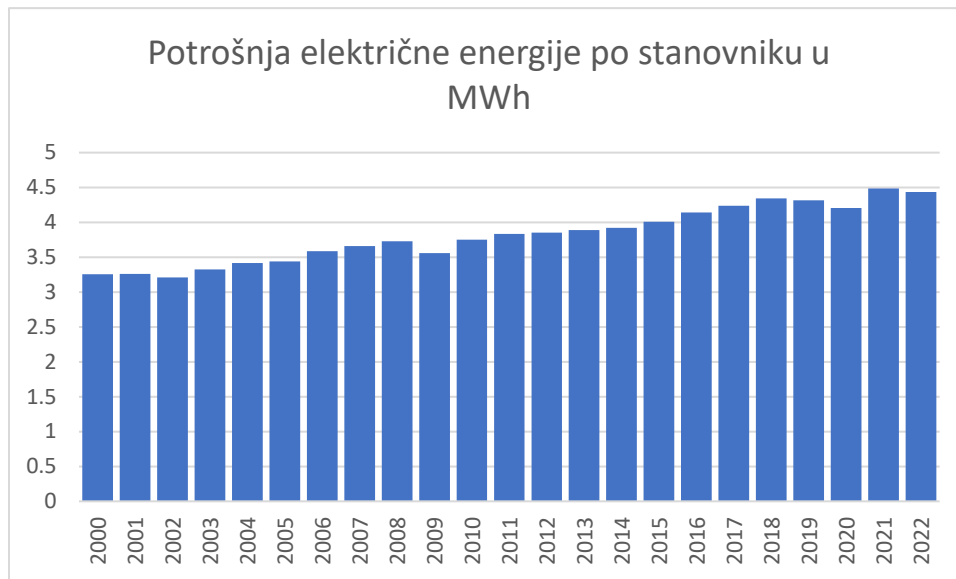
Grafikon 15: Neto potrošnja električne energije



Izvor: izrada autora na temelju podataka (Eurostat)

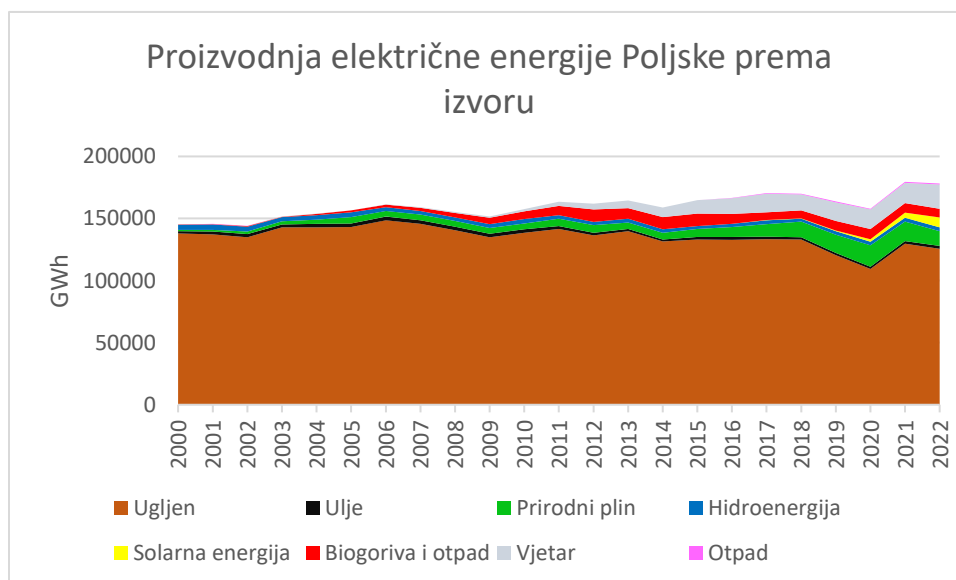
Grafikon prikazuje porast potrošnje u promatranome razdoblju s najvišim iznosima u 2021. i 2022. U 2020. je vidljiv pad a 2023. ima najmanju potrošnju sve od 2017.

Grafikon 16: Neto potrošnja električne energije po stanovniku



Grafikon prikazuje blagi porast potrošnje u promatranome razdoblju s najvišim iznosima u 2021. i 2022 nakon što je 2020. imala nižu potrošnju od prethodne 3 godine.

Grafikon 17: Proizvodnja električne energije u Poljskoj



Izvor: izrada autora na temelju podataka (IEA, Energy mix)

70,7 % bio je udio ugljena u bruto proizvodnji električne energije u 2022. Po prvi put proizvodnja iz OIE premašila je 20 % mješavine i iznosila je 20,6 %, zahvaljujući rekordnoj proizvodnji od 36,8 TWh i smanjena potražnja za električnom energijom. Proizvodnja prirodnog plina dosegla je najnižu razinu od 2017. godine, zbog rekordno visokih cijena plina na svjetskim burzama. Proizvodnja fotonaponskih sustava udvostručila se u odnosu na 2021. godinu, na 8,0 TWh. Uspoređujući grafikon iz 2023. s prethodnom godinom, vidljivo je da je udio manji 10 %. Vjetar se povećao za 3 %, solarna energija također, te se skoro udvostručila. Udio prirodnog plina i ulja je narastao za 2 %.

Od 2020. instalirani kapacitet Poljske iznosio je 49.238 GW, a 2.78 GW (5.65 %) dolazilo je iz elektrana na plin.⁵⁰ U usporedbi s 2019., ukupni instalirani kapacitet nacionalnog elektroenergetskog sustava porastao je za 5,2 %⁵¹ Instalirani kapacitet plinskih elektrana porastao je za 19,7 % (458 MW) u razdoblju od 2018. do 2019. godine.⁵² U 2016. godini instalirani kapacitet Poljske iznosio je 38,11 GW, što ga svrstava na 28. mjesto u svijetu.⁵³ 79 % tog kapaciteta dolazilo je iz fosilnih goriva, 2 % iz hidroelektrana i 19 % iz drugih obnovljivih izvora. Elektrana Plock, kapaciteta 630 MW od 2021. godine, najveća je operativna elektrana na plin u Poljskoj. Poljska je 2020. potrošila 162,25 TWh električne energije, što je 30 % više nego 1990.⁵⁴ Poljska je 2016. potrošila 149 TWh električne energije, 24. na svijetu.⁵⁵ Poljska je 2020. potrošila 106,0 GJ po stanovniku.⁵⁶

Poljska je 2020. proizvela 157 TWh električne energije, a 10,63 % iz fosilnog plina nabavljala je. Većina (69,30 %) energije proizvedene u Poljskoj došla je iz ugljena. Vjetar je činio 10,00 %, biogoriva - 5,14 %. Hidro, solarni, otpadni i drugi izvori činili su 3,75 %. Sa 156,9 TWh proizvedene električne energije, Poljska je 2019. zauzela 25. mjesto na svijetu. Poljska je 2020. proizvela 16,7 TWh električne energije korištenjem fosilnog plina, što je 1,9 TWh više nego 2019.

⁵⁰ Polskie Sieci Elektroenergetyczne, (2022.) Integrated Impact Report

⁵¹ National Report of the President of Energy Regulatory Office 2021

⁵² Energy Regulatory Office

⁵³ CIA, Poland

⁵⁴ IEA, Data and Statistics

⁵⁵ CIA, Poland

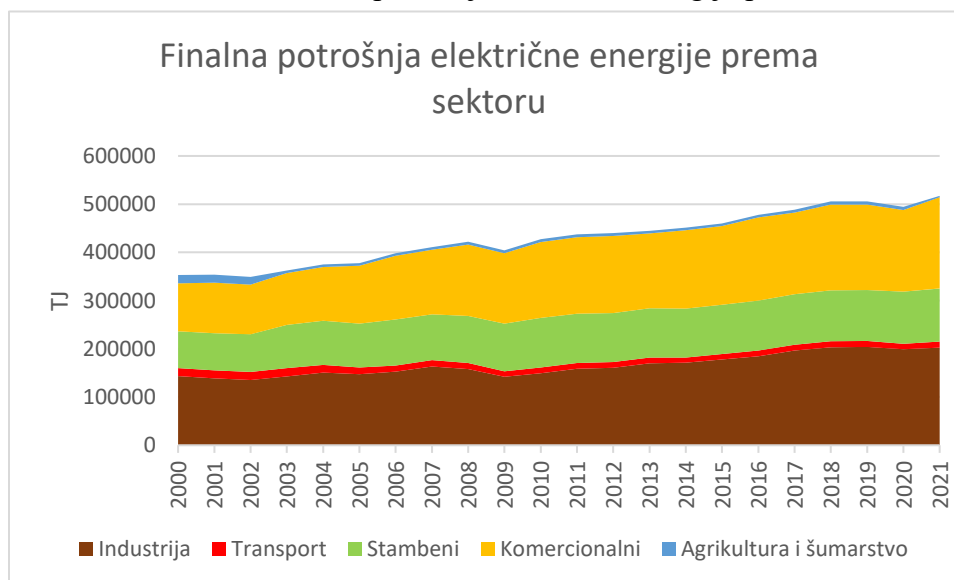
⁵⁶ BP Statistical Review of world Energy 2021

3.3. Elektroenergetski sustav i njegova važnost

Zastarjele elektroenergetske mreže kočje uvođenje obnovljive energije iz Poljske, više od trećine nadzemnih vodova starije je od 40 godina, dok je trećina elektrana izgrađena prije 1982. godine.

Krajem kolovoza 2022. instalirani fotonaponski kapacitet dosegao je 11 GW (povećanje od više od 84 % u odnosu na isto razdoblje prošle godine). Očekuje se da će do 2030. proizvodnja solarne energije porasti za 20 GW u novim solarnim izvorima s proizvodnim potencijalom od 21 TWh godišnje i preko 14 GW u novim kopnenim vjetroelektranama s proizvodnim potencijalom od 37 TWh godišnje. Očekuje se da će se do tada više od 2 milijuna novih kupaca spojiti na mrežu. To će zahtijevati preustroj zastarjele energetske infrastrukture. Podaci jasno pokazuju da širenje i modernizacija mreže nisu u skladu s rastućom potražnjom za obnovljivom energijom u Poljskoj.

Grafikon 18: Finalna potrošnja električne energije po sektoru



Izvor: izrada autora na temelju podataka (IEA, Electricity)

Grafikon prikazuje da je 2021. skoro 80 % potrošnje električne energije u sektoru industrije i usluga, nakon čega slijede kućanstva sa 21 %. Ukupna potrošnja raste dok svi sektori zadržavaju otprilike konstantan udio. Vlada planira modernizaciju mreže i razumije da je to potreban korak za ostvarivanje ulaganja u energetskog tržišta. Plan razvoja podrazumijeva i modernizaciju zastarjele

mreže, kao i izgradnju direktnih dalekovoda. Brza modernizacija mreže mogla bi rezultirati višom energetsom tarifom i prouzročiti naglo povećanje cijena za kupce. Bez modernizacije mreže, cijene poljskog energetskeg sektora istodobno će s vremenom rasti.⁵⁷

U južnoj Poljskoj se nalaze većina industrijskih tvornica i velikih elektrana koje koriste tvrdim ugljen i lignit. Klimatski ciljevi Europske unije, očekivanja zajednice i nastojanje da se smanje troškovi energije potrošača potiču na promjene. Energetski profil u Poljskoj počinje težiti sve više prema obnovljivim izvorima i drugim tehnologijama. Vjetroelektrane i solarne instalacije rasprostranjuju se diljem cijele zemlje, a vjetar na moru i druga lokalno proizvedena energija koncentrirani su na području sjeverne obale.

