

# Analiza i rješenje niskouglične tranzicije na primjeru grada u Hrvatskoj

---

**Rizvić, Antonela**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:798138>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-01**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Diplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Diplomski rad

**ANALIZA I RJEŠENJE NISKOUGLJIČNE TRANZICIJE NA  
PRIMJERU GRADA U HRVATSKOJ**

Rijeka, studeni 2023.

Antonela Rizvić  
0069079661

SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Diplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Diplomski rad

**ANALIZA I RJEŠENJE NISKOUGLJIČNE TRANZICIJE NA  
PRIMJERU GRADA U HRVATSKOJ**

Mentor: prof. dr. sc. Alfredo Višković

Rijeka, studeni 2023.

Antonela Rizvić  
0069079661

## IZJAVA

Izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad prema zadatku preuzetom dana 20. ožujka 2023. godine.

Rijeka, 14. studenog 2023.

---

Antonela Rizvić

## ZAHVALA

Zahvaljujem mentoru na smjernicama koje su mi pomogle pri pisanju ovog rada i svima koji su me voljeli, na strpljenju i podršci tijekom studija.

## Sadržaj

<b>1. Uvod</b>	<b>3</b>
<b>2. Energetska tranzicija</b>	<b>4</b>
2.1. Odnos suvremenih faktora u energetskej tranziciji i prethodnih energetskej promjena	4
2.1.1. Bonsel sporazum . . . . .	5
2.1.2. Pariški sporazum . . . . .	6
2.2. Promjene tržišta električne energije . . . . .	7
2.3. Plin kao tranzicijsko gorivo . . . . .	8
2.3.1. Prirodni plin u prijevozu . . . . .	9
<b>3. Energetska tranzicija u Hrvatskoj</b>	<b>10</b>
3.1. Teženje ka nultom karbonskom otisku . . . . .	10
3.2. Vizije niskougličnog razvoja pojedinih sektora do 2050. godine . . . . .	11
3.3. Sustav trgovanja emisijama . . . . .	12
3.3.1. Analiza životnog ciklusa . . . . .	13
3.4. Emisije stakleničkih plinova u Hrvatskoj . . . . .	13
3.5. Energetsko stanje Hrvatske 2021. i udio proizvodnje pojedinih izvora energije . . . . .	13
<b>4. Analiza energetske stanja grada Rijeke</b>	<b>16</b>
4.1. Osnovni kontekst i karakteristike grada Rijeke . . . . .	17
4.2. Analiza energetske potencijala u gradu Rijeci . . . . .	19
4.2.1. Reljef . . . . .	19
4.2.2. Vode i more . . . . .	19
4.2.3. Vegetacija . . . . .	19
4.3. Obnovljivi izvori energije u Rijeci . . . . .	20
4.3.1. Termoelektrana Rijeka . . . . .	20
4.3.2. Promet . . . . .	20
4.3.3. Postrojenje za proizvodnju električne energije Viševac . . . . .	21
4.3.4. Manja postrojenja za proizvodnju električne energije iz OIE . . . . .	21
<b>5. Rješenja energetske tranzicije u gradu Rijeci</b>	<b>23</b>
5.1. Rješenje: Vjetroelektrane . . . . .	23
5.2. Vjetroenergija . . . . .	23

5.3. Vjetroenergija u Hrvatskoj . . . . .	25
5.4. RETScreen Expert . . . . .	26
5.4.1. Tehnička analiza . . . . .	26
5.4.2. Ekološka analiza . . . . .	31
5.4.3. Ekonomska analiza . . . . .	32
5.5. Rješenje: Sunčeva energija . . . . .	39
5.5.1. Solarno ozračenje . . . . .	41
5.5.2. Tehnička analiza . . . . .	42
5.5.3. Ekološka analiza . . . . .	45
5.5.4. Ekonomska analiza . . . . .	46
<b>6. Izvodljivost rješenja</b>	<b>50</b>
<b>7. Problem skladištenja energije</b>	<b>52</b>
7.1. Baterijski sustavi povezani na mrežu . . . . .	54
7.2. Vrste baterija za skladištenje energije . . . . .	55
7.2.1. Litijeve baterije . . . . .	55
7.2.2. Protočne baterije . . . . .	56
7.2.3. Visokotemperaturne baterije . . . . .	56
7.2.4. Superkondenzatori . . . . .	57
<b>8. Usporedba energetske tranzicije s projektima u Europskoj Uniji</b>	<b>58</b>
8.1. Kompleks "Senftenberg" . . . . .	58
8.2. Plan izgradnje vjetroelektrane na Kriegers Flaku . . . . .	59
<b>9. Zaključak</b>	<b>60</b>
<b>Literatura</b>	<b>61</b>
<b>Sažetak i ključne riječi</b>	<b>64</b>
<b>Summary and key words</b>	<b>65</b>

## 1. Uvod

Problem energetske tranzicije postoji i oblikuje našu budućnost u smjerovima koje je teško jasno predvidjeti. Ovaj rad pružit će ideju o jednom dijelu energetske tranzicije u mojoj neposrednoj blizini, gradu Rijeci. Počevši od povijesti promjena u svijetu prouzrokovanih ljudskim djelovanjem i nastojanjem da se ono kontrolira, rad će pružiti pregled tranzicije u svijetu i Hrvatskoj. Biti će ponuđena rješenja za implementaciju ideje nultog karbonskog otiska u gradu Rijeci kroz tehničku i ekonomsku analizu projekata vjetroenergije i solarne energije. U prvom se dijelu rada istražuju suvremeni faktori u energetske tranziciji, gdje je posebna pažnja posvećena usporedbi s prethodnim energetske promjenama. Analiziraju se ključni međunarodni sporazumi, poput Bonškog i Pariškog te se istražuju promjene na tržištu električne energije. Dodatno, razmatra se uloga plina kao tranzicijskog goriva, posebice u prijevozu. Nadalje, rad pruža analizu energetske tranzicije u Hrvatskoj, istražujući težnje prema nultom karbonskom otisku te sustav trgovanja emisijama. Proučava se emisija stakleničkih plinova u zemlji, a detaljno se analizira energetske stanje u 2021. godini, uz osvrt na udio proizvodnje iz različitih izvora energije. U drugom se dijelu rada fokus usmjerava na analizu energetske stanja grada Rijeke, gdje se istražuju osnovni kontekst i karakteristike grada uz naglasak na energetske potencijale u tom području. Opsuju se i analiziraju izvori energije, uključujući termoelektranu Rijeku, promet, postrojenje za proizvodnju električne energije Viševac te manja postrojenja iz obnovljivih izvora energije. U narednom se poglavlju predstavljaju rješenja za energetske tranziciju grada Rijeke kroz tehničku, ekološku i ekonomsku analizu, a za proračun i procjenu izvodljivosti rješenja koristi se programski paket RETScreen Expert.



## 2. Energetska tranzicija

### 2.1. Odnos suvremenih faktora u energetskej tranziciji i prethodnih energetskej promjena

Energetska tranzicija podrazumijeva posebno značajan skup promjena u obrascima korištenja energije u društvu, koje utječu na bilo koji korak u energetskej lancu, a često utječu na njih više. Najčešće spominjane energetske tranzicije su promjene iz drva, kao primarnog energetskeg resursa, u ugljen te iz ugljena u hidrokarbone, naftu i plin. Te su promjene bile praćene promjenama u tehnologijama i pružanju energetskej usluga kao što su grijanje, hlađenje, osvjetljenje i mehanička snaga. U 19. stoljeću, mnoge su agrarne tehnologije koje su ovisile o drvu i životinjskeg snazi postale industrijske, pogonjene ugljenom i parnim strojem. U 20. stoljeću, događa se još jedna transformacija, gdje se ekonomija oslanja na različite vrste goriva koje se koriste u motorima s unutarnjim izgaranjem i generatorima električne energije. Goriva i tehnologije koje su korištene, mijenjale su se kako se mijenjala potražnja za energetskej uslugama. Razumijevanje povijesnih energetskej prijelaza pruža uvid u buduće energetske prijelaze, što je posebno korisno kod promatranja energetske slike zemalja u razvoju. Danas se nalazimo u doba energetske tranzicije, gdje prelazimo s fosilnih na nove, obnovljive izvore energije kao primarni izvor energije. Suvremeni razlozi za novu energetskej tranziciju uključuju klimatske promjene, ograničenja resursa fosilnih goriva i potrebu za razvojem.[3]

Ova tranzicija također uključuje poboljšanje energetske učinkovitosti, razvoj održivih tehnologija i promjene u energetskej infrastrukturi, a ključan aspekt je dekarbonizacija i smanjenje karbonskeg otiska, odnosno smanjenje ispuštanja ugljikoveg dioksida.

Dekarbonizacija označava smanjenje prosječne emisije ugljika primarne energije tijekom vremena zahvaljujući iskorištavanju čistih i novih izvora energije. Ciljevi dekarbonizacije većine dijelova svijeta nedavno su postavljeni na globalnoj razini po prvi put na Konferenciji COP21 u Parizu 2015. godine, gdje su predložene akcije s ciljem održavanja globalnog povećanja temperature znatno ispod 2 °C tijekom ovog stoljeća i poduzimanja napora da se temperatura poveća još manje od 1,5 °C iznad predindustrijskih razina[7], što će biti detaljnije opisano u poglavljima koja slijede.

Zagađenje i klimatske promjene jednim dijelom nastaju sagorijevanjem fosilnih goriva koje proizvodi značajnu količinu emisija stakleničkej plinova i drugih onečišćenja koja uključuju stvaranje stakleničkej plinova te nečistoće ili sitne čestice zarobljene u gorivu koje se oslobađaju u zrak. Staklenički plinovi sami po sebi ne predstavljaju zdravstvenu opasnost i općenito su sigurni, ali poteškoće nastaju kada se velike količine stakleničkej plinova oslobode u atmosferu. Baza fosilnih goriva je ugljik, a prilikom njihova izgaranja dolazi do stvaranja ugljikoveg dioksida, čije velike količine mogu pojačati staklenički učinak. Tijekom sagorijevanja također se proizvode dušični i sumporni oksidi. Dušik je prisutan u atmosferi, a tragovi sumpora često su zarobljeni u

fosilnim gorivima. Kada se ovi oksidi kombiniraju s vodom, formiraju se kisele kiše koje predstavljaju problem za vegetaciju i životinje. Također, teški metali poput žive, plutonija i olova se često oslobađaju sagorijevanjem fosilnih goriva. Akumulacija teških metala u tijelu nastaje jer se oni ne raspadaju, a ukoliko je ona dovoljno velika, postaje otrovna. [6]

U nastavku su navedeni ciljevi i odgovarajuće sankcije kao odgovor na prijetnju zagađenja i klimatskih promjena u obliku dva sporazuma, Borskog i Pariškog, koji su povijesno imali značaj i doprinjeli promjenama.

### 2.1.1. Borski sporazum

U Bonnu je 2001. godine održan susret na kojem su se okupili delegati iz 180 zemalja, a raspravljalo se o kažnjavanju država koje ne budu poštovale najvišu utvrđenu razinu emisija. Neke od značajnijih točaka sporazuma bile su:

#### 1. Fondovi

Osnovana su tri nova fonda s namjerom pružanja podrške zemljama u razvoju. Prvi je podrazumijevao financiranje aktivnosti za prilagođavanje klimatskim promjenama, za prijenos tehnologija i za energiju i prijevoz zemljama u razvoju. Drugi je izvor financiranja imao za cilj povećanje sposobnosti pretvorbe gospodarstva, što podrazumijeva širok raspon mjera i aktivnosti usmjerenih na promjenu gospodarskih sektora kako bi postali održivi i manje ovisni o fosilnim gorivima (razvoj obnovljivih izvora energije, energetska učinkovitost, zelene tehnologije, prilagodbe industrijskim procesima). Treći fond bio je namijenjen zemljama koje su ratificirale taj dokument. Političkom deklaracijom određeno je da se 450 000 dolara godišnje namijeni zemljama u razvoju, počevši od 2005. godine.

#### 2. Šume

Upravljanje šumama prepoznaje se kao sredstvo za ublažavanje klimatskih promjena obzirom da one apsorbiraju ugljik iz atmosfere tijekom fotosinteze. Sporazum naglašava važnost smanjenja emisija iz krčenja šuma, promicanja održivih praksi upravljanja šumama te jačanja kapaciteta za zaštitu i očuvanje šumskih ekosustava. Industrijalizirane zemlje mogu se koristiti šumama i poljoprivrednim područjima za postizanje svojih ciljeva do 57 posto. Količina ugljika koji se može apsorbirati kroz ponore šuma je po protokolu procijenjena na 96 milijuna tona godišnje, dok je na globalnoj razini to svedeno na 1.8 posto ukupnih stakleničkih plinova koji su proizvedeni 1990. godine.

#### 3. Kazne

Odlučeno je da će postojati sankcije prema državama, koje se ne budu pridržavale zadanih parametara, te će se nadziranjem pomoću kontrolnih grupa jamčiti poštovanje obveza i usmjeravanje ka fiksno određenim granicama emisija stakleničkih plinova. [1]

### 2.1.2. Pariški sporazum

Pariški sporazum je pravno obvezujući međunarodni sporazum o klimatskim promjenama, koji je usvojen od strane 196 stranaka na Konferenciji Ujedinjenih naroda o klimatskim promjenama u Parizu. Sporazum je nastao 12. prosinca 2015. godine, a stupio na snagu 4. studenog 2016. godine. [8]

U sporazumu se navode važnosti potreba za učinkovitim i progresivnim odgovorom na hitnu prijetnju klimatskim promjenama, koje se temelje na dostupnim znanstvenim spoznajama, posebnim potrebama i okolnostima zemalja u razvoju koje su posebno osjetljive na nepovoljne učinke klimatskih promjena te, između ostalog, potrebe i situacije najmanje razvijenih zemalja u vezi s financiranjem i transferom tehnologije. Sporazum ima za cilj ojačati globalni odgovor na prijetnju klimatskim promjenama, uključujući održavanje porasta globalne prosječne temperature znatno ispod 2°C iznad razina iz razdoblja prije industrijske revolucije i nastojanje da se ograniči porast temperature na 1,5°C iznad razina iz razdoblja prije industrijske revolucije.