Kako se udio nestabilnih obnovljivih izvora energije povećava, tako raste i rizik od zagušenja elektroenergetske mreže. Do zagušenja mreže dolazi kada su ponuda i potražnja električne energije neuravnoteženi zbog nepredvidljivosti proizvodnje iz obnovljivih izvora uslijed vremenskih promjena. Trenutno Poljska ima instalirano 17 GW solarne energije i 8 GW kapaciteta vjetra na kopnu. Solarne elektrane bez skladištenja energije predstavljaju izazov za razvoj i proizvodnju drugih izvora energije. Mrežni operatori koriste nekoliko kratkoročnih strategija za upravljanje zagušenjem: prilagodba proizvodnje postojećih elektrana kako bi se uravnotežila ponuda i potražnja, privremeno smanjenje proizvodnje obnovljive energije tijekom vršnih razdoblja, poticanje potrošača da prebace svoju potrošnju električne energije na radno vrijeme izvan glavne sezone. I promicanje skladištenja baterija za pojedince i industrijske potrošače i proizvođače. Procijenjeno je da će za prilagodbu tranzicije biti potrebna nadogradnja u iznosu od 25 milijardi eura, i s time će se povećati kapacitet mreže, poboljšati međusobna povezanost i olakšati integracija čistih izvora energije. Uspostavljanjem ravnoteže između zahtjeva za obnovljivom energijom i stabilnosti mreže otvorit će se put prema održivoj i otpornoj energetskej budućnosti. Za Poljsku to

⁵⁷ Skrzypczyk, A. (2023.) How to modernize Poland's outdated electric grid

podrazumijeva prihvaćanje vjetra na moru, solarne energije sa skladištenjem energije i druge energije iz lokalnih izvora kako bi se zadovoljile potrebe za osnovnom potrošnjom.⁵⁸

3.4. Emisije stakleničkih plinova

U 2022. emisije CO₂ u Poljskoj povećale su se za 0,3 % u usporedbi s 2021. Kao rezultat toga, zemlja je na 7. mjestu u svijetu po jedinici emisije cijelog gospodarstva, s rezultatom od 2,84 tone CO₂/toe—tek nešto niže od najgorih zagađivača kao što su Kina, Malezija i Kazahstan.⁵⁹ Poljska je 2022. bila 34. najveći svjetski emiter CO₂ po osobi, odmah iznad Kine.⁶⁰

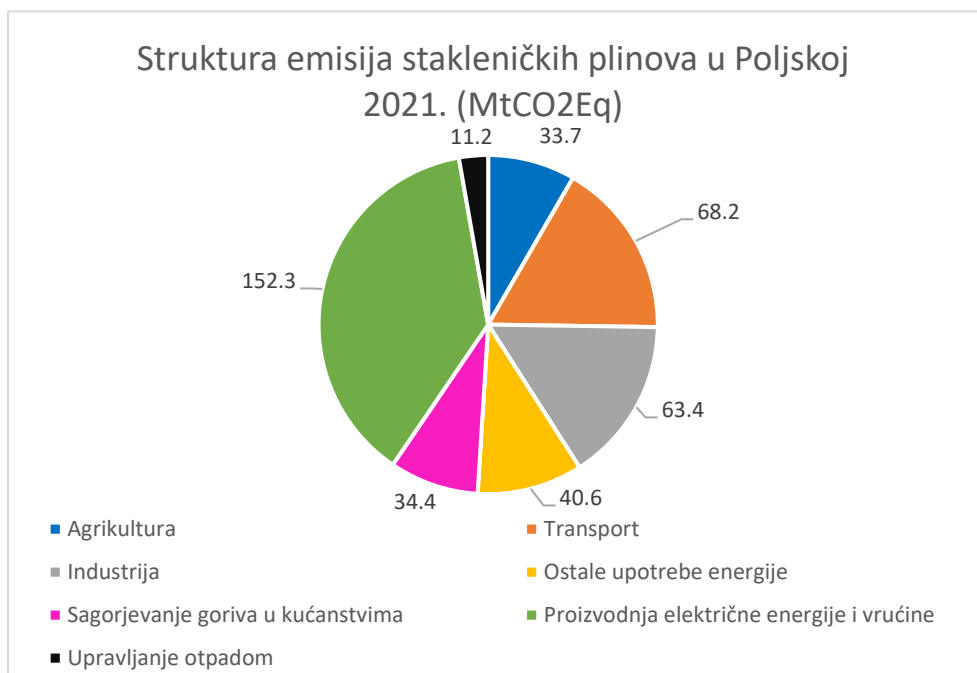
Ugljen čini 70 % električne energije proizvedene u Poljskoj, a gotovo polovica kućanstava oslanja se na njega za grijanje. Rudarstvo ugljena ostaje važan ekonomski faktor u ruralnim područjima. Iako je službeni datum za potpuno ukidanje ugljena 2049., uvođenje obnovljivih izvora energije i dalje je podložno administrativnim preprekama. Kao rezultat toga, iako čini samo 8 % stanovništva, zemlja emitira 12 % CO₂ EU-a. Emisije iz energetskeg sektora pale su za 30 % od 1988. godine, ali emisije iz prometnog sektora porasle su za gotovo 7 %. Emisije po glavi stanovnika za zemlju iznose oko 10 metričkih tona ekvivalenta CO₂ godišnje, što je oko prosjeka za Europu i znatno ispod emisija po stanovniku u SAD-u, koje su 2014. iznosile oko 16,5 metričkih tona godišnje. Poljske emisije po glavi stanovnika mnogo su veće od količine potrebne za ograničavanje globalnog porasta temperature na 2 °C, odnosno dvije metričke tone ekvivalenta CO₂ po osobi godišnje.

⁵⁸ DNV, Grid Congestion in the Polish Power Grid,

⁵⁹ Dusilo, M. (2023.) Energy transition in Poland | 2023 edition

⁶⁰ Ptak A. (2023.) Poland overtakes US to have world's second largest lithium-ion battery production capacity

Grafikon 19: Struktura emisija stakleničkih plinova u Poljskoj u 2021.



Izvor: izrada autora na temelju publikacije (Taylor, K. (2023.) Poland's renewables capacity growing but coal still dominates – report)

Grafikon prikazuje da je više od trećine emisija stakleničkih plinova prouzročeno proizvodnjom električne energije i vrućine, transport i industrija su na drugom i trećem mjestu.

Nakon pada komunizma u Poljskoj 1989. godine, emisije ugljika u zemlji naglo su smanjene. Pali su za oko 20 %, u vrijeme prijelaza na tržišno gospodarstvo, međutim i proizvodnja je također pala jer su zatvorene mnoge neučinkovite energetske intenzivne elektrane. Poljska je 1992. postala potpisnica izvornog Kyotskog protokola i uspjela je postići sva smanjenja emisija propisana sporazumom. U periodu od 1996. do 2002. proizvodnja je opet počela rasti, ali su emisije pale za dodatnih 17 %. Između 2000. i 2012. BDP je narastao je za 56 %, međutim ukupne godišnje emisije su se bile povećale za samo za 1 %; što znači da je došlo do uspješnog razvoja gospodarstva bez povećanja emisija.

Iako su emisije po glavi stanovnika usporedive s onima u ostatku svijeta, učinkovitost ugljika nije. Godine 2007. emitirano je oko 1,3 metričke tone ekvivalenta CO₂ kako bi se proizveo milijun eura BDP-a, što je gotovo tri puta više od prosjeka za Europsku uniju. Tijekom prethodnih godina se to

poboljšalo, ali ugljična učinkovitost i dalje zaostaje za ostatkom Europe. Veliki razlog za to je visokoenergetski intenzitet poljske proizvodnje, koja je proizvodnja teža od prosjeka EU-a. Drugi važan razlog je uporaba krutih goriva koja jako onečišćuju, kao što su ugljen i lignit. U Poljskoj, koristeći količinu energije ekvivalentnu jednoj toni nafte, stvara se 3,4 metričke tone CO₂, dok u ostatku Europe proizvodi 2,5 metričke tone. Poljska je 2016. donijela zakon kojim se od vjetroturbina zahtijeva da budu na udaljenosti od najmanje 10 puta veće od visine turbine od zgrada i šuma, čime se omogućuje produljeno zatvaranje radi inspekcija i povećavaju porezi na vjetroelektrane, što je uvelike otežalo razvoj vjetroelektrana.⁶¹

Neto je uvoznik fosilnog plina, povijesno nabavljajući velik dio svoje opskrbe iz Rusije, ali je reducirala svoju ovisnost o Rusiji i povećala kupnju ukapljenog prirodnog plina. Poljska je 2019. proizvela 393,97 milijuna tona emisija stakleničkih plinova - od čega je oko 82 % došlo iz energetskeg sektora. U usporedbi s razinama iz 1990., emisije stakleničkih plinova u Poljskoj pale su za 17,3 % u odnosu na 2019. ⁶²Poljska je 2019. objavila svoj Nacionalni energetske i klimatske plan za razdoblje 2021. – 2030., postavila je cilj smanjenja emisija stakleničkih plinova za 7 % u sektorima izvan ETS-a u usporedbi s razinama iz 2005. do 2030. ⁶³

Od objavljivanja baze podataka o projektima vodika IEA-e za 2021. u Poljskoj je provedeno 15 projekata povezanih s vodikom, od kojih su dva bila u funkciji.⁶⁴ Poljska je 2020. činila 9 % ukupne potrošnje vodika u Europi, što ju je svrstalo među četiri najveća potrošača. Poljska je jedan od glavnih proizvođača vodika u Europi, koji je 2015. proizveo oko milijun tona. ⁶⁵Od 2021. gotovo sav proizvedeni vodik Poljska bio je "sivi vodik" - što znači da ga proizvode fosilna goriva.⁶⁶