Ključne odredbe sporazuma su:

- **Financiranje :** Sporazum poziva razvijene zemlje da pruže financijsku podršku zemljama u razvoju kako bi im pomogle u suočavanju s klimatskim promjenama. Razvijene zemlje trebaju i dalje preuzimati vodeću ulogu u postizanju ciljeva apsolutnog smanjenja emisija na razini cjelokupnog gospodarstva. Zemlje u razvoju trebaju nastaviti unaprjeđivati svoje napore da se tijekom vremena prebace na ciljeve smanjenja ili ograničenja emisija na razini cjelokupnog gospodarstva.
- **Tehnička suradnja i transfer tehnologije:** Sporazum promiče suradnju među zemljama u području tehnologije, istraživanja i razvoja. Također, potiče se suradnja u području transfera kako bi se olakšala prilagodba klimatskim promjenama.
- **Transparentnost:** Zemlje su obvezne redovito izvještavati o svojim aktivnostima i napretku u postizanju ciljeva kako bi se osigurala transparentnost i praćenje njihovih napora. Svaka strana obvezna je svakih pet godina izvještavati o nacionalno određenom doprinosu, uzimajući u obzir rezultate globalne analize napretka.

Nadalje, navedene su mjere koje bi trebale pomoći u zaštiti sigurnosti hrane i okončanja gladi, jer se smatra da postoji intrinzični odnos između mjera za suzbijanje klimatskih promjena, odgovora na njih i njihovih utjecaja s održivim razvojem i iskorjenjivanjem siromaštva. Ističe se kako su klimatske promjene zajednička briga čovječanstva te kako bi se pri poduzimanju mjera za suočavanje s klimatskim promjenama, trebale poštovati, promicati i uzimati u obzir svoje odgovornosti prema ljudskim pravima, pravu na zdravlje, pravima domorodačkih naroda, lokalnih zajednica, migranata, djece, osoba s invaliditetom i ljudi u ranjivim situacijama, kao i pravo na razvoj, kao i rodnu ravnopravnost, osnaživanje žena i međugeneracijsku pravičnost. [9]

## 2.2. Promjene tržišta električne energije

U procesu trenutne energetske tranzicije na obnovljive izvore energije dolazi do preustroja elektroenergetskog sustava. Povijesno je sustav bio koncipiran tako da su potrošači imali pristup energiji preko organizirane elektroprivredne tvrtke kao jedinog dobavljača energije. Cijene su bile regulirane državnim tijelima kako bi bilo spriječeno njihovo neželjeno podizanje i variranje. Takva je zakonska regulacija bila propisana 1920-ih. [4]

Primjerice, 1926. je u Velikoj Britaniji uspostavljeno javno tijelo „Central Electricity Board” sa zadatkom stvaranja mreže za prijenos električne energije. Takav je pothvat omogućio da se izgradi mreža koja je za to doba imala visoki napon od 132kV, za razliku od manjih prijenosnih mreža jer je sustav distribucije s velikim brojem privatnih tvrtki i gradskih tijela bio neučinkovit zbog prevelike fragmentiranosti. Integracija cijelog prijenosnog sustava imala je za posljedicu znatno smanjenje cijena električne energije. Još jedan primjer je Francuska, gdje se takav sustav uvodi poslje Prvog svjetskog rata, stvara se organizacijski sustav koji je temeljen na međusobno povezanim tvrtkama regionalnog značaja, koje su 1936. godine stvorile distribucijsku mrežu. [5]

Tijekom razvoja tehnologija, nastale su nove mogućnosti za trgovinu, ali je zbog nastalog vertikalno integriranog sustava postavljen monopol, zbog čega je razvoj trgovine usporen. Ipak, stvorila se mogućnost izdvajanja proizvodnje i formiranja odvojenog slobodnog tržišta, gdje je svakoj tvrtki elektroprivrede dodijeljeno područje koje treba opskrbljivati električnom energijom, a opskrbu regulira država koja na taj način štiti potrošače. Cijena električne energije tako je određena temeljem ukupnih troškova prijenosa, distribucije i proizvodnje uz primjerenu dobit. Trenutna energetska tranzicija uključuje proces u kojemu se od postojećih elektroprivrednih tvrtki nastoji stvoriti suvremeno trgovačko društvo, a očekuje se da će se promjenom ustroja sustava ostvariti decentralizirani elektroenergetski sustav, usmjeren prema potrebama potrošača gdje će umjesto jedne konkurentne tvrtke postojati različiti raspoloživi izvori energije. Posebna pozornost ovakvog sustava posvećena je učinkovitijem i ekološki prihvatljivijem korištenju energije, a promjene bi trebale dovesti do niže kupovne cijene energije što za posljedicu ima brži razvoj poslovnih i industrijskih djelatnosti.

Jedan od najbitnijih dokumenata koji se odnosi na suvremenu energetska politiku je Ugovor o energetska povelji (Energy Charter Treaty) koji je sklopljen 17.12.1994., a potpisala ga je 51 država. Ugovor regulira trgovinu energetska materijalima i proizvodima, promicanje i zaštitu investicija, tranzit energetska dobara, smanjivanje negativnih utjecaja na okoliš poboljšanjem energetska učinkovitosti te transfer energetska tehnologija. Svrha ugovora je da se uspostavi zakonski okvir dugoročne suradnje dok su naglašene važne odredbe o trgovini, tranzitu i investicijama s ciljem tržišne rekonstrukcije elektroenergetskog sektora. Na taj način trgovanje električnom energijom može se promatrati kao trgovinu uslugom ili robom. Cilj tranzicije otvaranja tržišta, odnosno prelaska iz zatvorenog u otvoreno tržište električne energije, je liberalizacija kojom se uvodi konkurencija u ranije nekonkurentna i regulirana tržišta. Novi ustroj elektroprivrede podrazumijeva reorganiziranje okomito integriranog elektroenergetskog sustava u vodoravno inte-

grirani elektroenergetski sustav. Umjesto jedinstvene tvrtke uspostavljaju se tvrtke za distribuciju, prijenos i proizvodnju električne energije te se pojavljuju i druge kao što su operator sustava, operator tržišta, trgovci električnom energijom i još mnoge druge. Nakon rekonstrukcije sustava, neke djelatnosti ostaju regulirane, a neke postaju tržišne. Regulirane djelatnosti su vođenje sustava, što obuhvaća osnivanje jedne tvrtke koja obično ostaje u vlasništvu države, elektroenergetska mreža, gdje se osnivaju tvrtke za prijenos i distribuciju električne energije koje skrbe o transportu energije. Tržišne djelatnosti su proizvodnja, gdje se očekuje pojava konkurencije između većeg broja tvrtki koje se bave proizvodnjom električne energije, veletrgovina, gdje se očekuje nastanak tvrtki koje će od proizvođača kupovati električnu energiju i nuditi ju na tržištu i opskrba, gdje se očekuje pojava tvrtki koji će nuditi energiju krajnjem potrošaču, koji će imati pravo izbora opskrbljivača električne energije [4]

U Republici Hrvatskoj trenutno na maloprodajnom tržištu električne energije nema reguliranih cijena i ono je potpuno otvoreno. Međutim, postoji izuzetak u regulaciji cijena za zajamčenu opskrbu koja se aktivira kada kupci iz kategorije poduzetništva ostanu bez ugovora o opskrbi s tržišnim opskrbljivačem električne energije. Ovaj mehanizam osigurava da ti kupci imaju neprekinutu opskrbu električnom energijom, a zajamčenu opskrbu obavlja HEP ELEKTRA d.o.o. Krajnje kupce iz kategorije kućanstva koji nisu odabrali opskrbljivača na tržištu električne energije također opskrbljuje HEP ELEKTRA d.o.o. u okviru univerzalne usluge, ali po cijeni koju slobodno određuje. Te cijene nisu regulirane, što znači da HEP ELEKTRA d.o.o. ima fleksibilnost u određivanju cijena za tu kategoriju krajnjih kupaca. [14]

### **2.3. Plin kao tranzicijsko gorivo**

Problem koji nastaje u okviru energetske tranzicije je taj što prelazak na sustav u kojemu postoji neovisnost o fosilnim gorivima nije moguć trenutno, već će biti potreban duži vremenski period istraživanja i razvoja kako bi energija iz obnovljivih izvora energije mogla u potpunosti zamijeniti energiju iz fosilnih goriva. Trenutno se u tranzicijskom razdoblju može koristiti prirodni plin kao tranzicijsko gorivo jer zajedno s korištenjem postojeće infrastrukture olakšava prijelaz na energetski sustav bez fosilnih goriva.[10]

Prirodni plin ima najbolji omjer vodika i ugljika za iskorištavanje energije pa tako i najmanje opterećenje  $CO_2$  za atmosferu prilikom izgaranja. Osim toga, prirodni je plin jeftin na globalnom tržištu i može se proizvoditi na različite biološke i sintetičke načine iz održivih izvora.[10] Prirodni plin je fosilno gorivo koje sadrži mješavinu ugljikovodika, uglavnom metana ( $CH_4$ ), a u manjim omjerima i etana, ( $C_2H_6$ ), propana ( $C_3H_8$ ) i butana ( $C_4H_{10}$ ). To je bezbojan plin bez mirisa, visoko zapaljiv, a koristi se u proizvodnji električne energije, za grijanje i kuhanje u kućanstvima. Prirodni plin se pretežito prenosi u tekućem obliku ukapljenog prirodnog plina (LNG), a prilikom ukapljivanja sveden je na okvirno -160 stupnjeva Celzijusa. Na taj način se prirodnom plinu smanjuje volumen za otprilike 600 puta. Smanjenje volumena omogućuje ekonomski ispla-

tiv transport brodom na posebno velike udaljenosti. Prije nego se LNG može koristiti kao gorivo, mora biti vraćen u plinovito stanje.

Prognozira se da će u idućim desetljećima prirodni plin biti glavni izvor primarne energije, a da će do 2050. godine prestići naftu. Ipak, političke, geografske i financijske prepreke u razvoju plina bit će teže prevladati, uz tehnološke prepreke prijevoza velikih količina plina. [11]

### 2.3.1. Prirodni plin u prijevozu

Jedna od primjena prirodnog plina u energetskej tranziciji je u prijevozu. Danas je mobilnost temeljna potreba za rast, prosperitet i kvalitetu života u Europi, a plin je resurs koji omogućuje niskokarbonski cestovni prijevoz putnika i tereta u odnosu na benzinska i dizelska goriva. Nakon ulaganja u poboljšanje klasičnih motora s unutarnjim izgaranjem, pažnja se usmjerava na alternativne tehnologije za smanjenje utjecaja  $CO_2$ , a najznačajnije su elektrifikacija vozila i alternativna goriva s niskim udjelom  $CO_2$ . Prirodni plin ima važnu ulogu u strategiji smanjenja  $CO_2$  jer ima manje od 20% proizvodnje štetnih emisija u odnosu na benzin i 10% u odnosu na dizelsko gorivo što daje prirodnom plinu prednost u odnosu na fosilna goriva. Većinom je smanjenje  $CO_2$  korištenjem prirodnog plina kao goriva rezultat visokog omjera vodika i ugljika. To je homogeno gorivo što znači da ima potencijal za uštedu energije od nekoliko posto zbog mogućnosti većih kompresijskih omjera. Primjerice, to je vidljivo na primjeru gdje automobil na plin s 110 konjskih snaga ima emisiju  $CO_2$  od 88 g/km, a obiteljski karavan s 150 konjskih snaga ima emisiju  $CO_2$  od 117 g/km, dok oba vozila pripadaju učinkovitosti razreda A. Prirodni plin također ima prednosti kada je riječ o emisijama štetnih tvari. Pri izgaranju plinski motori zahtijevaju puno manje složen tretman ispušnih plinova od dizelskih motora. Globalne rezerve prirodnog plina i globalna dostupnost prirodnog plina značajno premašuju rezerve tekućih fosilnih goriva stoga je prirodni plin također važan dio opskrbe energijom te se dobiva iz širokog spektra izvora. [10]

Kako postaje sve dostupniji, ukapljeni prirodni plin (LNG) će predstavljati sve važniju alternativu dizelskom gorivu u klasičnom dugo linijskom teretnom prijevozu. Ukapljeni prirodni plin će predstavljati važnu alternativu dizelskom gorivu u teretnom prijevozu na velike udaljenosti iz razloga što su motori na LNG spremni na serijsku proizvodnju i učinkoviti, a energija sadržana u LNG je dovoljno visoka za prijevoz na dugim relacijama. Punjenje ukapljenim prirodnim plinom je jednostavno i brzo pa ne predstavlja tehničke prepreke. Ukapljenom prirodnom plinu mogu se naći zamjene kao što je biometan koji također ima malen ugljični otisak, a danas čini oko 20 posto prodaje prirodnog plina na benzinskim postajama. [10]

### **3. Energetska tranzicija u Hrvatskoj**

#### **3.1. Teženje ka nultom karbonskom otisku**

Obzirom da je Hrvatska članica Europske Unije, potrebno je uzeti u obzir strategije energetske tranzicije koje provodi Europska unija. Prema strateškim mjerama Europske Unije s ciljem napredne klimatske politike, zadatak koji se nameće podrazumijeva potrošačima Europske Unije pružiti sigurnu, održivu, konkurentnu i povoljnu energiju u sustavu u kojem su države članice međusobno ovisne u opskrbi građana energijom. Kako bi to bilo moguće, potrebna je transformacija Europskog energetskog sustava. Ideja koju je potrebno provesti uključuje integrirani energetski sustav u kojemu energija prelazi granice država kao rezultat najučinkovitijeg korištenja resursa i regulacije energije. Takvo zamišljeno gospodarstvo bilo bi klimatski prihvatljivo i trajno, s niskim emisijama ugljika koristeći inovativne tehnologije. [2]

Vlada Republike Hrvatske razvila je 2021. strategije za niskougljičnu promjenu u zemlji, a temeljna je svrha strategije pokrenuti promjene u društvu koje bi trebale doprinijeti smanjenju emisija stakleničkih plinova i omogućiti razdvajanje emisija stakleničkih plinova od gospodarskog rasta zemlje. Strategija se također fokusira na pojedinačno ograničenje globalnog porasta temperature. U okviru strategijskog plana navedeno je kako Republika Hrvatska, sukladno ratificiranim međunarodnim sporazumima, treba dati svoj doprinos u smanjenju emisija stakleničkih plinova. Izneseno je kako niskougljičnu promjenu gospodarstva treba ostvariti kroz inovacije i razvoj koje mogu doprinijeti jačanju konkurentnosti na europskom tržištu te kroz ulaganje u zelene tehnologije i zeleno poslovanje. Obzirom da je Hrvatska dio Europske Unije, djeluje u skladu s klimatskom ambicijom da Europska Unija bude klimatski neutralna do 2050. godine, prema Europskom zelenom planu Europske komisije. Imajući u vidu izvješće Međuvladinog panela za klimatske promjene 2019., globalni trend porasta temperature je trenutno na + 1,1 °C, a ukoliko se nastavi povećavati jednako, smatra se kako će globalno zagrijavanje dosegnuti + 1,5 °C između 2030. i 2052. godine.