⁶¹ Zulinski, J. (2018.) Poland's Transition to a Cleaner Economy

⁶² EC (2021.) EU energy in figures

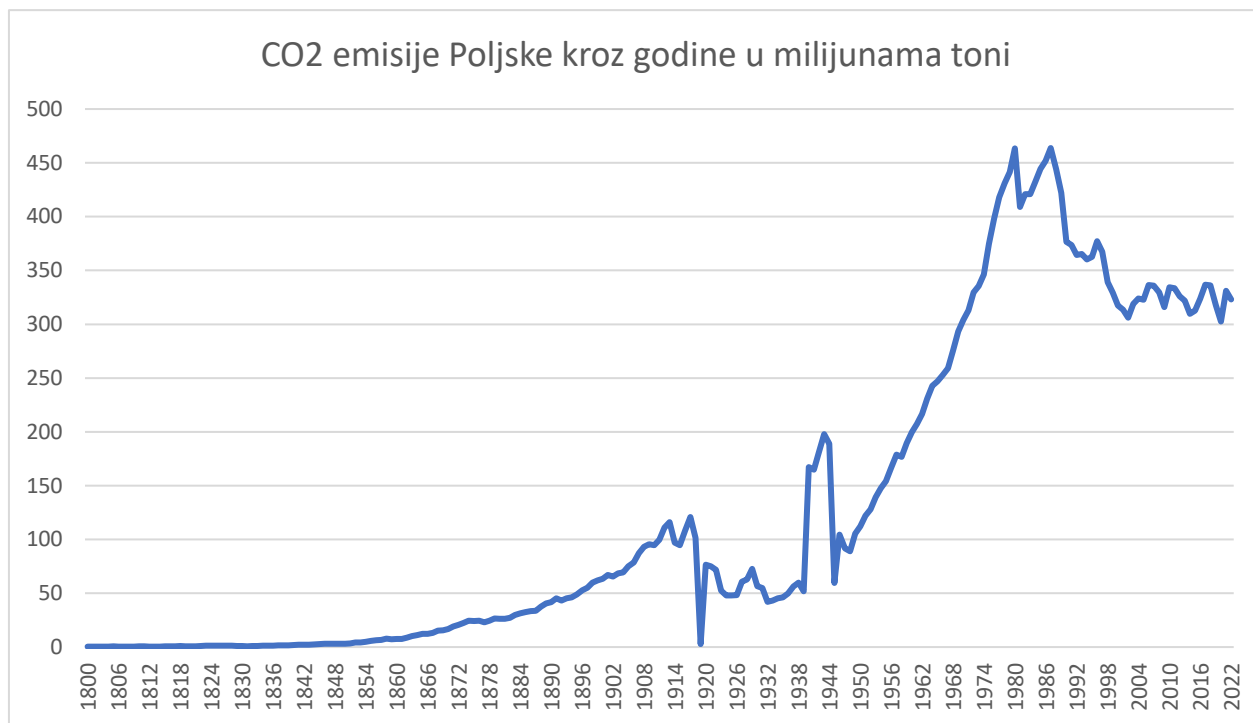
⁶³ Ministry of Climate and Environment, National Energy and Climate Plan 2021-2030

⁶⁴ IEA, Hydrogen Production and Infrastructure Projects Database

⁶⁵ Gawlik, L., Mokrzycki, E., (2021.) Analysis of the Polish Hydrogen Strategy in the Context of the EU's Strategic Documents on Hydrogen

⁶⁶ Global Energy Monitor, Poland and fossil gas

Grafikon 20: CO2 emisije Poljske kroz godine u milijunima toni



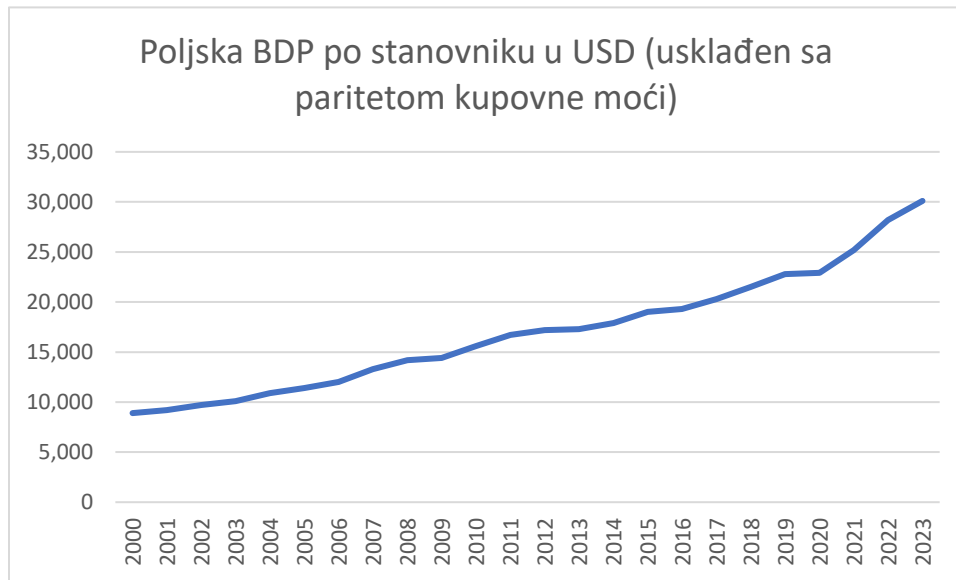
Izvor: izrada autora na temelju podataka (WorldData, Energy consumption in Poland)

Emisije su bile najniže prije 100 godina, nakon čega dolazi do naglog i kontinuiranog rasta sve od 1950-ih do 1970-ih. Krajem 1980-ih dolazi pad i nakon 1990. su emisije konstantne s oko 300 milijuna toni godišnje.

3.5. Bruto domaći proizvod i energetska intenzivnost

Nominalni bruto domaći proizvod (BDP) Poljske iznosi \$688.177.000.000 od 2022. što ju čini 21. u svijetu po rangu nominalnog BDP-a. Realni BDP Poljske (konstantan, prilagođen inflaciji) dosegao je \$516.451.000.000 u 2022. Stopa rasta BDP-a u 2022. iznosila je 4.87 %, što predstavlja promjenu od 29.161.000.000 američkih dolara u odnosu na 2021., kada je realni BDP iznosio \$598.303.000.000. BDP po stanovniku u Poljskoj (s populacijom od 39,857,145 ljudi) iznosio je \$15,743 u 2022., što je povećanje od \$124 u odnosu na \$15,618 u 2021.; to predstavlja promjenu BDP-a po stanovniku od 0,8 %.

Grafikon 21: BDP po stanovniku prema paritetu kupovne moći



Izvor: : izrada autora na temelju podataka (Eurostat)

BDP po stanovniku raste kroz promatrani period sa najvećim iznosom u 2023.

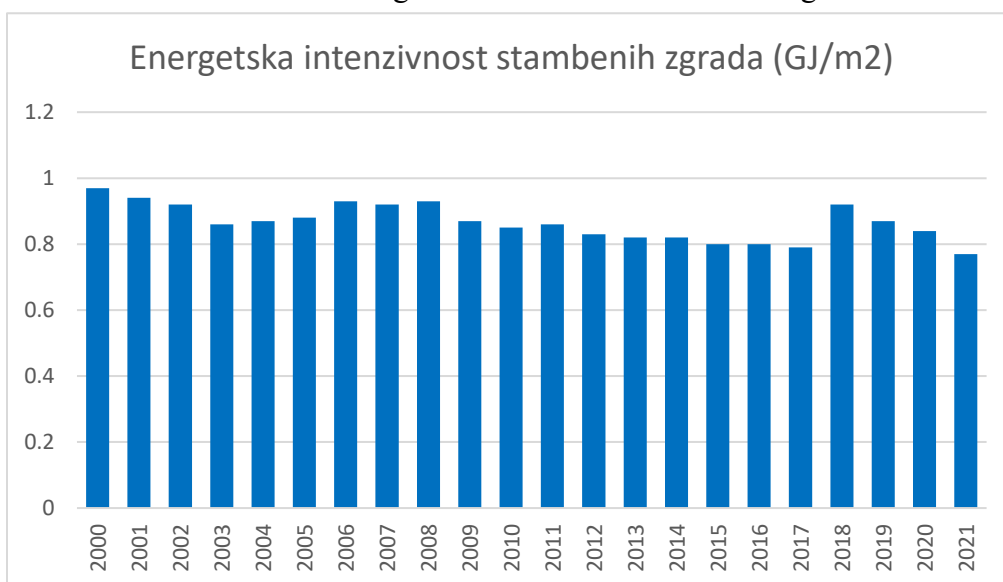
Grafikon 22: BDP, U.S. dolari po stanovniku



Izvor: : izrada autora na temelju podataka (Eurostat)

Od 1990. počinje rast, i tek dolazi do pada 2008. nakon čega se nastavlja rasti.

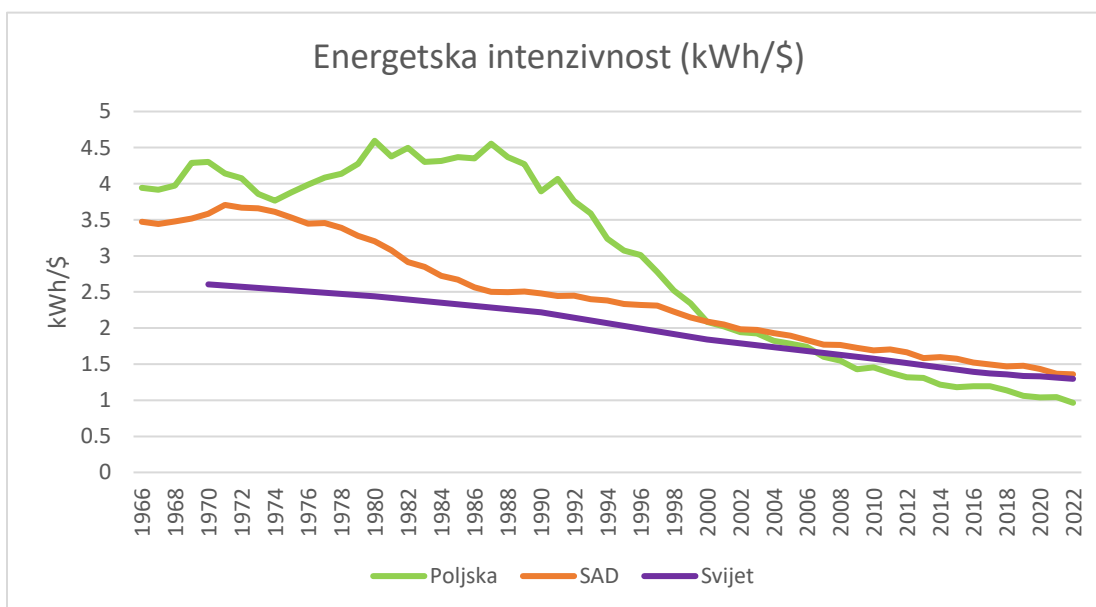
Grafikon 23: Energetska intenzivnost stambenih zgrada



Izvor: : izrada autora na temelju podataka (IEA)

Energetska intenzivnost za stambene zgrade je konstantna tijekom zadnjih 20 godina te pada svake godine od 2018. Nakon dugo vremena 2021. ima najniži iznos u proteklih 20 godina.

Grafikon 24: Energetska intenzivnost



Izvor: izrada autora na temelju podataka (OurWorldInData)

Grafikon prikazuje pad energetske intenzivnosti poljske, čak i ispod razine SAD-a i svijeta.

4. Determinante energetske tranzicije Poljske

U ovom dijelu rada bit će pojašnjena uloga obnovljivih izvora za energetske tranziciju, i značaj nuklearne energije u odmicanju od fosilnih goriva i budućnosti kretanja prema čistim izvorima energije.

4.1. Nacionalni energetske klimatski plan

Nacionalni energetske i klimatski plan desetogodišnji je integrirani dokument koji je Europska unija ovlastila za svaku od svojih država članica kako bi EU ispunila svoje ukupne ciljeve u pogledu emisija stakleničkih plinova. Energetske i klimatski plan obuhvaća svih pet dimenzija energetske unije EU-a: dekarbonizaciju, energetske učinkovitost, energetske sigurnost, unutarnja energetske tržišta te istraživanje, inovacije i konkurentnost.

Nacionalni energetske i klimatski plan Poljske pripremljen je s ciljem uspostave stabilnog okvira za održivu, ekonomski učinkovitu i pravednu transformaciju u energetske sektoru i cijelom gospodarstvu. Ovaj dokument namijenjen je omogućavanju sinergija s realizacijom aktivnosti u međusobno povezanoj petici dimenzije energetske unije, uzimajući u obzir načelo "energetske učinkovitost na prvom mjestu". Dokument opisuje nacionalne ciljeve poljske energetske i klimatske politike te politike i mjere za njihovo postizanje. Zbog činjenice da su neki ciljevi, kao i politike i mjere, ojačati više od jedne dimenzije, dodijeljeni su onima u kojima je njihov najveći utjecaj procjenjuje. Za bolju čitljivost ciljeva dokumenta te politika i mjera označene su bojama dodijeljenim odgovarajućim dimenzijama energetske unije. Glavni ciljevi poljske energetske i klimatske politike sadržani u dokumentu i koji čine budućnost mjere njegove provedbe prikazane su na grafikonu ispod. Ovdje treba napomenuti da je cilj obnovljivih izvora energije uvjetovana, odnosno da će njegova provedba na razini od 23 % biti moguća ako se dodijele dodatna sredstva EU-a, uključujući one usmjerene na pravednu tranziciju.

Prema novom energetske i klimatskom planu Poljske za 2030., cilj je postići najmanje 50 % udjela obnovljive energije u proizvodnji električne energije i 30 % u konačnoj potrošnji energije. Izgradnja prve nuklearne elektrane u Poljskoj trebala bi započeti 2026., a u pogon bi trebala biti

puštena do 2033. Nalaziti će se blizu Choczewa na Baltičkom moru.

Vlada je 2021. objavila svoju energetska politiku Poljske do 2040. (PEP2040). u kojem su definirane službene energetske ambicije Poljske. Njime se potvrđuje međunarodni kontekst koji oblikuje energetska politiku države, a posebno se ističe važnost međunarodnih obveza u pogledu borbe protiv klimatskih promjena, uključujući propise donesene u okviru energetske i klimatske politike EU-a. PEP2040 također detaljno opisuje vlastite ciljeve Poljske u području energetske politike, koji uključuju proširenje proizvodne infrastrukture prijenosnih mreža, diversifikaciju izvora opskrbe sirovinama i poboljšanje energetske učinkovitosti. Iako se u tim dokumentima priznaju ciljevi i akcijski planovi EU-a, politika koju sadržavaju neambiciozna je. U nekim slučajevima čak zaostaju za stvarnošću: kao što je navedeno, PEP2040 predlaže fotonaponski proizvodni kapacitet od 5-7 GW do 2030. godine - ali do lipnja 2023. to je već premašilo 14 GW. PEP2040 bi trebao biti ažuriran, ali vlada je odgodila usvajanje revidiranih planova tijekom 2023. godine. Kako bi energetska transformacija postala ozbiljna nacionalna misija jednaka naporima Poljske da se pridruži NATO-u i EU-u devedesetih godina, potrebna je jasna, dugoročna strategija tranzicije.⁶⁷

Nerealno planiranje također se može pokazati kao problem u odnosu na male modularne reaktore, koji su predviđeni u PEP2040 prekrajanju. Poljska ima priliku biti jedna od prvih zemalja u Europi koja će ih uvesti. Mali modularni reaktori igraju veliku ulogu u provedbi američke strategije energetske tranzicije, i mnoge ostale razvijene nacije ih planiraju početi koristiti: Državna poduzeća u Poljskoj planiraju pustiti u pogon prve jedinice već u drugoj polovici 2020-ih ali provedbi tih projekata i dalje ima puno prepreka pred sobom. Te vrste reaktora i dalje na globalnoj razini nisu puštene u komercijalni rad. Njihova je primjena uglavnom planirana za industrijsku uporabu, tako da je malo vjerojatno da će se koristiti u centraliziranom elektroenergetskom sustavu za proizvodnju električne energije. Taj nedostatak ambicije i neizvjesnosti oko nove PEP2040 ometa ne samo funkcioniranje državnih institucija odgovornih za provedbu državne energetske politike, već prije svega energetske poduzeća i drugih sudionika na tržištu.

Jedno od najvažnijih pitanja u provedbi inicijative "Fit for 55" u Poljskoj jest reforma ETS-a. U okviru tog programa svaka država članica sudionica prima paket emisijskih jedinica koje može

⁶⁷ Nathan Canas, (2024.) Departing from coal: Poland's new energy roadmap

prodati poduzećima i institucijama koje emitiraju ugljični dioksid, primjerice tijekom proizvodnje energije za svoje potrebe.

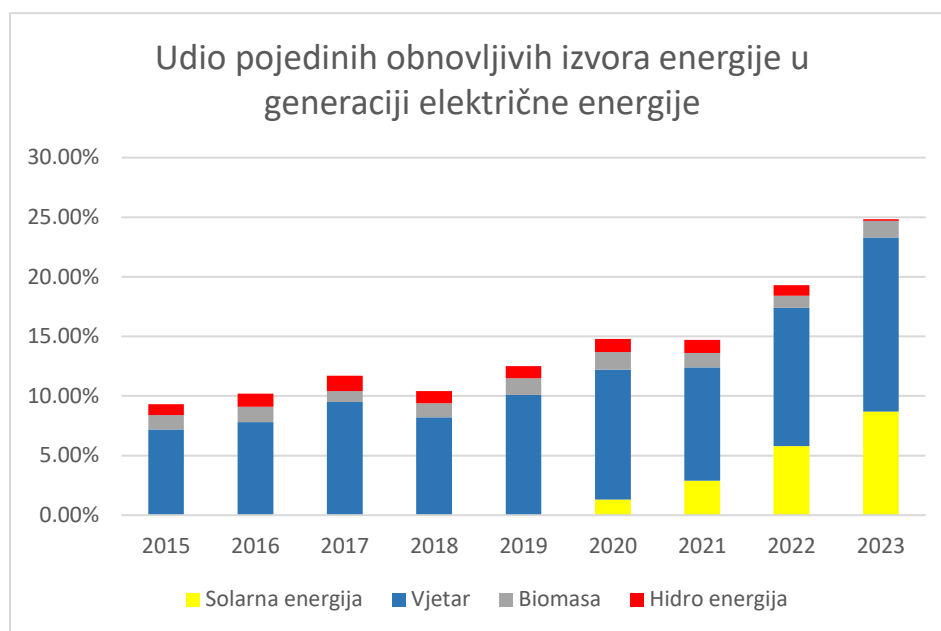
Poljska već dugo poziva na reformu sustava, uglavnom zbog visoke cijene emisijskih jedinica, koja je početkom 2023. probila povijesnu barijeru od 100 eura po toni. Budući da je obujam emisija u Poljskoj veći od dodijeljenog iznosa predviđenog emisijskim jedinicama, poljska vlada prisiljena je kupovati emisijske jedinice iz trećih zemalja. U slučaju Poljske, jaz u sustavu trgovanja emisijama jedan je od najvećih u Europi, ako ne i najveći. Poljska se također usprotivila sustavnom ukidanju besplatnih emisijskih jedinica. Prema prijedlozima Komisije besplatne emisijske jedinice trebale su se postupno ukidati, počevši od 2026., a potpuno ukloniti 2034. Poljske vlasti stoga su nastojale izbjeći drastična povećanja troškova koja bi posebno utjecala na Poljsku, primjerice na grijanje u kućanstvima gdje se velik dio i dalje proizvodi ugljenom. Ako Poljska ne ubrza napore za dekarbonizaciju grijanja i prometa, te će promjene imati ozbiljne financijske posljedice za te sektore, a time i za cijelo gospodarstvo.

Poljska vlada trebala bi radikalno promijeniti svoj pristup potrošnji sredstava dobivenih prodajom emisijskih jedinica ugljika. Njime bi se 100 % sredstava dobivenih iz ETS-a trebalo izdvojiti za potrebe energetske tranzicije. Trenutačno se sredstva uglavnom dodjeljuju u svrhe koje nisu izravno povezane s energetsom tranzicijom, kao što su subvencioniranje poreznih olakšica i modernizacija željezničke infrastrukture. Poljska bi trenutačnu energetska krizu trebala tretirati ne kao izgovor za odustajanje ili usporavanje energetske tranzicije, već kao priliku za njezino ubrzanje. Nema vremena za gubljenje, jer provedba sustavnih promjena ne samo da će pomoći u postizanju klimatskih ciljeva, već će spriječiti i ozbiljnije energetske i gospodarske krize u budućnosti.

4.2. Uloga obnovljivih izvora energije u energetska tranziciji

Između 2021. i 2023. solarni kapacitet porastao je sa 6,66 GW na 14,28 GW. Poljska je 2022. instalirala treću najveću količinu novih solarnih kapaciteta u EU-u. Tijekom te godine količina električne energije koju pružaju obnovljiva takozvana mikropostrojenja, uglavnom solarni paneli, udvostručila se, velikim dijelom zahvaljujući popularnom državnom programu subvencija, iako su najbrže rastuća obnovljiva tehnologija fotonaponski sustavi, solarni paneli imaju nisku stopu iskorištenosti instaliranog kapaciteta, a vjetro turbine i dalje vodeća obnovljiva tehnologija.

Grafikon 25: Udio pojedinih obnovljivih izvora energije u generaciji električne energije



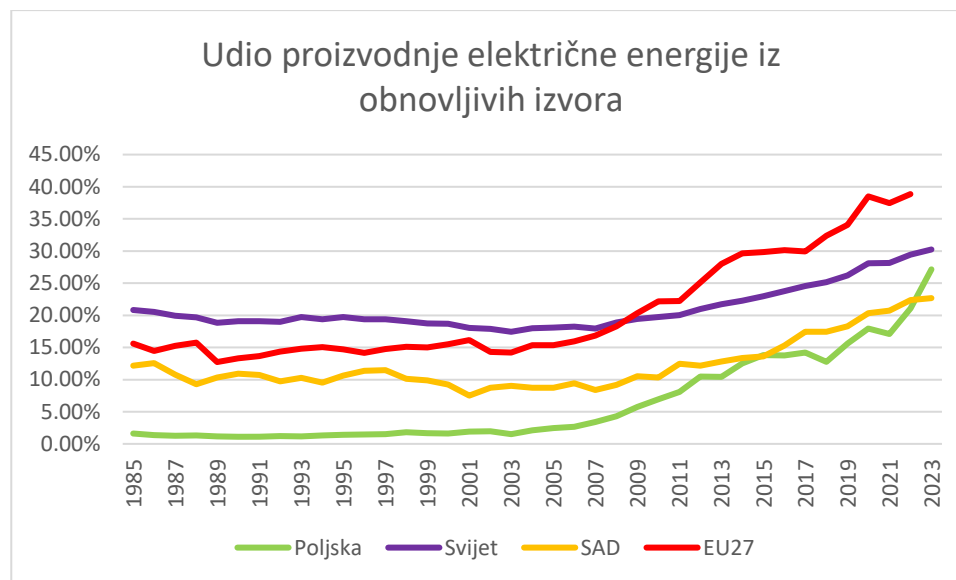
Izvor: Izrada autora na temelju publikacije (Ptak A. (2023.) Poland overtakes US to have world's second largest lithium-ion battery production capacity)

Obnovljivi izvori energije proizveli su 26 % električne energije iz Poljske u 2023., u odnosu na 19,3 % 2022. Međutim, ugljen i dalje proizvodi većinu električne energije u zemlji. Poljska je 2022. iz obnovljivih izvora energije proizvela 39,42 TWh. Od toga je najveći izvor bio vjetar na kopnu, koji je činio 22,12 TWh, ili 14,6 % ukupne proizvodnje električne energije. Nakon toga slijede solarna energija (13,22 TWh, 8,7 %), biomasa (2,12 TWh, 1,4 %) i hidroenergija (1,81 TWh, 1,3 %). Prošlogodišnji rast udjela obnovljivih izvora energije u poljskoj energetskej mješavini za 6,7 % najveći je zabilježen u nedavnoj povijesti.