Vizija niskougljične strategije je ona u kojoj društvo ima pristup energiji koja je sigurna i proizvedena iz obnovljivih izvora s malim emisijama, život ugodniji i zdraviji, a upravljanje resursima djelotvornije. Potrošači energije ujedino su i proizvođači, novi fond zgrada građen po principima gotovo nulte energije i kružnog gospodarenja. Prometni sustav je u takvom društvu integriran s vozilima na električni pogon i s korištenjem neutralnog klimatskog i niskougljičnog goriva, a stvaranje otpadnih materijala smanjeno i uključeno u kružno gospodarstvo u kojem se nastoji zatvoriti krug materijala i resursa kroz cijeli životni ciklus proizvoda. Republika Hrvatska se pridružila Pariškom sporazumu 2017. godine, čime je preuzela obvezu provođenja mjera za smanjenje emisija stakleničkih plinova u skladu s obvezama Europske unije.

Ciljevi niskougljične strategije za Republiku Hrvatsku provodit će se do 2030. godine unutar

političkog okvira usvojenog od strane Europske Unije. Odnosi se na sve sektore gospodarstva, a posebice na energetku, promet, industriju, šumarstvo, poljoprivredu i gospodarenje otpadom. Postavljen je temeljni cilj kojemu Republika Hrvatska treba težiti do 2030. Godine, a on podrazumijeva ostvarenje smanjenja emisija za 7 posto u sektorima izvan ETS-a (Emissions Trading System) u odnosu na one 2005. godine. [12]

### 3.2. Vizije niskougljičnog razvoja pojedinih sektora do 2050. godine

#### 1. Sektor : Energetska postrojenja

U ovom je sektoru naglasak na decentralizaciju, odnosno prenošenje proizvodnje s velikih proizvodnih jedinica na manje obnovljive proizvodne jedinice. Očekuje se život u niskoenergetskim zgradama malih emisija, s pametnim sustavima hlađenja i grijanja s visokom energetsom učinkovitosti.

#### 2. Sektor : Promet

Ovaj sektor obuhvaća prometnu infrastrukturu sastavljenu od električnih i hibridnih vozila, vozila koja koriste alternativna niskougljična goriva i goriva neutralna za klimu. Smatra se kako se kvaliteta života može unaprijediti tako da za većinu gradskih putovanja automobili ne budu potrebni, već bi se koristili niskougljičan javni prijevoz i razvijen biciklistički promet.

#### 3. Sektor : Poljoprivreda

Slika gospodarstva u budućnosti opisuje ona koja će biti konkurentna i ekonomski održiva, s uzgojem orijentiranim na eko-proizvodnji i zelenom tržištu, uz poštivanje agrošumarskih sustava i agrokolišnih mjera. Ruralna područja će biti gotovo energetske neutralna i resursno učinkovita te će se proizvoditi biomasa goriva bez ugrožavanja proizvodnje hrane. Na taj način će se proaktivno doprinosti smanjenju emisija stakleničkih plinova s neznatnim utjecajima na okoliš.

#### 4. Sektor : Zemljišta i šumarstvo

Potrebno je osigurati da korištenje zemljišta, promjene namjene zemljišta i prakse u šumarstvu trajno stvaraju sustav koji apsorbira  $CO_2$ . Šumarstvo će nastaviti s praksom održivog upravljanja šumama, koja se već tradicionalno primjenjuje, a na određenim površinama šuma, povećanje prirasta će se postići kroz šumsko uzgojne radove, uključujući konverziju i preoblikovanje šuma iz niskog u viši uzgojni oblik, čime se povećava kapacitet ponora ugljika u šumskoj biomasi. Ostaci iz drvne proizvodnje i šuma iskoristit će se na ekonomski i ekološki održiv način. Zalihe ugljika u šumskoj biomasi, uključujući drvenu biomasu, tlo, listinac i mrtvo drvo, bit će povećane kako bi se sektor korištenja zemljišta i šumarstvo dugoročno pretvorili u spremnik za stakleničke plinove. Drvni proizvodi predstavljaju dugotrajno skladište ugljika, s emisijom koja se odgađa na duže vremensko razdoblje, ovisno o vrsti proizvoda. Poticanje korištenja drvnih proizvoda promovirat će se u tradicionalnim



i novim područjima primjene. Šumarstvo će imati visok stupanj informacija o stanju šuma, inventaru, prijetnjama i projekcijama trendova.

#### 5. Sektor : Otpad

Količina otpada bit će svedena na minimum odvojenim prikupljanjem, recikliranjem i sprječavanjem nastanka otpada. Centri za gospodarenje otpadom koristit će napredne tehnologije kojima se mogu dobiti kemijski spojevi koji se mogu koristiti kao goriva ili u industrijskoj proizvodnji, a sva će odlagališta otpada biti sanirana. Kružnim će se gospodarstvom vrijednost proizvoda, resursa i materijala dulje zadržavati u gospodarstvu. Glavna odrednica prelaska s postojećeg linearnog gospodarstva na održivo i konkurentno kružno gospodarstvo s niskim emisijama ugljika je implementacija održivog upravljanja resursima i produžavanje životnog vijeka materijala i proizvoda. [12]

### 3.3. Sustav trgovanja emisijama

Vladine inicijative za smanjenje rizika globalnih klimatskih promjena imaju značajan utjecaj na tržište energije, a one uključuju tržišta trgovanja emisijama. Postoje dva najčešće primjenjivana načina za ograničavanje onečišćenja, putem poreza i putem sustava kvota i trgovine. Sustav kvota i trgovine uspostavlja ograničenje na količinu tvari koja se može proizvesti, gdje proizvođač mora imati licencu za proizvodnju. Proizvođači koji imaju mogućnost prelaska na tehnologiju s manje onečišćenja mogu ostvariti profit prodajom svojih licenci. Smanjenjem broja licenci tijekom vremena, slobodno tržište potiče ekonomičnije promjene koje doprinose ekološki prihvatljivijoj slici.[6]

EU ETS baziran je na temelju kvota za emisije koje se dodjeljuju tvrtkama, gdje svaka tvrtka dobiva određenu kvotu koja predstavlja dopuštenu količinu emisija stakleničkih plinova. Tržište emisija je alat Europske Unije koji ima za cilj smanjenje emisija stakleničkih plinova u skladu s Pariškim sporazumom te obuhvaća gotovo polovicu emisija europskog gospodarstva. [13]

Izvori emisija stakleničkih plinova su podijeljeni na sektore koji uključuju energetiku, poljoprivredu, industrijske procese i uporabu proizvoda, korištenje zemljišta, šumarstvo, prenamjenu zemljišta te otpad. Proračun emisija uzima u obzir direktne stakleničke plinove koji se sastoje od ugljikovog dioksida, dušikovog oksida, sumporovog heksafluorida i fluoriranih ugljikovodika te indirektno stakleničke plinove, koji podrazumijevaju ne-metanske hlapive organske spojeve, sumporov dioksid, ugljikov monoksid i dušikove okside. [12]

Prosječne cijene EU ETS 2015. godine iznosile su  $7.7 \text{ eur}/TCO_2$ , a 2020. godine  $25,6 \text{ eur}/TCO_2$ . Primjećujemo kako se cijene naglo povećavaju kroz godine, dok je najviša zabilježena cijena iznosila  $104.82 \text{ eur}/TCO_2$ , u veljači 2022. godine.[39]

### 3.3.1. Analiza životnog ciklusa

Analiza životnog ciklusa ili Life Cycle Analysis (LCA) mjeri ekološki utjecaj svakog pojedinog aspekta uključenog u stvaranje i upotrebu proizvoda ili usluge. To obuhvaća faktore poput energetske potrošnje u proizvodnji, korištenja goriva u prijevozu te ekoloških troškova na kraju životnog ciklusa. Ovaj postupak omogućuje mjerenje ekološkog utjecaja proizvoda ili usluge tijekom svih faza njihovog životnog ciklusa - od resursa korištenih za njihovo stvaranje, preko faze korištenja od strane korisnika, sve do njihova konačnog odredišta na kraju životnog ciklusa. Analiza životnog ciklusa pomaže uspoređivati različite proizvode, materijale i metode te pruža važne informacije koje mogu pomoći u donošenju odluka s pozitivnim utjecajem na okoliš. Postoji nekoliko različitih vrsta analiza životnog ciklusa (LCA), a sve dijele isti temeljni cilj, kvantitativno mjerenje ekoloških posljedica proizvoda, usluge ili materijala. LCA predstavlja najbliži standard za razumijevanje utjecaja na okoliš koji istraživači trenutačno mogu ostvariti te pritom predstavlja standardiziran pristup kvantitativnom procjenjivanju ekoloških utjecaja.[38]

### 3.4. Emisije stakleničkih plinova u Hrvatskoj

Od 1. siječnja 2013. godine, Republika Hrvatska postala je sudionikom EU ETS sustava. Kao sudionici sustava trgovanja emisijskim jedinicama stakleničkih plinova, obvezni smo sudjelovati u jedinstvenom planu raspodjele emisijskih jedinica te smo dužni kupiti cjelokupni ili djelomični iznos emisijskih jedinica putem dražbenog modela.

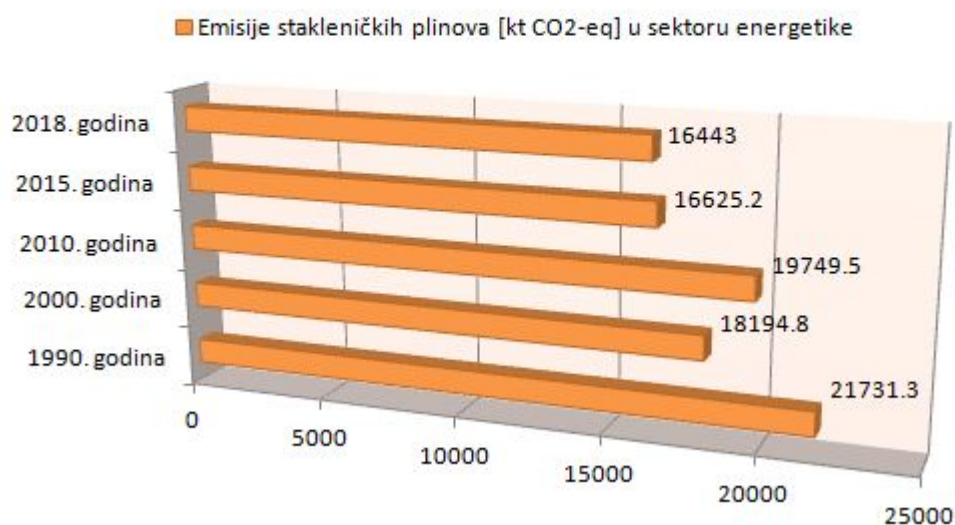
Na slici 3.1 je prikazano smanjenje ispuštenih tona stakleničkih plinova u sektoru energetike, uključujući promet, od 1990. do 2018. godine. Sa slike primjećujemo kako je 2018. godine u Republici Hrvatskoj emisija stakleničkih plinova iznosila 16443  $ktCO_{2e}$ . To predstavlja smanjenje emisija za 24.35 % u odnosu na emisiju stakleničkih plinova iz 1990. godine koje je iznosila 21731.3  $ktCO_{2e}$ .