Ugljen je nastavio činiti gotovo dvije trećine proizvodnje električne energije u Poljskoj, pri čemu je tvrdi ugljen proizvodio 65,27 TWh (43 %), a smeđi ugljen (lignit) 31,47 TWh (20,8 %). Plin je činio daljnjih 12,94 TWh (8,5 %), a nafta 2,54 TWh (1,7 %). Poljska, zemlja EU-a koja se najviše oslanja na ugljen, pojačala je napore da se odvikne od fosilnih goriva i energetske krize koja je proizašla zbog ruske invazije na Ukrajinu.

Na Božić 2023., Poljska je proizvela rekordnu količinu energije od vjetra na kopnu, koji je pokrивao 44 % potražnje tijekom cijelog dana. Dodatnih 17 % došlo je iz solarne energije. Međutim, mreža zemlje teško se nosila s tim, što je rezultiralo isključivanjem turbina i prijenosom struje u Njemačku.⁶⁸

Grafikon 26: Udio proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora



Izvor: izrada autora na temelju podataka (OurWorldInData)

Poljska je u prethodnih nekoliko godina udvostručila svoj udio obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije, međutim i dalje je ispod prosjeka EU. IEA predviđa da će do 2028. obnovljivi izvori energije činiti 42% globalne proizvodnje električne energije, a energija vjetra i sunca 25%. Unatoč tome što u tom razdoblju nema rasta, očekuje se da će hidroenergija i dalje biti najveći pojedinačni izvor obnovljive energije.⁶⁹

⁶⁸ Ptak A. (2023.) Poland overtakes US to have world's second largest lithium-ion battery production capacity

⁶⁹ CarbonBrief (b.d.) Analysis: World will add enough renewables in five years to power US and Canada

4.3. Specifičnost energetske tranzicije s obzirom na nuklearnu energiju

Uspostava nuklearne energije cilj je energetske politike Poljske do 2040. godine, kojom se postavlja okvir za energetske tranziciju zemlje kako bi se ojačala energetska sigurnost i smanjila ovisnost o elektranama na ugljen kako bi se ispunili klimatski ciljevi.⁷⁰

Varšava nuklearnu energiju vidi kao nužnu za ekonomski stabilnu energetske tranziciju. Poljska se iznimno oslanja na ugljen, iz njega nabavlja više od 70 posto svoje električne energije. U njemu se nalazi druga najveća flota za proizvodnju ugljena u EU-u, koja pokreće njegovo gospodarstvo i radnu snagu u velikoj proizvodnji. To je pridonijelo tome da Poljska ima jedno od najgorih onečišćenja zraka u Europi. Obnovljive alternative poput vjetra i sunca brzo su porasle u posljednjih nekoliko godina, ali Poljska nuklearnu energiju vidi kao nužnu nadopunu. Reaktori mogu osigurati toplinsku i električnu energiju koja se može dispečirati, što ih čini dobro pozicioniranima za izravnu zamjenu flote ugljena, na koju se Poljska trenutno oslanja.⁷¹

U očekivanju podnošenja ažuriranog Nacionalnog energetske i klimatske plana (NECP) Poljskoj Europskoj komisiji u lipnju 2024., Carbon-Free Europe (CFE) naručio je Evolved Energy Research, u suradnji sa Šleskim tehnološkim sveučilištem, Institutom za energetiku - Nacionalnim istraživačkim institutom i Andlinger centrom Sveučilišta Princeton, da provede opsežnu studiju modeliranja energetske sustava. Cilj je dvofaznog projekta ocrutati načine na koje će Poljska postići nultu neto stopu emisija do 2050., čime se informira ne samo revizija NECP-a, već i buduće politike, nacionalne strategije i dugoročna ulaganja.

Dvofazna studija o Poljskoj s nultom neto stopom emisija pruža prvu takve vrste, detaljnu i transparentnu artikulaciju alternativnih putova za Poljsku za prijelaz na nultu neto stopu emisija do 2050. Studija ima za cilj informirati strategiju energetske tranzicije, formuliranje politike i donošenje odluka o ulaganjima u javnom i privatnom sektoru. Energetsko okruženje Poljske i dalje se više oslanja na fosilna goriva u usporedbi s drugim državama članicama EU-a. Zbog toga se Poljska suočava s jedinstvenim izazovima kako bi ispunila ambiciozne ciljeve EU-a u pogledu smanjenja emisija u okviru paketa "Spremni za 55 %", istodobno osiguravajući da rudarske regije ne budu zapostavljene i da cijene energije ostanu pristupačne. Nacrtom ažuriranja NECP-a utvrđuju

⁷⁰ IAEA (b.d.) AEA Reviews Poland's Nuclear Power Infrastructure Development

⁷¹ Bowen, M., Saha, S. (2023.) Poland's Nuclear Program Is on the Move

se ambiciozni ciljevi za Poljsku, čiji je cilj 29,8 % udjela obnovljivih izvora energije u konačnoj bruto potrošnji energije do 2030. (u usporedbi s 9,4 % u 2022.).

Uz dobro osmišljenu strategiju provedbe, Poljska može postići pravednu tranziciju, energetske sustav s nultom stopom emisija i poboljšanu kvalitetu zraka, kako je navedeno u predloženoj energetske politici Poljske do 2040. (PEP2040). Ova se strategija oslanja na raznoliku kombinaciju izvora energije kako bi bila uspješna, uključujući ubrzavanje uvođenja obnovljivih izvora energije uz nuklearnu energiju.⁷²

Poljska planira imati nuklearnu energiju od oko 2033. kao dio raznolikog energetskeg portfelja, odmičući je od velike ovisnosti o ugljenu. Energetskom politikom Poljske do 2040, koju je vlada donijela u veljači 2021., određeno je da udio ugljena u proizvodnji električne energije iznosi 56 % u 2030., udio krajnje potrošnje energije iz obnovljivih izvora iznosi najmanje 23 % u 2030., a udio električne energije iz obnovljivih izvora iznosi najmanje 32 % u 2030., prvi nuklearni reaktor u zemlji kapaciteta 1-1,6 GW treba biti pušten u rad 2033. Daljnji reaktori bit će pušteni u rad svake 2-3 godine do ukupno šest.

Vlada Poljske je 2005. Došla do zaključka da bi za ostvarivanje diversifikacije i postizanja smanjenja emisija morala početi implementirati nuklearnu energiju. Ministarstvo gospodarstva je zaključilo da je to najbolja i najisplativija metoda smanjivanja CO₂ i 2010. je utvrđen novi program za nuklearnu energiju, koji je početkom 2011. Bio odobren sa strane vlade. Procijenjeno je da moderno postrojenje snosi troškove od 2500 do 3000 eura po kW. U planu je da prva od 6 jedinica jačine do 1,5 GWe krene u pogon 2033. A ostalih 5 jedinica slijede svakih dvije do tri godine.⁷³

Poljska ima niz energetske intenzivnih industrijskih tvrtki, uključujući Synthos, Ciech, KGHM i Orlen, koje rade na nadogradnji postrojenja kako bi uključile male reaktore. Kompanija Synthos Green Energy je U kolovozu 2021. Krenula sa probiranjem SMRova te je KGHM u 4. mjesecu 2023. u podnio zahtjev Ministarstvu za klimu i okoliš za izgradnju modularne nuklearne elektrane NuScale VOYGR kapaciteta 462 MWe koja se sastoji od šest modula snage 77 MWe. Zahtjev je odobren u srpnju 2023. Manji reaktorske sustavi mogu se lakše prilagoditi produkciji, ali mogu se integrirati i mnogi elementi velikih reaktora ako su dijelovi dovoljno standardizirani i izrađeni za

⁷² Schneider, F., Walter, D., Haley, B. (2024.) Poland's Pathways to Net-Zero Emissions

⁷³ World Nuclear Association (b.d.), Nuclear Power in Poland

uzlaznu montažu.⁷⁴

Slika 1: NuScale mali modularni reaktor



Izvor: The Korea Economic Daily

Uvođenje visokotemperaturnih reaktora hlađenih plinom za industrijsku proizvodnju topline uključeno je u vladin nacrt strategije za razvoj iz srpnja 2016. Ministarstvo energetike procijenilo je da bi korištenje nuklearne visokotemperaturne topline za industrijske primjene moglo smanjiti emisije ugljičnog dioksida za 14-17 milijuna tona godišnje u Poljskoj, koja ima 13 velikih kemijskih postrojenja kojima je potrebno 6500 MWt na 400-550 °C. U prosincu 2022. anketa poljske istraživačke agencije CBOS pokazala je da 75 % stanovnika zemlje podržava razvoj nuklearne energije - porast od 36 % u usporedbi sa sličnom studijom 2021.⁷⁵

Od 1990. globalna proizvodnja nuklearne energije ostala je ravna, opterećena visokim troškovima i sporim tempom nuklearnog razvoja u većem dijelu svijeta. Javno mišljenje doprinijelo je ovom

⁷⁴ ETI. (2020). The ETI Nuclear Cost Drivers Project: Full Technical Report.

⁷⁵ World Nuclear Association (b.d.), Nuclear Power in Poland

usporavanju. Danas veći dio svijeta favorizira širenje nuklearne energije, sa smanjenim protivljenjem. Nuklearna industrija se ne nalazi u dobroj poziciji za realiziranje rezultata iako je posljednjih godina imala veliku javnu potporu, pogotovo u Poljskoj.