Vlada RH donjela je planove za nekoliko scenarija tranzicije. Scenarij postupne tranzicije NU1 je dimenzioniran tako da se ograniči porast temperature unutar 2°C, a idealno unutar 1,5°C. Očekuje se snažan rast cijena emisijskih jedinica, dosežući 92,1 EUR/t  $CO_2$  do 2050. godine, koji je ključni pokretač za ostvarivanje tranzicije prema održivom energetskom sustavu. Scenarij snažne tranzicije NU2 ima cilj postići smanjenje emisija od 80 % do 2050. godine u odnosu na razinu iz 1990. godine. I u ovom se scenariju očekuje se snažan rast cijena emisijskih jedinica do 92,1 EUR/t  $CO_2$  do 2050. godine, zajedno s vrlo snažnim mjerama energetske učinkovitosti. [12]

### 3.5. Energetsko stanje Hrvatske 2021. i udio proizvodnje pojedinih izvora energije

Ukupna proizvodnja primarne energije u Republici Hrvatskoj u 2021. godini iznosila je 59583.333 GWh od čega 29,8% pripada energiji iz vodnih snaga, 33,2% čini ogrjevno drvo i biomasa, 12,3% prirodni plin, 12 % sirova nafta, dok 12,7% pripada ostalim obnovljivim izvorima energije i ambi-

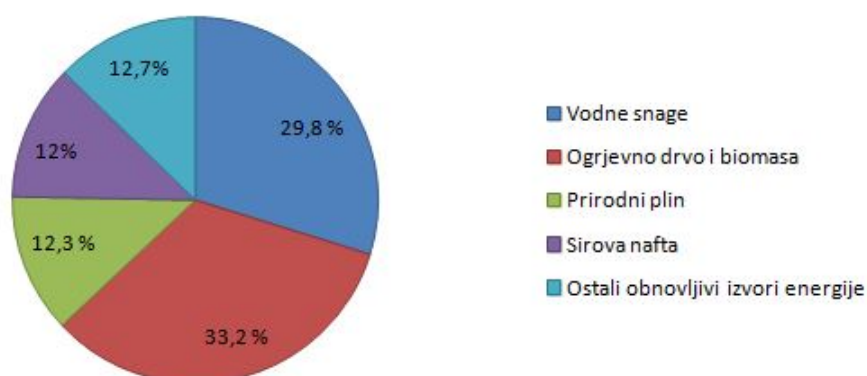
## Emisije stakleničkih plinova [kt CO<sub>2</sub>-eq] u sektoru energetike



Slika 3.1. Emisije stakleničkih plinova kroz godine

jentalnoj toplini, što je prikazano na slici 3.2. U odnosu na 2020. godinu udio obnovljivih izvora energije u bruto neposrednoj potrošnji energije povećan je za 0,64% . [15]

## Udio izvora u ukupnoj proizvodnji primarne energije RH



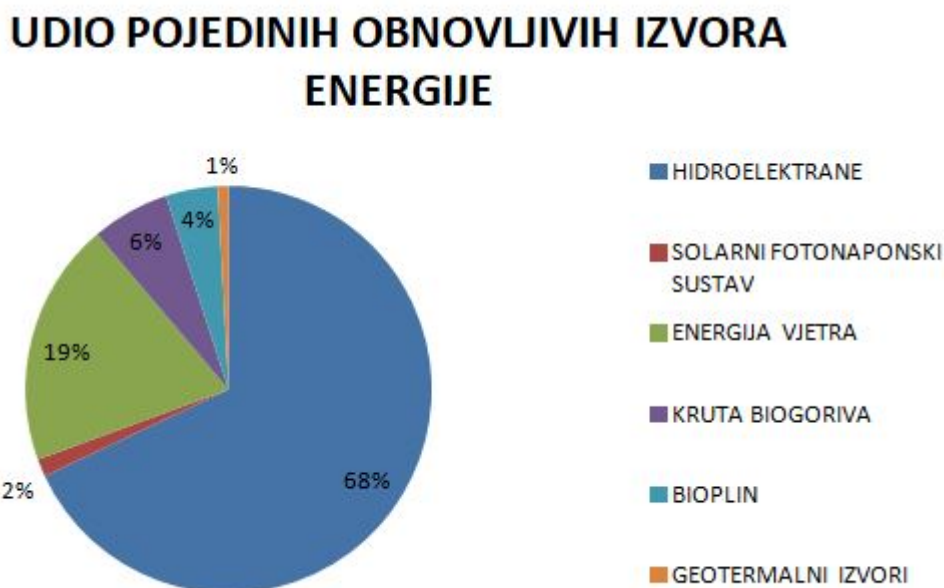
Slika 3.2. Udio pojedinih izvora energije u ukupnoj proizvodnji primarne energije 2021. godine

2021. godine je ukupna potrošnja električne energije iznosila 18485 GWh. Najveći je dio energije pokriven proizvodnjom iz elektrana, od 76.5%, dok je 23.5% električne energije pokriveno uvozom.[14] Izvoz električne energije 2021. godine je iznosio 18% od ukupne domaće proizvodnje električne energije. [15]

Prema podacima državnog zavoda za statistiku, 2021. godine je u Hrvatskoj iz obnovljivih

izvora energije proizvedeno 10628.9 GWh električne energije. Od toga je u hidroelektranama proizvedeno 7228.7 GWh, iz geotermalnih izvora je dobiveno 89.7 GWh, iz solarnih fotonaponskih sustava 148900 MWh, iz energije vjetra 2061.8 GWh, iz krutih biogoriva 659.6 GWh, a iz bioplina 440.2 GWh električne energije.

Slika 3.3 prikazuje udio pojedinih obnovljivih izvora energije ukupno proizvedene energije iz obnovljivih izvora. Primjećuje se kako je najveći dio energije dobiven iz hidroelektrana, od čak 68% ukupne proizvedene energije. [16]



*Slika 3.3. Udio pojedinih obnovljivih izvora energije 2021. godine*

U početku i krajem 2021. godine, povećana je proizvodnja hidroelektrana na visokom naponu, vjetroelektrana i distribuiranih izvora energije, što je rezultiralo time da je hrvatski elektroenergetski sustav u pojedinim danima postao neto izvoznik električne energije.

Iz distribuiranih izvora električne energije proizvedeno je 1.661 GWh električne energije, što predstavlja rast od 17,4% u odnosu na proizvodnju u prethodnoj godini, a iz obnovljivih izvora energije proizvedeno je 10.113 GWh električne energije. Proizvodnja fosilnih goriva ostala je ista u odnosu na 2020. godinu.

Prema podacima HOPS-a, postoji značajan interes za priključenje na prijenosnu mrežu za projekte proizvodnih postrojenja ukupne priključne snage od 12 GW, a većina tih projekata koristi energiju sunca i vjetra. Od ukupne priključne snage, 70% planiranih postrojenja smješteno je u tri županije: Zadarskoj, Šibensko-kninskoj i Splitsko-dalmatinskoj, što ukazuje na veliki interes i potencijal za razvoj obnovljivih izvora energije u tim regijama.

2021. su korisnici postrojenja za samoopskrbu su predali 5 GWh električne energije u mrežu, što je značajno povećanje od 3 GWh u odnosu na 2020. godinu, a osobito u odnosu na 2019. godinu jer je taj porast desetostruko veći. [14]

#### 4. Analiza energetskeg stanja grada Rijeke

Prema niskougljičnoj strategiji Hrvatske, razvoj na lokalnoj razini trebao bi uspostaviti bolju povezanost politika na lokalnim i državnim razinama. Prema tome, djelovanje se više pomiče na samostalne aktivnosti gradova i lokalnih samouprava, a trebaju se podržati ambiciozne inicijative kao što su ugljično neutralni gradovi i otoci. Na lokalnoj razini, postoji povezivanje mjera za prilagodbu i ublažavanje klimatskim promjenama, a sinergija je u korištenju resursa iznimno snažna. Prema niskougljičnoj strategiji, ključno je provesti niz mjera tijekom planiranja i izgradnje integriranih sustava u gradovima, a te mjere obuhvaćaju javni i privatni promet, građevinarstvo, autonomne sustave, komunalne infrastrukture obrazovne sustave, informacijsko-komunikacijske tehnologije (ICT), urbanističke planove, inovativna rješenja u raznim sektorima i povećanje javne svijesti o tim pitanjima.[12]

Grad Rijeka je pristupio Sporazumu gradonačelnika 2008. godine prema inicijativi Europske komisije. Cilj sporazuma je povezivanje europskih gradova u trajnu mrežu, koja bi služila za razmjenu iskustava u smanjenju emisija CO<sub>2</sub> za više od 20 % te za poboljšanje energetske učinkovitosti urbanih sredina. Prema podacima EUROSTAT-a, Europskog statističkog zavoda, urbana područja u Europskoj uniji (EU) nose odgovornost za 80% ukupne energetske potrošnje i povezanih emisija CO<sub>2</sub>, s godišnjim trendom porasta od 1,9%.

Rijeka se potpisivanjem Sporazuma 2019. obvezala smanjiti emisije ugljikovog dioksida i drugih stakleničkih plinova na svom području za najmanje 40% do 2030. Također će učinkovitije koristiti energiju i povećati korištenje obnovljivih izvora energije kako bi povećala svoju održivost te se bolje prilagodila posljedicama klimatskih promjena.[23]

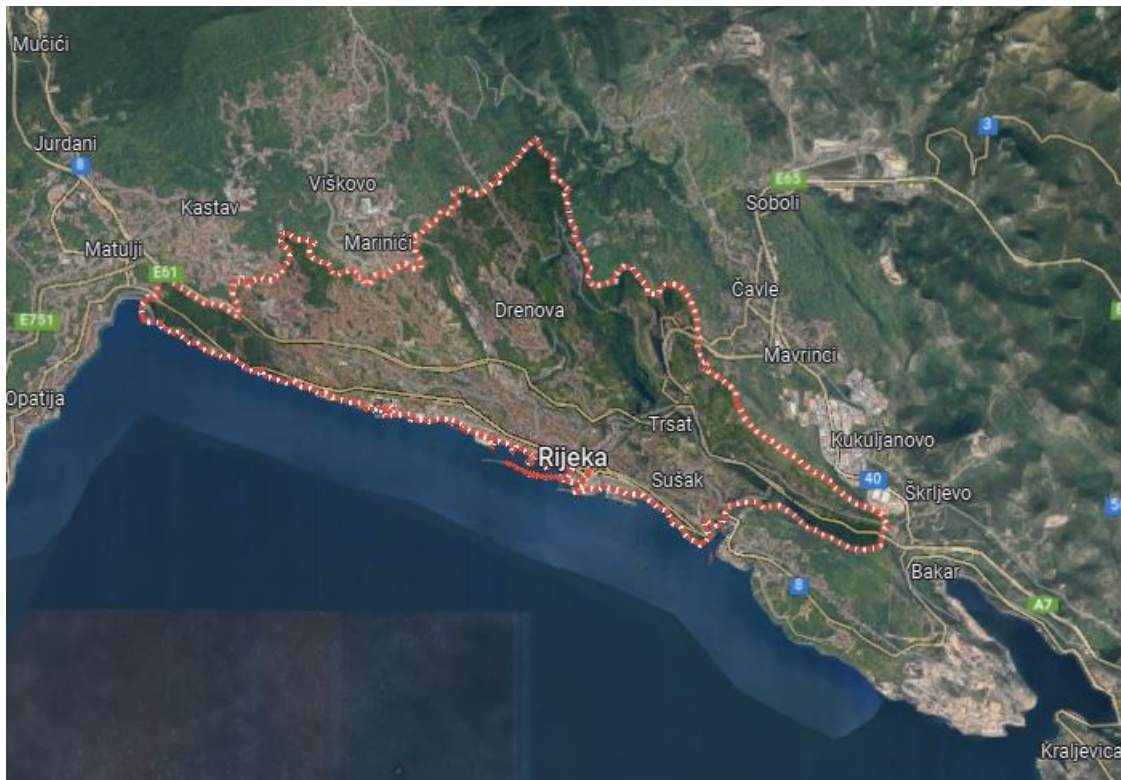
Postizanje ambicioznog cilja smanjenja emisija stakleničkih plinova za više od 20% u odnosu na referentnu godinu moguće je samo uz aktivno sudjelovanje i suradnju gradskih uprava, građana i interesnih skupina. Uz podršku državnih uprava, gradske, lokalne i regionalne vlasti u europskim zemljama također dijele odgovornost i preuzimaju obveze za borbu protiv globalnog zagrijavanja putem provedbe različitih programa, projekata i inicijativa za povećanje korištenja obnovljivih izvora energije i unaprjeđenje energetske učinkovitosti. Neke od uloga gradskih uprava koje su definirane Sporazumom gradonačelnika uključuju povećanje kvalitete i energetske-ekološke učinkovitosti u sektoru javnog gradskog prijevoza putem provođenja različitih mjera, projekata i programa, održivog planiranja razvoja gradova temeljenih na energetske-ekološkim načelima te kontinuirane informativno-edukativne aktivnosti i kampanje o načinima smanjenja emisija CO<sub>2</sub> i povećanja energetske te podizanje svijesti građana o nužnosti štednje energije u svim segmentima života i rada. [19]

#### 4.1. Osnovni kontekst i karakteristike grada Rijeke

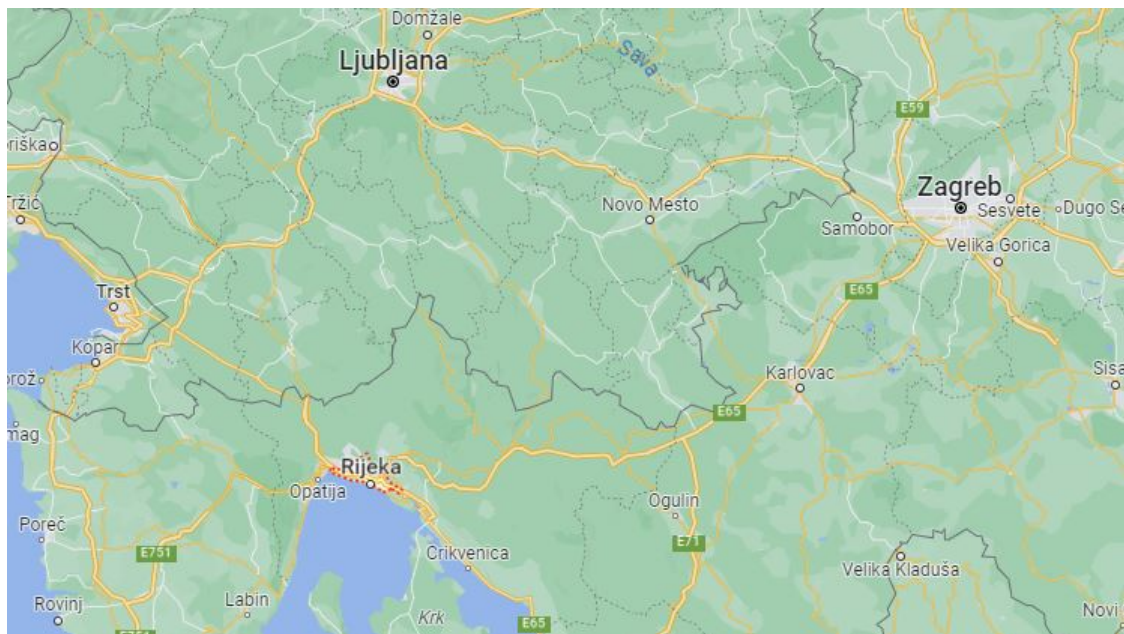
Danas grad Rijeka s okolicom broji više od 200 000 stanovnika. Rijeka je postala središte Zapadne Hrvatske paralelno s industrijskim razvojem, obzirom da se od početka šezdesetih godina izgrađuju nove gradske četvrti i jačaju prigradska naselja. Krajem 20. stoljeća, Rijeka je postala razvijeno urbano i industrijsko središte, koje je također igralo ulogu u različitim razvojnim inicijativama od značaja za cjelokupni napredak Republike Hrvatske. U to vrijeme, grad je također postao sjedište novoosnovane Riječko-senjske nadbiskupije i metropolije te sveučilišta. [18]