Nuklearne elektrane se i dalje konstruiraju isto kao i ogromni jednokratni infrastrukturni projekti kao što su hidroelektrana, autoceste, mostovi, željeznice za velike brzine, zračne luke. Za planiranje takvih projekata potrebna su desetljeća, financiranje i izgradnja. Radikalni preustroj potreban je kako bi se ponovno osmislio način izgradnje i isporuke nuklearnih elektrana. To znači učenje iz analognih industrija, kao što su industrije koje opskrbljuju brodove, zrakoplovne tehnologije i plinske turbine, te projektiranje modularne proizvodnje, učinkovitu montažu standardiziranih dijelova i mogućnost otpreme što je moguće više potpuno dizajniranog i gotovog proizvoda na gradilište, umjesto da zahtijevaju složenu izgradnju na licu mjesta. Povijesno iskustvo pokazuje da ponovljene gradnje istog standardiziranog dizajna, posebno na jednom mjestu, mogu proizvesti značajna smanjenja troškova, približavajući se čak 25 %, između prve jedinice i N-te jedinice. Učenje radeći na ovoj vrsti ljestvice zahtijevat će čvrstu predanost desecima jedinica istog dizajna. Agregacija potražnje relevantna je za sve veličine nuklearnih elektrana. To ima posebnu važnost kod SMR-a u kojima bi koncept tvornički izgrađene modularne konstrukcije više jedinica u kombinaciji s ukupnom potražnjom trebao pružiti odgovarajuće okruženje za ulaganja u lanac opskrbe i smanjenja troškova predviđena za višestruko uvođenje.

Industrija koja se bavi isporukom nuklearnih elektrana trenutno je vrlo fragmentirana zbog velike razine podijeljenosti između dobavljača, proizvođača komponenti te građevinskih, nabavnih i inženjerskih tvrtki, što zatim rezultira s manjom učinkovitošću zato što se strane svađaju oko podjele rizika.⁷⁶ U zadnjih dvadeset godina velika prepreka uvođenju nuklearnih projekata bilo je licenciranje, čak i na tržištima s mnogogodišnjim iskustvom u nuklearnoj regulaciji i nadzoru. Nuklearna energija primila je samo mali dio ukupnih globalnih godišnjih ulaganja u energetske tranziciju, iz razloga koji uključuju višemilijunsku veličinu kapitalnih ulaganja potrebnih za provedbu projekata, dugotrajne uvjete razvoja i izgradnje, jedinstvene regulatorne zahtjeve nuklearnih projekata i nepoznavanje nuklearnih tehnologija u financijskoj zajednici, što je često značilo neprihvatanje prijedloga za nuklearno financiranje.

Mali modularni reaktori i napredni reaktori kao potencijalni put za dekarbonizaciju električne

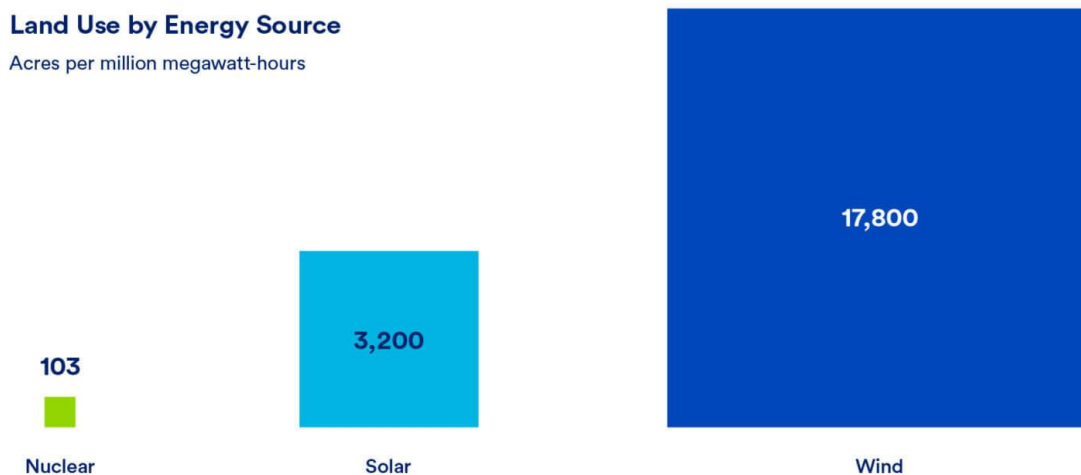
⁷⁶ Lagurashvili, T. (2024.), A Vision for Poland's Clean Energy Transition

energije i energije. Unatoč tome što poljska nastavlja razvijati svoje nuklearne tehnologije, i razvoj velikih nuklearnih elektrana koje će imati ulogu u diversificiranju izvora energije i smanjivanju emisija CO₂, sve više je prihvaćenih prednosti manjih i znatno fleksibilnijih dizajna SMR-a u usporedbi s njihovim alternativama. Unutar zadnjih 10 godina postignut je razvoj SMR-a i naprednih reaktora s proizvodnim kapacitetom koji iznose sve od 5 do 300 MWe po jedinici tj. skoro trećina tradicionalnih postrojenja. Isto kao i kod ostalih reaktora, SMR-i rade na principu pretvorbe energiju iz nuklearne reakcije u paru koja pokreće turbinu za generaciju električne energije ili korištenje u za ostale primjene u industriji, kao što su centralizirano grijanje ili generacija čistoga vodika. Neki kao i kod postojećih velikih reaktora koriste laganu vodu kao rashladno sredstvo, dok drugi, Napredni reaktori, koriste plin, tekući metal ili rastaljenu sol za prijenos topline u sekundarnu svrhu. Reaktori lake vode koriste slično gorivo kao postojeći reaktori, dok napredni reaktori koriste nove i različite vrste goriva.

Mnoge prednosti SMR-a same su po sebi povezane s prirodom njihova dizajna – male i modularne. S obzirom na njihov manji otisak, SMR-i se mogu nalaziti na lokacijama koje nisu prikladne za veće nuklearne elektrane. Još jedna prednost SMR-a je njihova gustoća snage MWe u pogledu korištenja zemljišta. Tipično SMR mjesto od 300 MWe zauzimat će manje od 100 hektara. U državi članici u kojoj je korištenje zemljišta ograničeno urbanizacijom, poljoprivredom i drugim čimbenicima, SMR-i su znatno učinkovitiji od drugih tehnologija čiste energije. Ta se korist ne priznaje ni u kakvoj usporedbi financijskih troškova između tehnologija čiste energije, već bi je trebalo priznati kao društvenu korist.⁷⁷

⁷⁷ Lagurashvili, T. (2024.), A Vision for Poland's Clean Energy Transition

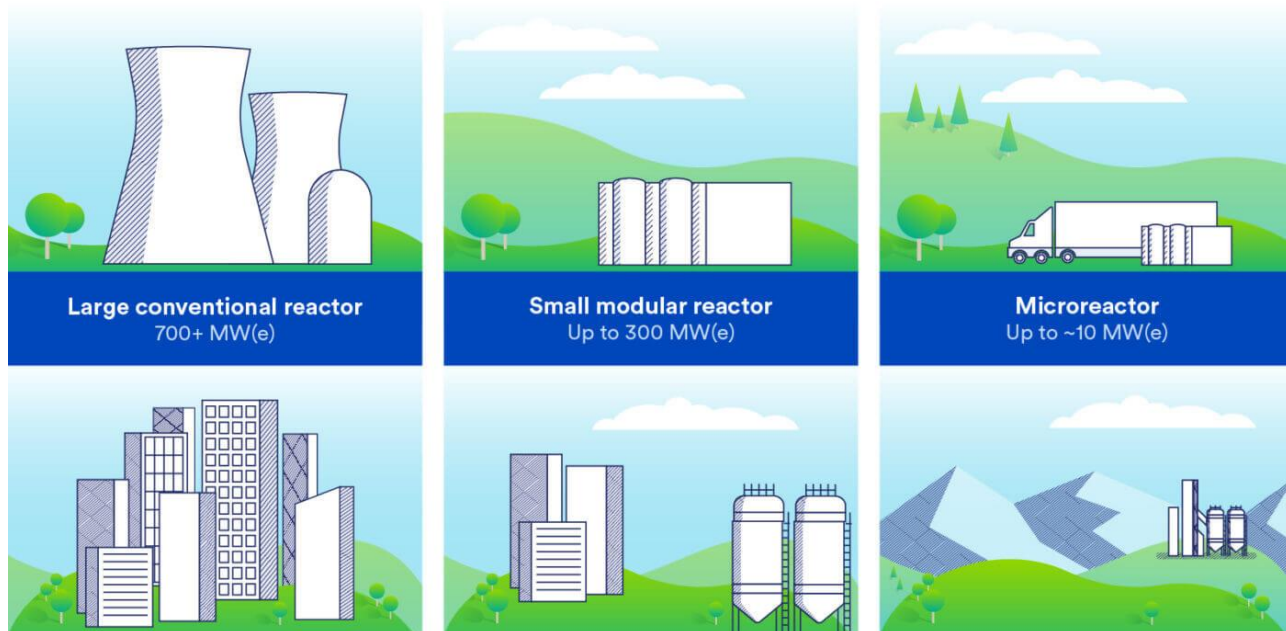
Slika 2: Iskorištenost tla prema izvoru energije



Izvor: Lagurashvili, T. (2024.), A Vision for Poland's Clean Energy Transition

Vidljivo je da nuklearna tehnologija troši skoro 200 puta manje prostora od vjetroelektrana, i 30 puta manje od solara.

Slika 3: SMR



Izvor: Lagurashvili, T. (2024.), A Vision for Poland's Clean Energy Transition transition

Montažne jedinice SMR-a mogu se brzo proizvesti, transportirati na gradilište i brzo instalirati, što ih čini pristupačnijima i bržima za izgradnju od velikih GWe reaktora, koji su često prilagođeni određenoj lokaciji, složeni su i ti čimbenici ponekad dovode do kašnjenja u izgradnji. Osim toga, SMR-i nude manja početna ulaganja i potencijalne uštede u troškovima i vremenu izgradnje te se

moгу postupno uvoditi kako bi odgovarali sve većoj potražnji za energijom.

U usporedbi s tradicionalnim gigavatnim reaktorima, predloženi SMR dizajni su općenito jednostavniji, a sigurnosni koncept za njih često se više oslanja na pasivne sustave i inherentne sigurnosne karakteristike nuklearnog reaktora. To znači da u takvim slučajevima nije potrebna ljudska intervencija ili vanjska električna energija za isključivanje sustava, jer se pasivni sustavi oslanjaju na fizičke pojave, kao što su prirodna cirkulacija, konvekcija, gravitacija i samotlak. Ti povećani sigurnosni atributi u nekim slučajevima uklanjaju ili znatno smanjuju potencijal za nesigurna ispuštanja radioaktivnosti u okoliš i javnost u slučaju nesreće. Još jedna od karakteristika su manja početna kapitalna ulaganja i bolja fleksibilnost postavljanja na mjesta kojima nije moguće postaviti tradicionalne reaktore. Uz to posjeduju potencijal za unaprijeđenu sigurnost i zaštitu. Pretpostavlja se da će biti potrebna vremenski manja priprema na licu mjesta i uvelike smanjiti dugi periodi gradnje karakteristični za veće jedinice. SMR-i mogu smanjiti kapitalna ulaganja vlasnika nuklearne elektrane zbog nižih kapitalnih troškova postrojenja.