Geografski položaj grada Rijeke sadrži određene značajke bitne za razumijevanje njegove lokacije i okoline, a prikazan je na slikama 4.1 i 4.2. Rijeka je sjedište Primorsko - goranske županije, a ujedno je njezino najveće urbano središte s gotovo polovinom njezinog stanovništva. Ima površinu kopnenog dijela upravnog područja od  $43,6 \text{ km}^2$  s morskim dijelom  $136 \text{ km}^2$ , što ju čini jednom od najmanjih jedinica lokalne samouprave, ali s najvećom gustoćom naseljenosti koja iznosi gotovo  $3.000 \text{ st/km}^2$ . Grad je smješten na sjevernom rubu Riječkog zaljeva dok njegova obalna linija, protežući se od uvale Preluk na zapadu do zaljeva Martinšćica na istočnom rubu, tvori hipotenuzu njegovog trokutastog oblika s duljinom od 19 km. S kopnene se strane dodiruje s područjima gradova Bakar, Opatija i Kastav, te općinama Viškovo, Matulji, Čavle, Jelenje, i Kostrena. S morske strane graniči s gradom Kraljevicom i dijelom otočnih gradova (Cres) i općina (Omišalj). Grad Rijeka blizu je većine sjedišta susjednih županija. Pazin je udaljen 60 km, Karlovac 140 km, Gospić 155 km, a Zadar 225 km. Udaljenost između Rijeke i glavnog grada Zagreba iznosi 175 km. Unutar radijusa od 100 km nalaze se veći gradovi regije: Pula, Trst i Ljubljana, dok se većina glavnih gradova i središta Srednje Europe, kao što su Budimpešta, Bratislava, Beč, Salzburg, München, Milano i drugi, nalaze unutar radijusa od 500 km. [17]





Slika 4.1. Geografski položaj grada Rijeke, Izvor: Google Mape



Slika 4.2. Geografski položaj grada Rijeke u odnosu na susjedne države, Izvor: Google Mape

## 4.2. Analiza energetskeg potencijala u gradu Rijeci

### 4.2.1. Reljef

Sjeverni dio grada obilježava topografska i morfološka raznolikost. Na samo oko 1,5 km zračne udaljenosti od mora nalazi se najviši vrh grada, Lubanj, s nadmorskom visinom od 498,6 m.n.m., što istovremeno ukazuje na ograničene prostorne potencijale grada, dok je veći dio zapadnog dijela grada smješten je na ravnici (Zamet, Gornji Zamet, Drenova). Načelno, kopneni dio gradskog područja Rijeke može se podijeliti na dvije cjeline. Prva cjelina obuhvaća izgrađene dijelove naselja visoke gustoće stanovanja koji se protežu unutar pojasa od otprilike 1500 metara od mora i unutar visine od 0-200 m.n.m. Druga cjelina čini prirodni prostor koji obuhvaća manje poljoprivredne i šumske površine u sjevernom i istočnom zaleđu koje su povezane s izraženim tektonskim rasjedima kanjona i draga, u omjeru približno 3 : 1 u odnosu na izgrađeni dio naselja. Budući da su aktivnosti i korištenje prostora u gradu Rijeci veoma koncentrirane na izgrađenom dijelu naselja, cijeli neizgrađeni prirodni dio predstavlja sastavni dio gradskog područja koji će osigurati ekološko uporište za daljnji održivi razvoj Rijeke. [17]

### 4.2.2. Vode i more

Površina mora unutar upravnih granica grada dvostruko nadmašuje kopneni dio. Grad je bogat vodom u oblicima bujičnih izvora i vodotoka, a najveći je bujični vodotok Rječine koji je također najznačajniji za organizaciju prostora. Izdašnost izvora i količine vode u vodotocima povezani su sa specifičnim ponašanjem podzemnih voda obzirom na krški teren te s količinom oborina koje u priobalnom dijelu ima oko  $1.500 \text{ mm}/\text{m}^2$ , a u gorsko-planinskom dijelu  $2.500\text{-}3.500 \text{ mm}/\text{m}^2$  slivnog područja. Slivno područje ima površinu  $530 \text{ km}^2$ , a osigurane su dovoljne količine pitke vode u svakom trenutku. [17]

### 4.2.3. Vegetacija

Područje grada obiluje biljnim pokrovom koji pripada zoni submediteranske termofilne šume, šikare i kamenjarske pašnjake, s podjelom na dva visinska pojasa koji su uvjetovani klimatskim zonama. Niži i topliji pojas obuhvaća do 350 metara nadmorske visine i čini ga šuma hrasta medunca s bjelograbom, dok hladniji i viši pojas, od 350 do 650 metara nadmorske visine reprezentira šuma crnog graba s hrastom meduncem. Hrastove i bukove šume su u dobrom stanju očuvanosti, a njihov status zaštitnih šuma temelji se na važnoj ulozi u očuvanju hidroloških i protuerozijskih funkcija. Povoljni mikroklimatski uvjeti vlažne udoline Rječine omogućile su da bukva raste na neobično maloj udaljenosti od mora, od 5 km i na nadmorskoj visini od 300 m. Na drugoj strani, udolina od Orehovice do Sv. Kuzma obiluje dubokim tlom s povoljnim svojstvima za uzgoj poljoprivrednih kultura. Nekadašnja staništa šuma hrasta kitnjaka i običnog graba, koja su iskrčena tijekom naseljavanja, sada su zamijenjena livadama i poljoprivrednim kulturama. No, značajne



površine takvih šuma još uvijek se nalaze uz tok Rječine sjeveroistočno od donje Drenove, a te udoline predstavljaju iznimno vrijedne prostore koji bi trebali biti trajno sačuvani.[17]

### 4.3. Obnovljivi izvori energije u Rijeci

U ovom se poglavlju razmatra trenutno stanje grada Rijeke te uzima u obzir koje su trenutno postojeće tehnologije u gradu te koliko je grad uspješan u dosadašnjem procesu energetske tranzicije. U gradu Rijeci, čija površina iznosi samo  $44 \text{ km}^2$ , nije moguće postaviti vjetroparkove ili fotonaponske elektrane veličine kao u nekim gradovima Europe koji se smatraju vodećima po broju obnovljivih izvora, no međutim, postoje primjeri postojećih manjih energetskih postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije za proizvodnju električne energije. [23]

#### 4.3.1. Termoelektrana Rijeka

Termoelektrana Rijeka smještena je na jugoistočnom dijelu obale grada Rijeke, u Urinju. Ova lokacija omogućuje korištenje morske vode za rashlađivanje, a blizina rafinerije olakšava opskrbu energentima. Izgradnja je termoelektrane započela 1974., a probni rad proveden je 1978., dok je od 1979. TE Rijeka kontinuirano bila u proizvodnji. U samoj Termoelektrani Rijeka instaliran je kondenzacijski energetski blok snage 320 MW, a termoelektrana kao energent koristi loživo ulje. Glavna prednost TE Rijeka u odnosu na klasične blokove termoelektrana leži u sposobnosti brze prilagodbe opterećenja u rasponu od 25% do 100%. To omogućava termoelektrani iznimnu prilagodljivost promjenama u elektroenergetskom sustavu. TE Rijeka je spojena s dva dalekovoda visokog napona (220 kV), koji ukupno prenose 612 MW snage. Ovi dalekovodi su povezani s transformatorskom stanicom Melina koja radi na razinama napona 380/220/110 kV. Kroz svoje radno razdoblje, termoelektrana je proizvela je 25,72 TWh električne energije i bila u pogonu ukupno 143.047 sati. Prosječna godišnja proizvodnja iznosi 695 MWh, uz prosječnu snagu od 180 MW. Ovo znači da je prosječno 120 MW snage bilo rezervirano kao rotaciona rezerva, omogućavajući brzo povećanje snage ako bi elektroenergetski sustav zahtijevao dodatnu energiju zbog poremećaja. [22]

#### 4.3.2. Promet

Jedan od bitnijih koraka u energetske tranziciji prometa u Rijeci je financiranje gradskih autobusa na plin. U periodu od 2013. do 2018. godine, učinjen je korak nabave 40 autobusa koji koriste stlačeni prirodni plin kao gorivo, a od 2018. do 2021. nabavljena su dodatna 54 autobusa. Spremnici autobusa projektirani su tako da omogućuju neovisnost u vožnji na udaljenosti od najmanje 400 kilometara između svaka dva punjenja. Uvođenjem 40 autobusa koji koriste stlačeni prirodni plin kao pogonsko gorivo, smanjuje se emisija  $CO_2$  za 1.400 tona, čime je grad Rijeka ostvario ispunjenje obveze definirane inicijativom Europske unije iz 2009. godine kao što je potpisano

u Povelji gradonačelnika, prema kojoj se grad Rijeka obvezao na smanjenje emisija stakleničkih plinova za 20% do 2020. godine. Osim Autotroleja, KD Čistoća također implementira nova vozila na električnu energiju, a Energo je 2013. otvorio prvu fast fill punionicu stlačenog prirodnog plina u Hrvatskoj koja je namijenjena privatnim i komunalnim vozilima. Ovi projekti energetske učinkovitosti u prometnom sektoru donose značajne rezultate, uključujući smanjenje emisija  $CO_2$  i drugih ispušnih plinova, smanjenje buke u prometu, ekonomičniju potrošnju goriva, te podizanje standarda javnog prijevoza za građane. [23] [24]

#### 4.3.3. Postrojenje za proizvodnju električne energije Viševac

Pored Rijeke nalazi se postrojenje za proizvodnju električne energije iz plina na odlagalištu Viševac. To postrojenje utječe na smanjenje emisije odlagališnih plinova i poboljšanje kružne ekonomije. Postrojenje Viševac financirano je u potpunosti sredstvima KD Čistoća, vrijednost mu seže više od 132 tisuće eura. Smješteno je na nekadašnjem odlagalištu komunalnog otpada na kojem je od 1964. do 2011. deponirano približno 2 milijuna kubnih metara otpada. Postrojenje je izvedeno na način da je postavljena nepropusna prekrivka preko odlagališta na koju je zatim dodana zemlja, a površina je uređena i prekrivena travom. Izrađena je stanica za kontrolu buke i kakvoće zraka te su postavljeni protupožarni put i zaštitna ograda. Izgrađen je sustav za odvod i prikupljanje procjednih voda, a ukupno su izbušena 52 bunara s ciljem sigurne ekstrakcije odlagališnog plina, koji se zatim preusmjerava prema postrojenju za plinsko sagorijevanje putem dviju plinskih baklji. Postrojenje se sastoji od motora s unutarnjim izgaranjem koji pokreće električni generator, transformatorske stanice, sustava upravljanja i zaštite, podsustava i priključka na distribucijsku mrežu. Ovo je drugo takvo postrojenje u Republici Hrvatskoj, izgrađeno nakon dobivanja svih potrebnih dozvola, s Jakuševcem u Zagrebu kao prethodnim primjerom. Planirano je da postrojenje snage 1,2 MW generira više od 6.000 MWh električne energije godišnje, a tijekom probnog rada do sada je proizvedeno i u mrežu HEP-a isporučeno više od 900 MWh. [25]

#### 4.3.4. Manja postrojenja za proizvodnju električne energije iz OIE

Sa ciljem smanjenja emisija  $CO_2$  za najmanje 40% do 2030. godine, grad Rijeka je prepoznao važnost usvajanja energetske politike još 2009. godine. Jedan od primjera implementacije obnovljivih izvora energije je fotonaponska elektrana na OŠ Zamet te solarni paneli na zgradi Gradske uprave.

Uveden je Informacijski sustav za gospodarenje energijom (ISGE) 2009. godine koji ima za svrhu praćenje potrošnje energije i vode u preko 150 gradskih objekata. Također, edukacija zaposlenika i automatizacija procesa omogućuju bolju regulaciju potrošnje energije. Nadalje, projekt "iUrban" omogućio je ugradnju komponenata daljinskog očitavanja potrošnje energenata i vode u 27 objekata, uključujući i Nacionalni sustav za gospodarenje energijom (ISGE). U zgradi gradske uprave na Titovom trgu izvršena je zamjena svih rasvjetnih tijela s energetske učinkovitijom opci-

jom koja omogućuje do 50% manju potrošnju električne energije za osvjetljenje te do 30% bolje osvjetljenje prostora. Još jedan primjer je vrtić Mavrica, gdje je instalirana fotonaponska elektrana snage 30 kW koja generiranu energiju koristi unutar objekta, uz dodatno postavljene solarne panele za pripremu tople vode. Tijekom 2018. godine opremljeni su solarni paneli za zagrijavanje potrošne tople vode u dječjim vrtićima Morčić, Đurđice i Potok. Nedavno izgrađeni Dječji vrtić Srdoči postigao je energetska certifikat najviše kategorije, uz instaliranu fotonaponsku elektranu snage 10,2 kW.

Kontinuirano se provodi izrada energetskih certifikata za javne objekte. Putem energetskog pregleda utvrđuje se način korištenja energije, područja energetskih gubitaka te se identificiraju koraci za povećanje energetske učinkovitosti i procjenjuje stanje zgrada, a do sada je već izrađeno 1568 energetskih certifikata.