Oni osiguravaju i energiju za primjene kod kojih su tradicionalna postrojenja prevelika za potražnju ili na lokacijama nedostaje infrastruktura za potporu velikoj jedinici. U to spadaju manja tržišta električnom energijom, izolirana područja, manje mreže, lokacije s limitiranom količinom vode i površine ili industrijske primjene. Napredniji dizajni SMR su sposobni proizvesti višu temperaturu kod toplinskim procesa za učinkovitiju generaciju električne energije ili za ostale industrijske primjene.⁷⁸ Planira se da će veliki dio SMR-a biti sagrađeni ispod razine tla radi poboljšanja zaštite i njihove sigurnosti, te će time biti razriješena pitanja ranjivosti i sabotaže, kao i prirodnih opasnosti i vremenskih nepogoda. Neki SMR-i se osmišljaju za duže vrijeme rada bez potrebe punjenja gorivom. Ti bi se SMR-i mogli proizvoditi i opskrbljivati u tvornici, zatvarati i transportirati na mjesta za proizvodnju energije ili procesnu toplinu, a zatim se na kraju životnog ciklusa vraćati u tvornicu radi pražnjenja. To će uvelike pomoći u smanjenju međunarodnog transporta i smanjiti potrebu rukovanja nuklearnim gorivima. U mnogim zemljama SMR-i se smatraju potencijalnim zamjenama za elektrane na fosilna goriva, kao što su elektrane na ugljen. U tom pristupu nuklearni projekt može iskoristiti postojeću infrastrukturu kao što su pristup vodoopskrbi, priključku elektroenergetske mreže, rasklopnom postrojenju i drugim okolnim sredstvima u svoju korist. Zbog svoje manje veličine snage i modularnog pristupa, elektrana na ugljen može se zamijeniti s

⁷⁸ Lagurashvili, T. (2024.), A Vision for Poland's Clean Energy Transition

nekoliko nuklearnih modula koji se mogu graditi postupno kako bi se ponudila fleksibilnost uvođenja.⁷⁹

⁷⁹ Lagurashvili, T. (2024.), A Vision for Poland's Clean Energy Transition

5. ZAKLJUČAK

Poljska i dalje jako ovisi o fosilnim gorivima, specifično o ugljenu kod proizvodnje električne energije. Energetska tranzicija za Poljsku predstavlja jednu od najvećih prepreka s kojima se nacija dosad suočila. Zbog svojih većih emisija u usporedbi s ostalim članicama EU, njeno gospodarstvo ovisno o ugljenu treba promjenu ne jedino radi ostvarenja klimatskih ciljeva nego i zbog održavanja svog političkog utjecaja u Europi i konkurentnosti svog gospodarstva. Te promjene su potrebne i za osiguravanje razvijanja novih sektora. Ukoliko tranzicija nije realizirana dovoljno brzo, to bi moglo dovesti do eliminacije Poljske iz određenih proizvodnih lanaca dok se ostale države razvijaju većom brzinom i prekinu trgovinu s Poljskom. Zadnjih nekoliko godina Poljska je poprilično razvila svoj potencijal za korištenje obnovljive izvore energije, dovela do pada emisija CO₂ i uvela mjere energetske učinkovitosti. Uzevši to u obzir, ona ima ogroman potencijal za realiziranje provedbe njene ambiciozne tranzicije, s obzirom na svoj potencijal za obnovljive izvore energije, planove za nuklearnu energiju i veliku količinu podrške javnosti za donošenje tih promjena. Investicija u obnovljivu energiju nosi potencijalno ogromne koristi. Osiguralo bi otvaranja stotina tisuća novih radnih mjesta i prevenirale bi se prekomjerne i prijevremene smrti i bolesti uzrokovane zagađenim zrakom uslijed izgaranja fosilnih goriva. Ulaganje u energetska učinkovitost dobar je početak, ali da bi uistinu napredovali i imali veći utjecaj, nužno je odmaknuti se od ugljena i u potpunosti prihvatiti obnovljive izvore.

Energetska tranzicija jedno je od ključnih područja djelovanja Europske unije. Poljska bi se kao država članica trebala prilagoditi tom cilju. Naša studija pokazala je da bi provedba pretpostavki europskog zelenog plana mogla biti vrlo teška, ili čak nemoguća, za Poljsku do 2050. Ipak, postoji konsenzus i među političkom elitom i u društvu da je potrebna energetska transformacija. Čak i ako su neposredni društveni i financijski troškovi visoki, ovaj izazov vrijedi prihvatiti. Njegova provedba odgovara dugoročnim potrebama poljskog gospodarstva, pruža prostor za održivi razvoj i omogućuje praćenje globalnih megatrendova. Važno je biti svjestan da mjere koje se danas poduzimaju utječu na buduće generacije Poljaka i sve Europljane. Poduzeća se moraju suočiti s novim izazovima ulaganja, otvoriti se novim poslovnim modelima i promijeniti postojeće tehnologije. To ima visoku cijenu. Predviđeni troškovi energetske transformacije mogli bi doseći čak 1600 milijardi PLN (oko 360 milijardi EUR po tečaju iz lipnja 2021.). Do 2040. procijenjeni izdaci za promjene u sektorima goriva i energije iznositi će oko 867–890 milijardi PLN. Dodatni

troškovi, uključujući promjene u kućanstvima, uslugama, prometu i poljoprivredi povezane s energetsom transformacijom, zahtijevat će još oko 745 milijardi PLN. S druge strane, društvo će morati prihvatiti rastuće cijene energije, gubitak radnih mjesta u rudarstvu i potrebu za promjenom trenutnog profesionalnog profila ljudi koji rade u rudarstvu. To može značiti probleme za mnoge društvene skupine. Poljska vlada prepoznala je potrebu za promjenama, posebno u svjetlu ambicioznih klimatskih ciljeva Europske unije, koji uključuju postizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine. Kao država članica, Poljska je pod pritiskom da smanji svoj ugljični otisak i poveća svoj udio obnovljive energije u nacionalnoj kombinaciji izvora energije. Zemlja je napravila neke korake u tom smjeru, s rastućim ulaganjima u energiju vjetra, sunca i biomase, kao i istraživanje nuklearne energije kao potencijalnog kamena temeljca svoje budućnosti s niskim udjelom ugljika.

Jedan od ključnih izazova u energetske tranziciji Poljske društveni je i gospodarski utjecaj na regije ovisne o ugljenu, posebno u Šleskoj, gdje je vađenje ugljena glavni izvor zapošljavanja. Zatvaranje rudnika ugljena i odmak od elektrana na ugljen mogli bi dovesti do gubitka radnih mjesta i gospodarskih poremećaja, što predstavlja značajan izazov za kreatore politike. Kako bi to riješila, vlada radi na strategiji "pravedne tranzicije" koja ima za cilj podržati pogođene radnike i zajednice kroz programe prekvalifikacije, inicijative za ekonomsku diverzifikaciju i ulaganja u nove industrije. Drugi izazov je modernizacija poljske energetske infrastrukture, koja je ključna za integraciju obnovljivih izvora energije u mrežu i osiguravanje energetske sigurnosti. Tranzicija zahtijeva znatna ulaganja u širenje mreže, rješenja za skladištenje energije i pametne tehnologije za upravljanje varijabilnošću proizvodnje energije iz obnovljivih izvora. Osim toga, Poljska će morati prevladati regulatorne i financijske prepreke koje su u prošlosti usporavale uvođenje projekata obnovljive energije.

Na energetske tranzicije Poljske utječu i geopolitička razmatranja. Kako zemlja smanjuje svoju ovisnost o ugljenu, također mora upravljati svojom ovisnošću o uvozu prirodnog plina, posebno iz Rusije. Diversifikacija izvora energije i povećanje domaće proizvodnje energije smatraju se ključnima za jačanje energetske sigurnosti Poljske i smanjenje njezine osjetljivosti na poremećaje u vanjskoj opskrbi. U budućnosti će uspjeh energetske tranzicije Poljske ovisiti o nekoliko čimbenika. Politička predanost na nacionalnoj razini i na razini EU-a bit će ključna za poticanje potrebnih promjena politika i osiguravanje ulaganja potrebnih za tranziciju. Javna potpora i društveno prihvaćanje tranzicije, posebno u regijama ovisnim o ugljenu, također će imati ključnu

ulogu. Suradnja s međunarodnim partnerima, uključujući pristup fondovima EU-a i prijenos tehnologije, bit će ključna za pomoć Poljskoj u postizanju njezinih energetske i klimatskih ciljeva. Iako se Poljska suočava sa značajnim izazovima u svojoj energetskej tranziciji, ona također ima značajne mogućnosti za transformaciju svog energetskeg sektora u održiviji, diversificiraniji i otporniji sustav. Ako se njome učinkovito upravlja, ta bi tranzicija mogla ne samo doprinijeti globalnim klimatskim naporima, već bi mogla stvoriti nove gospodarske prilike i povećati energetske neovisnost Poljske. Međutim, morat će se ubrzati tempo tranzicije i bit će potrebna posebna pozornost kako bi se osiguralo pravedno i uključivo upravljanje socijalnim i gospodarskim učincima.

LITERATURA

1. CarbonBrief (b.d.) Analysis: World will add enough renewables in five years to power US and Canada, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.carbonbrief.org/analysis-world-will-add-enough-renewables-in-five-years-to-power-us-and-canada/>
2. Lagurashvili, T. (2024.), A Vision for Poland's Clean Energy Transition, preuzeto 24. kolovoz 2024. s <https://www.catf.us/resource/a-vision-for-polands-clean-energy-transition/>
3. Canas, N. (2024.), Departing from coal: Poland's new energy roadmap, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.euractiv.com/section/energy/news/departing-from-coal-polands-new-energy-roadmap/>
4. Czyżak, P. (2024.), Changing course: Poland's energy in 2023, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://ember-climate.org/insights/in-brief/changing-course-polands-energy-in-2023/>
5. OECD-iLibrary (2022.) Poland 2022 Energy Policy Review na dan 2.5.2024.[podatkovni dokument], preuzeto s https://www.oecd-ilibrary.org/energy/poland-2022-energy-policy-review_2075436d-en
6. Olszewski, M. (2024.), Will the new Polish government launch a renewable energy revolution?, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://energytransition.org/2024/01/will-the-new-polish-government-launch-a-renewable-energy-revolution/>
7. Ember-Climate (2023.) Poland, na dan 2.5.2024.[podatkovni dokument], preuzeto s <https://ember-climate.org/countries-and-regions/countries/poland/>
8. Mrozowska, S., Wendt J., Tomaszewski K., (2021.) The Challenges of Poland's Energy Transition na dan 2.5.2024. [e-publikacija], preuzeto s <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/23/8165>
9. IEA (2022.) Energy system of Poland na dan 2.5.2024. [podatkovni dokument], preuzeto s <https://www.iea.org/countries/poland>

10. Dąbrowski, W. (2023.) European energy transition: the Polish perspective, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.politico.eu/sponsored-content/european-energy-transition-the-polish-perspective/>
11. Kardaś, S. (2023.), From coal to consensus: Poland's energy transition and its European future, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://ecfr.eu/publication/from-coal-to-consensus-polands-energy-transition-and-its-european-future/>
12. Poljsko ministarstvo klime i okoliša (2021.), Energy Policy of Poland until 2040 (EPP2040), preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.gov.pl/web/climate/energy-policy-of-poland-until-2040-epp2040>
13. European Commission (b.d.) Poland's energy transition in the spotlight, preuzeto 2. svibnja 2024. s https://ec.europa.eu/regional_policy/whats-new/panorama/2023/09/13-09-2023-poland-s-energy-transition-in-the-spotlight_en
14. Dusilo, M. (2023.) Energy transition in Poland | 2023 edition, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.forum-energii.eu/en/energy-transition-in-poland-2023-edition>
15. Environmental Protection Agency (b.d.), Overview of Greenhouse Gases, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>
16. World Nuclear Association (b.d.) Nuclear Power in Poland, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/poland>
18. Gelo, T. (2018). Energetska tranzicija i novi model energetskeg tržišta. Dostupno na: <http://web.efzg.hr/repec/Chapters/chapter18-17.pdf>
19. IEA, (2022.) Poland 2022, Executive summary [e-publikacija], preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.iea.org/reports/poland-2022/executive-summary>
20. EnerData (b.d.), Poland energy information, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.enerdata.net/estore/energy-market/poland/>