U zajedničkom djelovanju s Fondom za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost, realizirani su projekti nazvani "Solarna energija u gradu". Unutar ovog programa, izgrađeno je sedam fotonaponskih elektrana na zgradama koje su u vlasništvu Grada Rijeke. Također, realiziran je projekt "Zelena energija u mom domu", u kojem je Grad Rijeka sudjelovao s financiranjem u visini od 40% troškova nabavke sustava obnovljivih izvora energije za pripremu i grijanje tople vode za stanovnike Rijeke. [23]

## 5. Rješenja energetske tranzicije u gradu Rijeci

Prema podacima prikupljenima iz Akcijskog plana energetske održivog razvitka grada Rijeke [19], ukupan iznos potrošene energije iznosi 448.598 GWh. U tablici 5.1 prikazani su pojedini sektori potrošnje grada Rijeke, a relevantni su podaci prikupljeni iz izvora grada Rijeke, ENERGO d.o.o., HEP – ODS, Elektroprimorja Rijeka te ureda državne uprave u Primorsko – goranskoj županiji.

*Tablica 5.1. Prikaz potrošnje električne energije u Rijeci po sektorima*

Sektori potrošnje	Iznos potrošnje električne energije u kWh
Ustanove u odgoju i školstvu	2476201
Ustanove u zdravstvu i socijalnoj skrbi	387104
Objekti gradske uprave i mjesne samouprave	1072065
Ustanove u kulturi	1820340
Objekti tehničke kulture i sportski objekti	2940195
Stambeni i poslovni prostori	31341525
Objekti i uredi gradskih tvrtki	2749086
Objekti vatrogasnih postrojbi	120000
Stambene zgrade	352663362
Komercijalne i uslužne djelatnosti	44705694
Sustav električne javne rasvjete	8322000
<b>UKUPNO</b>	<b>448597572</b>

Iz navedenih se podataka može uočiti kako najveću potrošnju energije imaju stambene zgrade, a slijede ih zgrade komercijalnih i uslužnih djelatnosti, te stambene i javne zgrade koje su u vlasništvu Grada.

### 5.1. Rješenje: Vjetroelektrane

### 5.2. Vjetroenergija

Vjetroagregati su uređaji koji pretvaraju energiju vjetra u električnu energiju te su kao generatori električne energije povezani s električnom mrežom. Mreže uključuju krugove za punjenje baterija, izolirane i otočne mreže te velike javne mreže ili sustave za proizvodnju električne energije na kućnoj razini. U suvremenim vjetroagregatima, temeljni proces pretvorbe koristi aerodina-

mičku silu uzgona kako bi stvorio pozitivan okretni moment na rotirajućem vratilu. Ovaj proces najprije rezultira stvaranjem mehaničke snage, koja se zatim pretvara u električnu energiju u generatoru. Za razliku od većine drugih generatora, vjetroagregati mogu proizvoditi energiju samo u odgovoru na resurs koji je trenutačno dostupan, a izlazom vjetroagregata ne može se upravljati, samo je moguće ograničiti proizvodnju ispod onoga što bi vjetar mogao proizvesti. Također, vjetar se ne može prenositi, već se električna energija može proizvoditi samo tamo gdje vjetar puše. Postoji mogućnost prijenosa električne energije putem dalekovoda dok se smatra da bi u budućnosti sustavi za proizvodnju energije temeljeni na vodik mogli dodatno doprinijeti mogućnosti prijenosa. [35] Energija vjetra se računa pomoću sljedeće opće jednadžbe:

$$P = C_p \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (5.1)$$

Gdje:

$C_p$  predstavlja koeficijent snage

$\rho$  prikazuje gustoću zraka

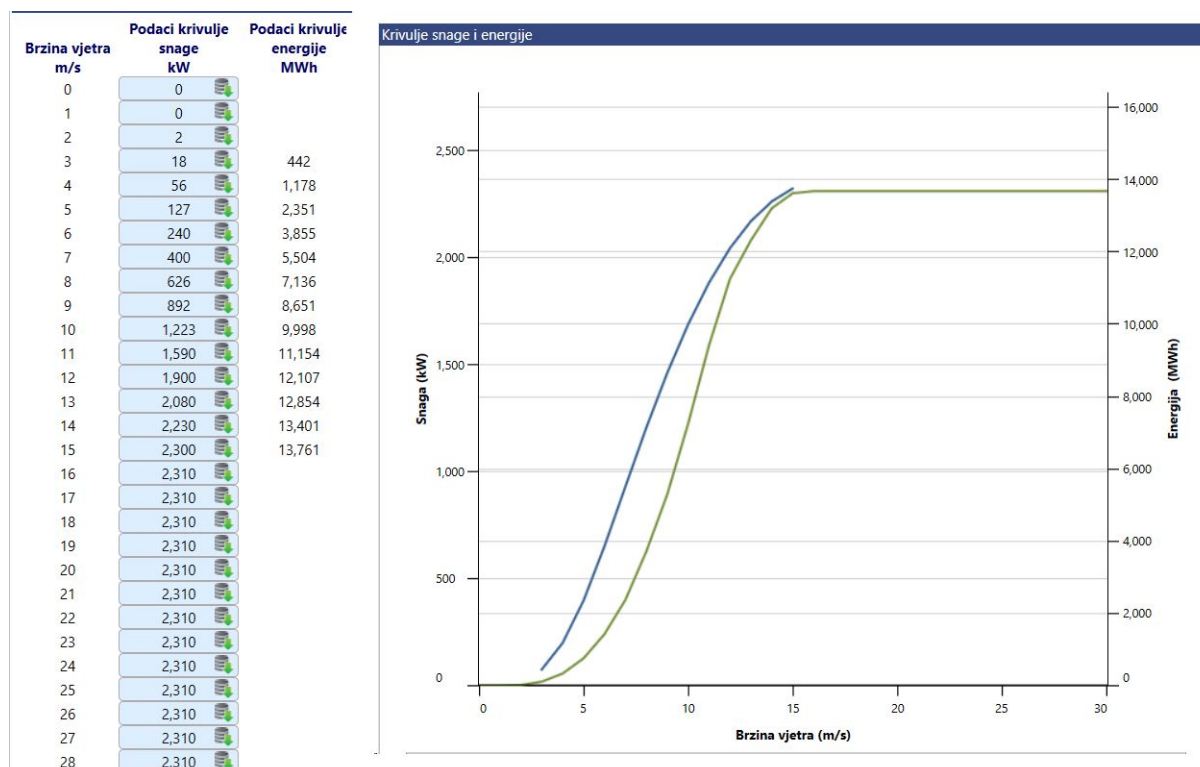
$A$  prikazuje površinu preleta rotora (površina obuhvaćena lopaticama vjetroagregata tijekom vrtanje)

$v$  prikazuje brzinu vjetra

Stvarna snaga dodatno se smanjuje zbog dva dodatna smanjenja učinkovitosti, uzrokovana gubicima u prijenosu i učinkovitosti generatora.

Vrijednost idealne snage ograničena je Betzovim koeficijentom, čija najveća vrijednost koja prikazuje učinkovitost pretvorbe doseže  $C_p=0.59$ . U praksi većina vjetroagregata ima učinkovitost znatno ispod 0.5, ovisno o vrsti, dizajnu i operativnim uvjetima. U opsegu operativnih izlaznih snaga, generirana snaga vjetra povećava se sa kubom brzine vjetra, što ističe važnost odabira lokacije prilikom postavljanja vjetroagregata. Izlaz vjetroturbine povezan je s kubom brzine vjetra, tako da se svaka mala pogreška u mjerenju brzine pretvara u puno veći postotak pogreške u proizvodnji električne energije vjetroelektrane. Brzina je najvažniji parametar za procjenu snage vjetroagregata. Postoje četiri osnovna režima razlike brzine, a to su brzina pokretanja, početna brzina, nazivna brzina i cut-out brzina. Brzina pokretanja je brzina pri kojoj se rotor i lopatice počinju okretati, početna brzina koja se odnosi na minimalnu brzinu pri kojoj će vjetroagregat generirati upotrebljivu energiju. Nazivna brzina je minimalna brzina vjetra pri kojoj će vjetroagregat generirati svoju naznačenu ocijenjenu snagu. Pri brzinama vjetra između početne i nazivne brzine, izlazna snaga vjetroagregata raste s porastom brzine vjetra. Izlaz većine strojeva se izravna iznad nazivne brzine te većina proizvođača pruža grafove koji prikazuju kako se izlaz njihovog vjetroagregata mijenja s brzinom vjetra. Cut-out brzina se odnosi izuzetno visoke brzine vjetra kad većina vjetroagregata prekida svoju proizvodnju električne energije i automatski se isključuje. Ova brzina predstavlja sigurnosnu značajku koja služi zaštititi vjetroagregata od mogućih oštećenja. Deaktivacija se može postići putem različitih metoda. U nekim vjetroagregatima, automatska kočnica se aktivira putem senzora brzine vjetra. Drugi vjetroagregati mijenjaju položaj ili kut lopatica kako bi smanjili djelovanje vjetra. Postoje i modeli koji koriste spoilere, to su kočnice montirane

na lopaticama glavnog rotora koje se automatski aktiviraju pri visokim brzinama rotacije ili se mehanički aktiviraju pomoću opruge koja okreće vjetroagregat bočno prema smjeru vjetra. Nakon što brzina vjetra padne na sigurnu razinu, normalan rad vjetroagregata se obnavlja. Primjer jednog takvog odnosa brzina je slika 5.1, koja je prikazana u nastavku teksta. Primjećujemo kako na slici nakon snage vjetra od 16 m/s, snaga ostaje konstantna, jer vjetroagregat prilagođava kut lopatica kako bi održao nazivnu snagu.



Slika 5.1. Odnos brzine vjetra i proizvodnje

### 5.3. Vjetroenergija u Hrvatskoj

Proizvodnja energije iz vjetra i sunca ovise o meteorološkim značajkama te nije moguće u danom trenutku proizvesti više električne energije iz vjetra i sunca nego što ima prirodnih resursa. Taj problem može se riješiti skladištenjem električne energije, kao što će biti prikazano u nastavku rada.

Ako promotrimo trenutnu sliku energije vjetra u Hrvatskoj, podaci o stvarnim brzinama vjetra ukazuju na značajno niže srednje brzine vjetra na unutarnjim lokacijama u usporedbi s onima duž jadranske obale. Lokacije koje imaju najveće brzine vjetra i koje bi bile pogodne za izgradnju vjetroelektrana uključuju otok Krk (aerodrom), Senj, Split, otok Vir, otok Lastovo i Dubrovnik (aerodrom). Za najprecizniju statističku analizu, karakteristike vjetra treba proučavati tijekom više godina. Uobičajeno je mišljenje da je za uvažavanje godišnjih varijacija na određenoj lokaciji potrebno imati najmanje 10 godina zapisanih podataka o vjetru. Prema podacima od 1979. do 1984. godine, vjetar u Rijeci mjereno je na 10 metara iznad zemlje, a prosječna brzina vjetra

iznosila je 2.1 m/s. Za usporedbu, VE Trtar Krtolin ukupno instalirane snaga 11,20 MW nalazi se u blizini Šibenika, čija je prosječna brzina vjetra u istom razdoblju iznosila 3.5 m/s. [28]

Vjetroelektrane u Hrvatskoj se nalaze u priobalju, zbog pogodnih brzina vjetra. Neke od elektrana uključuju spomenutu VE Trtar Krtolin, VE Orlice, VE Kantuni i druge. Vjetroelektrana Orlice nalazi se u blizini Šibenika, a izgrađena je 2009. godine. Sastoji se od 11 vjetroagregata tvrtke Enercon, od čega su 3 pojedinačne snage od 800 kW (E-48 modela) i 8 pojedinačne snage od 900 kW (E-44 modela), čime se ukupna instalirana snaga penje na 9,6 MW. Vjetroelektrana proizvodi 25 GWh električne energije godišnje, a investicijski troškovi iznosili su 13.000.000 eura. Vjetroelektrana Katuni se nalazi u općini Šestanovac, a počela je s radom 2017. godine. Sastoji se od 12 vjetroagregata koji ukupno imaju instaliranu električnu snagu od 34,2 MW. Ova vjetroelektrana godišnje proizvodi otprilike 90 GWh čiste električne energije, a investicijski troškovi iznosili su 40.000.000 eura.[29]

Kako je već navedeno, potrošnja Rijeke u jednog godini iznosi približno 448.598 GWh. Kako bi se postigla energetska tranzicija u Rijeci i nulti karbonski otisak, potrebno je koristiti obnovljive izvore energije kao jedini oblik energije, a oni uključuju primarno i većinskim dijelom energiju dobivenu iz hidroelektrana, vjetra i sunca te popratne sustave za pohranu energije. Obzirom da je Hrvatska zemlja bogata prirodnim resursima koji doprinose proizvodnji energije iz vode, možemo pretpostaviti da će 29.8% cjelokupne energije potrebne za grad biti proizvedeno iz hidroelektrana, prema podacima koji su dostupni za cijelu zemlju, što znači da bi 133.68 GWh potrebne energije za grad Rijeku bilo pokriveno proizvodnjom iz hidroelektrana. Nadalje, ostatak energije od 314.92 GWh bilo bi potrebno proizvesti iz energije sunca i vjetra.

#### **5.4. RETScreen Expert**

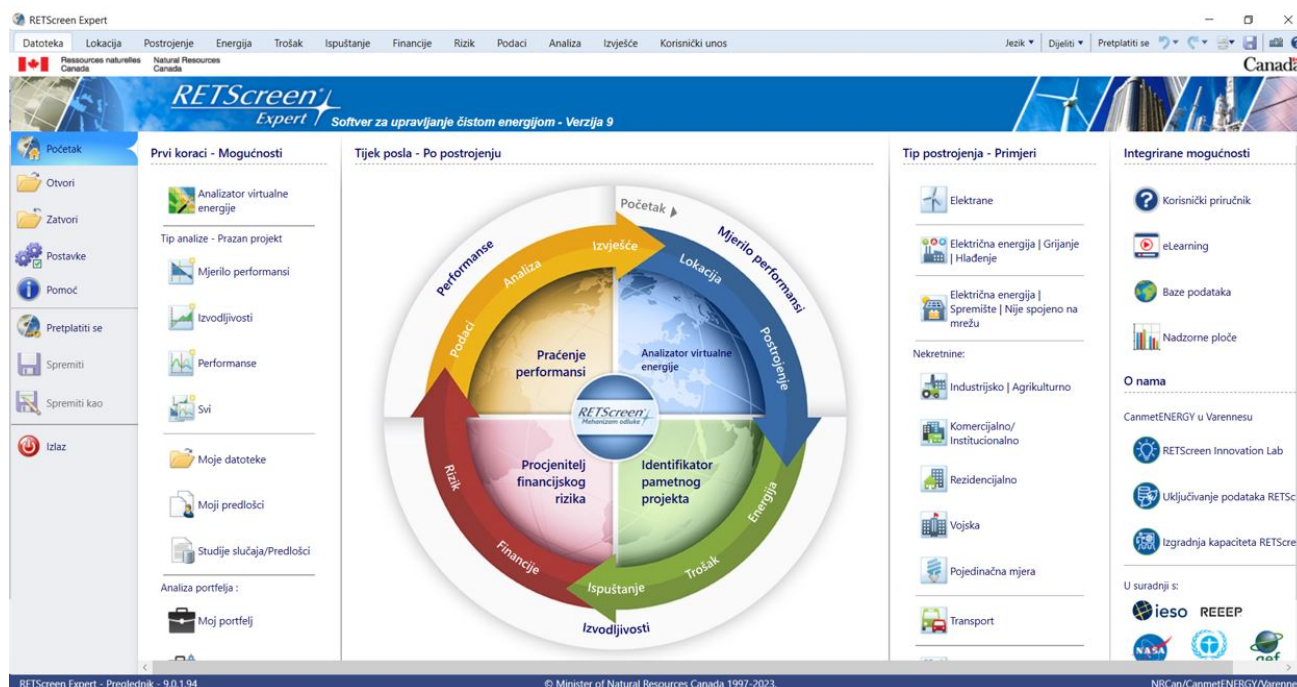
RETScreen je alat koji se može koristiti za analizu čistih energetske projekata u cijelom svijetu, a sastoji se od standardiziranog i integriranog softvera koji služi za pomoć u procjeni proizvodnje energije, životnog ciklusa troškova i smanjenja emisija stakleničkih plinova za različite vrste obnovljivih i energetske učinkovitih tehnologija. Svaki model tehnologije u RETScreen-u razvija se unutar zasebne Excel radne knjige ("Workbook") datoteke koja uključuje niz radnih listova koji imaju zajednički izgled i prate standardan pristup za sve RETScreen modele. Pored softverskog dijela, ovaj alat obuhvaća i baze podataka proizvoda, vremenskih podataka i troškova, online priručnik, web stranicu, inženjerski udžbenik, studije slučaja projekata i tečaj za obuku.[27]

##### **5.4.1. Tehnička analiza**

Vjetroelektrana Ponikve ima instaliranu snagu od 36,8 MW i godišnje proizvodi 65 GWh električne energije, a postavljeno je ukupno 16 Enercon vjetroagregata s pojedinačnom snagom od 2,3 MW.[33] Kako bismo ispunili željenu kvotu proizvodnje električne energije iz vjetra u gradu Ri-

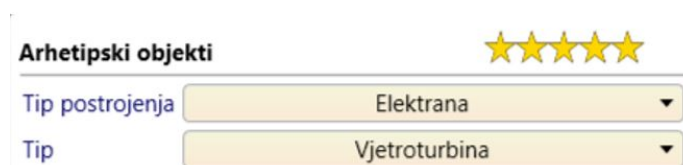
jeci, trebala bi nam vjetroelektrana sličnih karakteristika kao vjetroelektrana Ponikve.

Energetska analiza u programu RETScreen Expert započinje otvaranjem početnog zaslona programa sa slike 5.2 na kojemu odabiremo opciju Analizator virtualne energije.



Slika 5.2. Odabir vrste analize

Program nam zatim nudi odabir postrojenja, a u svrhu ove analize se iz padajućeg izbornika prikazanog na slici 5.3 odabire elektrana i vjetroturbina kao tip postrojenja.

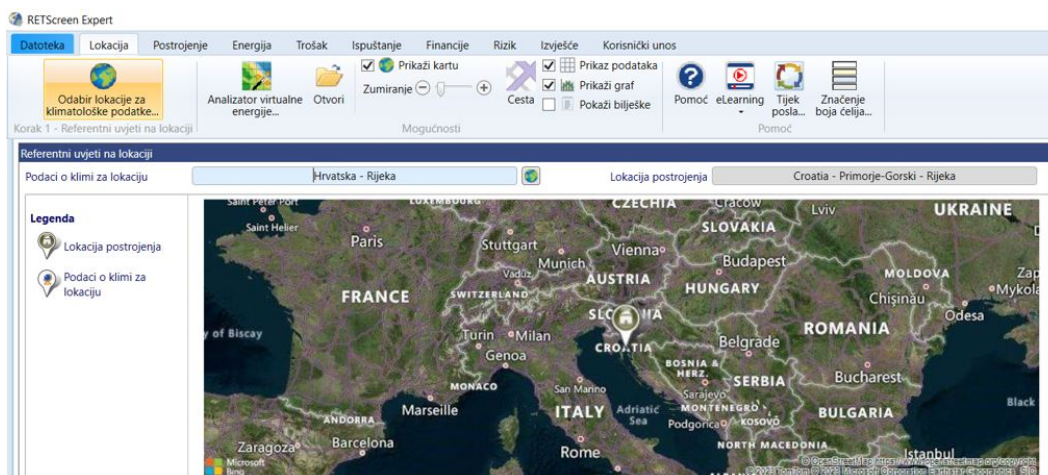


Slika 5.3. Padajući izbornik za odabir željenog postrojenja

Program nam pruža mogućnost odabira bilo koje lokacije na geografskoj karti, unosom imena grada. Zatim se u izborniku lokacija prikazuju podaci o klimi, kao što su geografska širina, geografska duljina, klimatska zona, temperatura zraka i druge stavke potrebne za analizu, od kojih su za analizu proizvodnje električne energije iz snage vjetra ključne brzina vjetra i visina na kojoj je ona mjerena. Izbornik lokacija s pripadajućim podacima prikazan je na slikama 5.4 i 5.5.

Podaci o brzinama vjetra sa slike 5.4 dani su u skladu s mjerenjem na visini od 10 metara u gradu Rijeci. Prema podacima prikupljenim sa stranice Global Wind Atlas [34], na nadmorskoj visini od 100 metara u Rijeci, najveća srednja brzina vjetra iznosi 7.7 m/s i odnosi se na područja mjesnog odbora Draga.





Slika 5.4. Odabir lokacije na geografskoj karti

	Jedinica	Podaci o klimi za lokaciju	Lokacija postrojenja	Izvor
Geografska širina		45.3	45.3	
Geografska dužina		14.4	14.4	
Klimatska zona		4A - Miješano - Vlažno		NASA
Visina	m	333	240	NASA - Karta
Projektirana temperatura grijanja	°C	-5.8		NASA
Projektirana temperatura hlađenja	°C	26.1		NASA
Amplituda temperature zemlje	°C	19.4		NASA

Mjesec	Dnevno solarno ozačenje - horizontalno						Temperatura zemlje	Stupanj-dani grijanja 18 °C	Stupanj-dani, hlađenje 10 °C
	Temperatura zraka °C	Relativna vlažnost %	Precipitacija mm	kWh/m <sup>2</sup> /d	Atmosferski tlak kPa	Brzina vjetrova m/s			
Siječanj	2.5	85.5%	70.68	1.42	97.9	4.2	3.3	481	0
Veljača	3.1	81.4%	66.08	2.33	97.8	4.1	3.6	417	0
Ožujak	6.5	78.3%	71.61	3.44	97.7	3.7	6.5	357	0
Travanj	10.6	76.4%	80.70	4.17	97.4	3.2	10.3	222	18
Svibanj	15.4	74.2%	80.29	5.36	97.6	2.8	15.1	81	167
Lipanj	19.0	72.7%	78.90	5.77	97.7	2.5	18.8	0	270
Srpanj	21.5	68.3%	55.18	6.01	97.7	2.6	21.4	0	357
Kolovoz	21.6	67.1%	70.68	5.21	97.7	2.6	21.5	0	360
Rujan	17.3	73.2%	103.50	3.67	97.8	3.0	17.4	21	219
Listopad	12.9	79.9%	106.02	2.25	97.9	3.5	13.3	158	90
Studeni	7.9	84.4%	120.00	1.40	97.7	3.9	8.6	303	0
Prosinac	3.9	85.5%	91.76	1.15	97.9	4.2	4.8	437	0
<b>Godišnje</b>	<b>11.9</b>	<b>77.2%</b>	<b>995.40</b>	<b>3.52</b>	<b>97.7</b>	<b>3.3</b>	<b>12.1</b>	<b>2,476</b>	<b>1,480</b>
Izvor	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Mjerenje na						m	10		0

Slika 5.5. Osnovni podaci o klimi grada

Standardne vrijednosti faktora kapaciteta vjetroelektrane variraju između 20% i 40%, gdje se niža granica ovog raspona odnosi na tehnologije instalirane u područjima s umjerenim vjetrovnim uvjetima, dok se viša granica odnosi na vjetroagregate instalirane u područjima s izvrsnim vjetrovnim uvjetima. On pokazuje koliko često vjetroelektrana ostvaruje svoj maksimalni kapacitet proizvodnje električne energije i vrlo je bitan faktor pri projektiranju vjetroelektrane, jer utječe na krajnje iskorištenje vjetrova i financijsku dobit projekta. U gradu Rijeci, gdje je prosječna brzina vjetrova relativno malena, faktor kapaciteta je bliži donjoj granici, i niži nego u područjima u kojima su brzine vjetrova veće i tako pogodnije za izgradnju vjetroelektrane.

U nastavku se proračun vrši u izborniku energija, a odabrana razina proračuna je 2. Ta razina nudi odabir brzine vjetrova, nadmorske visina na kojoj se mjerila brzina vjetrova od 100 metara, prosječnih podataka o eksponentu poprečnog vjetrova, temperaturi zraka i atmosferskom tlaku. Na slici 5.6 prikazane su odabrane karakteristike željenog područja. Eksponent poprečnog vjetrova prikazuje broj bez jedinica koji opisuje brzinu promjene brzine vjetrova s visinom iznad tla. Nizak eksponent

sugerira glatku površinu terena, dok visoki eksponent ukazuje na teren s velikim preprekama. Ova vrijednost se koristi za izračun prosječne brzine vjetra na visini glavne osovine vjetroagregata.

Vjetar - Razina 2

Procjena resursa		Klimatski podaci	
Metoda resursa	Brzina vjetra	Hrvatska - Rijeka	
Brzina vjetra - godišnja	m/s	7.7	3.3
Mjereno na	m	100	10
Eksponent poprečnog vjetra		0.14	
Temperatura zraka - godišnja	°C	11.9016	11.9
Atmosferski tlak - godišnji	kPa	97.7263	97.7
Vjetroturbina			
Energetski kapacitet po turbini	MW	3	
Proizvođač		Vestas	
Model		VESTAS V90-3.0 MW - 65m	
Broj turbina		16	
Instalirana snaga	MW	48	
Visina gondole	m	65	7.2 m/s
Promjer rotora po turbini	m	90	
Zahvaćena površina po turbini	m <sup>2</sup>	6,361.73	
Podaci krivulje energije		Standardno	
Faktor oblika		2	

Slika 5.6. Odabir karakteristika vjetroelektrane

Program nam pruža mogućnost odabira postojećih vjetroturbina, a obzirom da je za već postojeće turbine provedena analiza njihovih karakteristika, a odabirom proizvođača, modela i broja turbina prikazuju se sukladna krivulja snage i energije, gubici, očekivana proizvodnja energije i dodatne informacije navedene u nastavku.

Za svrhu ove analize koristit će se vjetroturbine instalirane snage 3 MW proizvođača Vestas. Za postizanje željene količine proizvodnje električne energije potrebno nam je 14 takvih vjetroturbina što daje ukupnu instaliranu snagu jedne vjetroelektrane od 42 MW, dok je sama vjetroturbina postavljena na nadmorskoj visini od 65 metara.

Kao rezultat unesenih parametara, dobiveni su okvirni gubici u mreži, prosječna raspoloživost svih vjetroagregata u mreži, faktor opterećenja, osnovni podaci o troškovima te predviđena bruto proizvodnja energije jednog vjetroagregata. Raspoloživost prikazuje gubitke raspoloživosti zbog planiranog održavanja, kvarova vjetroagregata, prekida u radu postrojenja i prekida u opskrbi energijom. Tipične vrijednosti raspoloživosti kreću se u rasponu od 93% do 98% bruto proizvodnje energije. Faktor opterećenja iznosi 26.3%, kao što je prikazano na slici 5.7, što je unutar prihvatljivih granica i očekivana vrijednost za područje Rijeke.