21. Bertrand, S. (2021.) Fact Sheet | Climate, Environmental, and Health Impacts of Fossil Fuels (2021), preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-climate-environmental-and-health-impacts-of-fossil-fuels-2021>
22. Zulinski, J. (2018.) Poland's Transition to a Cleaner Economy, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.eesi.org/articles/view/polands-transition-to-a-cleaner-economy>
23. Global Energy Monitor (b.d.), Poland and fossil gas, preuzeto 2. svibnja 2024. s https://www.gem.wiki/Poland_and_fossil_gas
24. DNV (b.d.), Grid Congestion in the Polish Power Grid, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.dnv.com/article/grid-congestion-in-the-polish-power-grid/>
25. WorldData (b.d.), Energy consumption in Poland, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.worlddata.info/europe/poland/energy-consumption.php>
26. IEA, (2022.) Poland, Efficiency and demand na dan 2.6.2024. [podatkovni dokument], preuzeto s <https://www.iea.org/countries/poland/efficiency-demand>
27. Ptak A. (2023.) Poland overtakes US to have world's second largest lithium-ion battery production capacity, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://notesfrompoland.com/2024/01/03/poland-produced-record-26-of-electricity-from-renewables-in-2023/>
28. Ptak A. (2023.) Poland overtakes US to have world's second largest lithium-ion battery production capacity, preuzeto 2. svibnja 2024. <https://notesfrompoland.com/2023/04/06/poland-overtakes-us-to-have-worlds-second-largest-lithium-ion-battery-production-capacity/>
29. Mackenzie, W. (2021.) EVs: the biggest lever in driving the energy transition, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.woodmac.com/news/opinion/evs-the-biggest-lever-in-driving-the-energy-transition/>
30. PZPM (2024.), Electromobility Development Plan in Poland [e-publikacija], preuzeto s, <https://www.gov.pl/attachment/e4658a6d-6fd5-4fb3-a3d3-325446ba9029>

31. Dudkowiak M. (2023.) Electric Vehicles Regulation in Poland, preuzeto 2. svibnja 2024. s, <https://www.dudkowiak.com/regulatory-in-poland/electric-vehicles/>
32. IEA, (2022.) Poland, Coal na dan 2.6.2024. [podatkovni dokument], preuzeto s <https://www.iea.org/countries/poland/coal>
33. Taylor, K. (2023.) Poland's renewables capacity growing but coal still dominates – report [e-publikacija], preuzeto s <https://www.euractiv.com/section/energy/news/polands-renewables-capacity-growing-but-coal-still-dominates-report/>
34. Czyzak, P., Popp. R, (2023.) Eastern EU countries will make or break the bloc's 2030 renewables goal [e-publikacija], preuzeto s <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/opinion/eastern-eu-countries-will-make-or-break-the-blocs-2030-renewables-goal/>
35. BP (2021.) Statistical Review of world Energy 2021 [e-publikacija], preuzeto s <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>
36. EC (2021.) EU energy in figures [e-publikacija], preuzeto s https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/eu-energy-statistical-pocketbook-and-country-datasheets_en
37. CIA (2024.) Poland [e-publikacija], preuzeto s <https://www.cia.gov/the-world-factbook/countries/poland/#energy>
38. IEA (2022.) Poland, Energy mix na dan 2.6.2024. [podatkovni dokument], preuzeto s <https://www.iea.org/countries/poland/energy-mix>
39. Ritchie, H., Roser, M., (2023.) Poland: Energy Country Profile [e-publikacija], preuzeto s <https://ourworldindata.org/energy/country/poland>
40. Ritchie, H., Rosado, P., (2024.) Electricity Mix, [e-publikacija], preuzeto s <https://ourworldindata.org/electricity-mix>

41. Little, A. (2024.) Poland Energy Review 2024. [e-publikacija], preuzeto s https://www.adlittle.com/sites/default/files/2024-04/Poland%20Energy%20Review%202024_Arthur%20D.%20Little.pdf
42. Dusiło, M. (2024.) Energy Transition in Poland [e-publikacija], preuzeto s <https://www.forum-energii.eu/en/yearbook-energy-data-1>
43. Polskie Sieci Elektroenergetyczne, (2022.) Integrated Impact Report, [e-publikacija], preuzeto s <https://raport.pse.pl/en/edition-2021/economic-and-market-impact/stable-operation-of-the-national-power-system/>
44. National Report of the President of Energy Regulatory Office 2021 (2021.), [e-publikacija], preuzeto s <https://www.ure.gov.pl/download/2/525/Raport2021en.pdf>
45. Energy Regulatory Office (2022.) [e-publikacija], preuzeto s <https://www.ure.gov.pl/en/markets/electricity/elctricitymrket/292,2019-Electricity-Market-Characteristics.html>
46. IEA (2024.) Poland 2022, Data and statistics, na dan 2.6.2024. [podatkovni dokument], preuzeto s <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=BRAZIL&fuel=Electricity+and+heat&indicator=ElecGenByFuel>
47. Skrzypczyk, A. (2023.) How to modernize Poland's outdated electric grid [e-publikacija], preuzeto s <https://energytransition.org/2023/04/how-to-modernize-polands-outdated-electric-grid/>
48. Ministry of Climate and Environment, National Energy and Climate Plan 2021-2030 preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.gov.pl/web/klimat/krajowy-plan-na-rzecz-energii-i-klimatu>
49. IEA (2024.), Hydrogen Production and Infrastructure Projects Database, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-projects-database>

50. Gawlik, L., Mokrzycki, E., (2021.) Analysis of the Polish Hydrogen Strategy in the Context of the EU's Strategic Documents on Hydrogen [e-publikacija], preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/19/6382>
51. Schneider, F., Walter, D., Haley, B. (2024.) Poland's Pathways to Net-Zero Emissions [e-publikacija], preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.carbonfreeeurope.org/product/polands-pathways-to-net-zero-emissions>
52. World Nuclear Association (b.d.), Nuclear Power in Poland preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/poland#energy-policy>
53. ETI (2022.) The ETI Nuclear Cost Drivers Project, preuzeto 2. svibnja 2024. s https://www.lucidcatalyst.com/_files/ugd/2fed7a_917857d4f3544323a84f163e5e904c23.pdf
54. Keller, C., O'Neal, M. (2023.) Costing the earth: What will it take to make the green transition work? [e-publikacija], preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.ib.barclays/our-insights/3-point-perspective/costs-of-the-green-transition.html>
55. European Urban Initiative (b.d.), Energy Transition, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.urban-initiative.eu/energy-transition>
56. Enel Green Power (b.d.), The energy transition, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.enelgreenpower.com/learning-hub/energy-transition>
57. Enel Green Power (b.d.), Decarbonization, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.enelgreenpower.com/learning-hub/energy-transition/decarbonization>
58. S&P Global (b.d.), What is Energy Transition?, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.spglobal.com/en/research-insights/market-insights/what-is-energy-transition>
59. Clifford Chance (b.d.), Energy Transition Trends 2024, preuzeto 2. svibnja 2024. s https://www.cliffordchance.com/insights/thought_leadership/trends/2024/energy-transition-trends-2024.html

60. Denchak, M. (2022.) Fossil Fuels: The Dirty Facts [e-publikacija], preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.nrdc.org/stories/fossil-fuels-dirty-facts#sec-burning>
61. IEA, (2024.) Trends in electric cars [e-publikacija], preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024/trends-in-electric-cars>
62. Virta (b.d.) The global electric vehicle market overview in 2024, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.virta.global/global-electric-vehicle-market>
63. SLOCAT (b.d.) FossilFreeTransport, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://slocat.net/call-to-action-on-fossil-fuel-free-land-transport/>
64. IRENA (b.d.) Transport, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Transport>
65. Davidsson, (2015.) Global energy transitions [e-publikacija], preuzeto 2. svibnja 2024. s <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A791155&dswid=-937>
66. Smil, V. (2023.) Energy Transitions [e-publikacija], preuzeto 2. svibnja 2024. s https://vaclavsmil.com/wp-content/uploads/WEF_EN_IndustryVision-12.pdf
67. Bowen, M., Saha, S. (2023.) Poland's Nuclear Program Is on the Move [e-publikacija], preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.energypolicy.columbia.edu/polands-nuclear-program-is-on-the-move/>
68. IAEA (b.d.) AEA Reviews Poland's Nuclear Power Infrastructure Development, preuzeto 2. svibnja 2024. s <https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-reviews-polands-nuclear-power-infrastructure-development>
69. Gelo, T. (2024.) Energetska Tranzicija (e-publikacija), preuzeto 25. kolovoza 2024. s <https://classroom.google.com/u/1/c/NjUxNjA3OTAzNzAy>

POPIS SLIKA

Slika 1: NuScale mali modularni reaktor

Slika 2: Iskorištenost tla prema izvoru energije

Slika 3: SMR

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1: Potrošnja fosilnih goriva po stanovniku 2021.

Grafikon 2: CO2 emisije po osobi

Grafikon 3: Udio generacije električne energije Poljske prema izvoru

Grafikon 4: Kapacitet proizvodnje baterija prema državama u 2022.

Grafikon 5: Podrška tehnologijama čiste energije u Poljskoj

Grafikon 6: Ukupna potrošnja energije Poljske (ktoe)

Grafikon 7: Proizvodnja sirove nafte

Grafikon 8: Udio proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora

Grafikon 9: Ukupna ponuda energije Poljske

Grafikon 10: Domaća proizvodnja energije Poljske u 2022.

Grafikon 11: Ukupna konačna potrošnja energije Poljske

Grafikon 12: Ukupna konačna potrošnja Poljske prema sektorima

Grafikon 13: Potrošnja energije u Poljskoj prema izvoru

Grafikon 14: Proizvodnja električne energije prema izvoru

Grafikon 15: Neto potrošnja električne energije

Grafikon 16: Neto potrošnja električne energije po stanovniku

Grafikon 17: Proizvodnja električne energije u Poljskoj

Grafikon 18: Finalna potrošnja električne energije po sektoru

Grafikon 19: Struktura emisija stakleničkih plinova u Poljskoj u 2021.

Grafikon 20: CO2 emisije Poljske kroz godine u milijunima toni

Grafikon 21: BDP po stanovniku prema paritetu kupovne moći

Grafikon 22: BDP, U.S. dolari po stanovniku

Grafikon 23: Energetska intenzivnost stambenih zgrada

Grafikon 24: Energetska intenzivnost

Grafikon 25: Udio pojedinih obnovljivih izvora energije u generaciji električne energije