Bruto proizvodnja energije jednog vjetroagregata koja iznosi 7990 MWh godišnje. Neprilagođena proizvodnja energije množi se s koeficijentom tlaka i temperaturnim koeficijentom te model izračunava bruto proizvodnju energije za jedan vjetroagregat, što predstavlja ukupnu godišnju proizvedenu energiju. Neprilagođena proizvodnja energije prikazuje koliko se godišnje električne energije proizvodi po turbini, za jedan vjetroagregat pri standardnim uvjetima temperature i atmosferskog tlaka. Na slici je prikazan koeficijent tlaka čije vrijednosti sežu između 0,59 i 1,02 i proporcionalan je prosječnom atmosferskom tlaku na lokaciji. Ovisi o nadmorskoj visini lo-

<b>Gubici</b>		
Gubici u mreži	%	4%
Aerodinamički gubici	%	2%
Ostali gubici	%	6%
Raspoloživost	%	98%
<b>Sažetak</b>		
Faktor opterećenja	%	26.3%
Inicijalni troškovi	€/kW	2,000
	€	96,000,000
Troškovi pogona i održavanja (uštete)	€/kW-godišnje	36
	€	1,728,000
Tarifa električne energije	Tarifa električne energije - godišnje	
	€/kWh	0.07
Električna energija isporučena u mrežu	MWh	110,792
Prihod od isporuke električne energije	€	7,755,445
<b>Druge informacije</b>		
		Po turbini
Neprikladna proizvodnja energije	MWh	8,193
Koeficijent tlaka		0.965
Temperaturni koeficijent		1.011
Bruto proizvodnja energije	MWh	7,990
Koeficijent gubitaka		0.87
Specifični prinos	kWh/m <sup>2</sup>	1,088

Slika 5.7. Rezultati zadanih parametara

kacije gdje niža granica odgovara višoj nadmorskoj visini. Vrijednost 0.965 prikazuje kako je lokacija elektrane koju analiziramo na nižoj nadmorskoj visini od prosjeka. Temperaturni koeficijent varira između 0,98 i 1,15 za temperature koje se kreću otprilike od 20°C do -20°C, a on je obrnuto proporcionalan prosječnoj temperaturi na lokaciji gdje standardna referentna temperatura od 15°C odgovara koeficijentu prilagodbe temperature od 1. Poput koeficijenta tlaka, koristi se za određivanje bruto proizvodnje energije za jedan vjetroagregat. Ako ponovno promotrimo sliku 5.5, primjećujemo kako srednja godišnja temperatura na odabranom području iznosi 11.9°C, a standardna referentna temperatura iznosi 15°C, što znači da je zrak odabranog područja gušći od standardnog. Množenjem neprilagođene proizvodnja energije s koeficijentom temperature bruto proizvodnja elektrane podiže se za 1.011%.

Obzirom da smo odabrali 16 vjetroagregata, a bruto proizvodnja energije jednog agregata iznosi 7990 MWh;

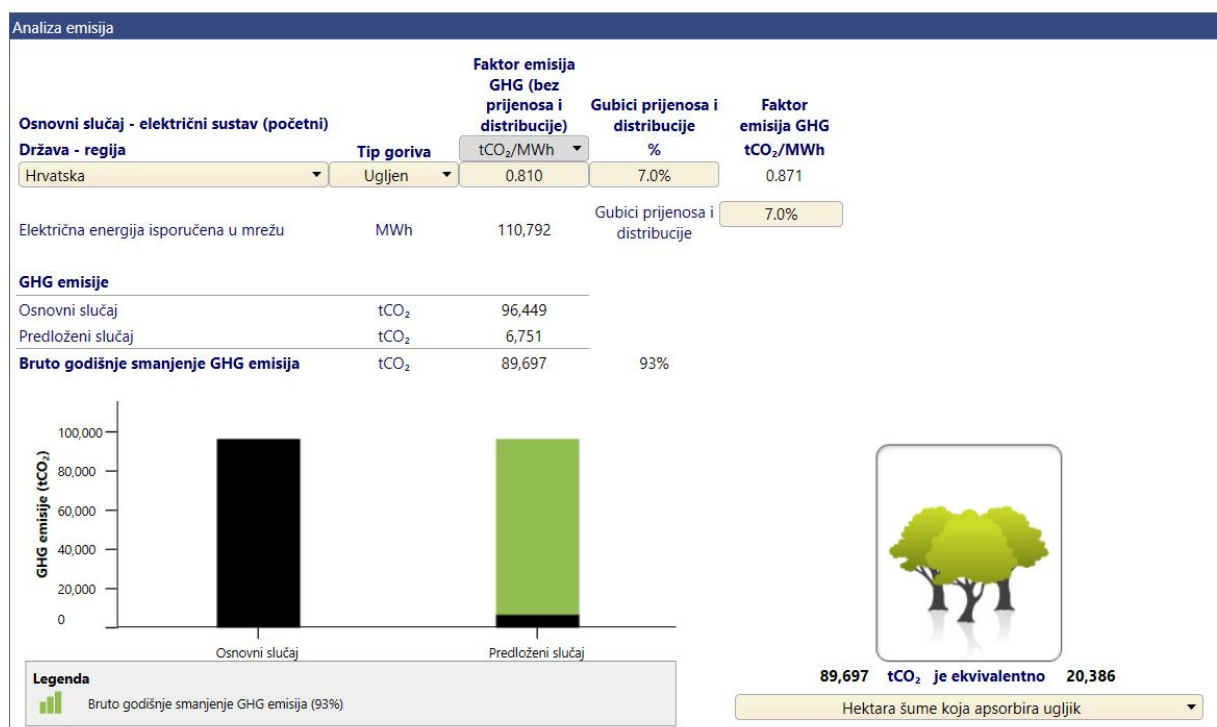
$$16 * 7990 = 127840 \quad (5.2)$$

ukupna godišnja bruto proizvodnja energije iznosi 127840 MWh.

Od 314.92 GWh kojih je potrebno proizvesti iz energije sunca i vjetra, na ovaj je način moguće ostvariti proizvodnju od 127.840 GWh, što čini 40.5% potrebne proizvodnje.

#### 5.4.2. Ekološka analiza

RETSscreen izračunava smanjenje emisija stakleničkih plinova koji su rezultirali provedbom predloženog projekta i također računa moguće prihode koji bi se iz toga mogli ostvariti. Smanjenja se određuju proračunom emisija u referentnom slučaju i emisija u slučaju predloženog, trenutnog projekta te se zatim oduzimaju jedna od druge. Emisije stakleničkih plinova uzimaju se u obzir samo tijekom pogona te se ne vrši analiza životnog ciklusa pa emisije stakleničkih plinova neće uključivati proizvodnju, ekstrakciju resursa, izgradnju i druge povezane aktivnosti. Predloženi slučaj izgradnje vjetroelektrane sadrži nulte emisije. Referentni slučaj za projekt zelene energije povezan s mrežom prikazuje emisije koje bi mreža emitirala tijekom opskrbe električne energije kada projekt nebi bio izgrađen. Kao referentna osnova koristi se prosječni faktor emisije za generaciju na mreži u Hrvatskoj, a on je izražen je u tonama ekvivalentnim ugljičnom dioksidu ispuštenom po MWh proizvedene električne energije. RETScreen ima bazu podataka o faktorima emisije mreže zabilježenim gotovo u svim zemljama svijeta, a faktor emisije je prikazan za sve izvore na mreži prema vrsti goriva. Također, uzimaju se u obzir gubici energije u sustavu prijenosa i distribucije, u žicama i transformatorima, a taj se postotak uključuje u proračun na način da se nadoknađuje dodatnom generacijom iz mreže. Uključuje se na način da povećava faktor emisije za referentni i za predloženi slučaj. U ovom je projektu odabran T&D faktor od 7%, jer je to prosječan faktor gubitaka za dobro dizajniranu i održavanu mrežu.



Slika 5.8. Analiza emisija

Odabrani tip goriva je ugljen, obzirom da bi uporabom energije vjetera i sunca termoelektrana Rijeka, čije je pogonsko gorivo ugljen, bila zamijenjena čišćim energetskim izvorima. U ovom je slučaju faktor emisija stakleničkih plinova  $0.810 \text{ tCO}_2/\text{MWh}$ , a bruto godišnje smanjenje GHG



emisija iznosi 89.697 tCO<sub>2</sub>, što predstavlja smanjenje od 93% u odnosu na elektranu na ugljen, a odabrani su podaci prikazani na slici 5.8. Za usporedbu, prikazan je ekvivalent smanjenju, gdje je za tu vrijednost potrebno 20,386 hektara šume koja apsorbira ugljik.

Prihod od smanjenja stakleničkih plinova		
Stopa naknade za smanjenje GHG	€/tCO <sub>2</sub>	84.4
Trajanje naknade za smanjenje GHG	god	20
Stopa porasta naknade za smanjenje GHG	%	0.26%
Naknada za prijenos GHG certifikata	%	1.5%
Neto godišnje smanjenje GHG emisija	tCO <sub>2</sub>	88,352
Prihod od smanjenja stakleničkih plinova	€	7,456,892

Slika 5.9. Prihodi povezani s emisijama

Odabrana stopa naknade za smanjenje GHG temelji se na podacima o trenutnoj cijeni EU ETS, dok bi trajanje naknade za smanjenje GHG iznosilo cijeli životni vijek vjetroelektrane, a u ovom ćemo slučaju pretpostaviti da će vjetroelektrana imati životni vijek od 20 godina. Očekuje se da će tijekom razdoblja od 2022. do 2025. godine prosječna cijena ugljičnih kvota na EU ETS-u iznositi 84,4 eura po toni CO<sub>2</sub>, dok se predviđa rast na gotovo 100 eura po toni CO<sub>2</sub> tijekom razdoblja od 2026. do 2030. godine. Prema tim podacima, stopa porasta naknade za smanjenje GHG iznosila bi u postotku približno 0.85%, dok bi naknada za prijenos GHG certifikata iznosila prosječnih 1.5% po projektu.

#### 5.4.3. Ekonomska analiza

Oko 75% ukupnih troškova proizvodnje energije putem vjetroagregata odnosi se na početne troškove, uključujući troškove samih vjetroagregata, izgradnje temelja, nabavke električne opreme i povezivanja s električnom mrežom. S obzirom na to da promjenjivi troškovi goriva ne utječu na cijenu proizvodnje električne energije, ovaj aspekt predstavlja jednu od značajnih ekonomskih prednosti vjetroenergije. Cijena vjetroenergije ovisi o faktoru koliko budući vlasnik vjetroagregata može ponuditi po kWh u natječaju za ugovor o kupnji električne energije ili što bi bio spreman prihvatiti kao ponudu s fiksnom cijenom od strane kupca električne energije. Cijena koju vlasnik vjetroagregata traži ovisi o troškovima koje mora pokriti kako bi ispunio svoju isporuku i rizicima koje mora nositi. Vjetroenergija se može prodavati putem dugoročnih ugovora s rokom trajanja od 15-25 godina, ovisno o željama kupaca i prodavatelja. Jedan od problema nastaje zbog zagušenja u prijenosu električne energije, posebno tijekom razdoblja s visokom proizvodnjom vjetroelektrana. Ako dostupan prijenosni kapacitet ne može zadovoljiti potrebe za izvozom električne energije, opskrbno područje se odvaja od ostatka tržišta električne energije i postaje svoje vlastito područje za cijene. Kada dođe do viška električne energije u tom području, konvencionalne elektrane su prisiljene smanjiti svoju proizvodnju, jer obično nije isplativo niti ekološki poželjno ograničavati proizvodnju energije vjetra. U većini slučajeva, to će rezultirati smanjenom cijenom električne energije na tom dijelu tržišta.

Promjenjivi troškovi goriva nemaju utjecaja na ukupne troškove proizvodnje električne energije u vjetroelektrani. Ovaj kontrast jasno pokazuje da je vjetroelektrana kapitalno intenzivna u usporedbi s konvencionalnim tehnologijama na fosilna goriva, kao što su elektrane na prirodni plin, gdje gorivo i troškovi održavanja mogu činiti čak 40-70% ukupnih troškova.

Ključni elementi koji određuju osnovne troškove vjetroelektrane sadrže početne investicijske troškove, troškove instalacije vjetroelektrane, troškovi kapitala, tj. stopa diskonta, troškove pogona i održavanja, troškove razvoja i planiranja projekta, životni vijek turbine, proizvodnju električne energije i gubitke energije.[37]

Prije same ekonomske analize, potrebno je odrediti cijenu električne energije po kojoj bi se električna energija prodavala. Poticajna cijena električne energije odabrana je prema tarifnom sustavu za proizvodnju električne energije iz kogeneracije i obnovljivih izvora energije, prema kojemu je za vjetroelektrane instalirane snage veće od 5 MW poticajna cijena jednaka referentnoj cijeni električne energije. Referentna cijena električne energije ovisi o važećoj tarifnoj stavki za radnu energiju po dnevnoj tarifi. U okviru univerzalne usluge koristi se tarifni model plavi, a sukladno Metodologiji za određivanje visine tarifnih stavki za opskrbu električnom energijom unutar univerzalne usluge, opskrbljivači su obvezni kupovati električnu energiju proizvedenu iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije od operatora tržišta po poticajnoj cijeni. [30] HEP određuje cijene tarifnih modela, a tarifni model plavi za potrebe tarifnih stavki za radnu energiju iznosi 0,53 kn/kWh ili 0.07 eur/kWh. [30]

U izborniku Energija, sa slike 5.10 postoji opcija za podešavanje cijene prodaje električne energije. Odabran je tip tarife električne energije – godišnje i valuta u eurima po kilovatsatu. Za odabir godišnje stope odabrana je cijena od 0.07 eura po kilovatsatu.

Goriva	
Tip goriva	Prirodni plin - m <sup>3</sup>
Protok goriva - jedinica	€/m <sup>3</sup>
Protok goriva	0.30
<input checked="" type="checkbox"/> Ogrjevna vrijednost i protok goriva	

Električna energija	
Tip	Tarifa električne energije - godišnje
Opis	Tarifa električne energije - godišnje
Stopa - jedinica	€/kWh
Stopa - godišnje	0.07

Slika 5.10. Padajući izbornik za odabir željenog postrojenja

Primjećujemo da je postoji mogućnost korištenja goriva, prirodnog plina, iako vjetroelektrana nije potrebno gorivo. Gorivo je uvijek uključeno prema zadanim postavkama u analizi, čak i ako se ne koristi za pogon.

Program nudi odabir iznosa inicijalnih troškova, a prikazuje tipične instalacijske troškove po

kW vjetroelektrane u ovisnosti o veličini projekta. Za svrhu ove analize preuzeli su se tipični instalacijski troškovi za elektranu ove snage prikazani su na slici 5.11, koji iznose 2000 eur/kWh.

Inicijalni troškovi povezani s provedbom projekta uključuju troškove za izradu studije izvedivosti, obavljanje funkcija razvoja projekta, nabavu i instalaciju energetske opreme, izradu potrebne tehničke dokumentacije, provođenje mjera energetske učinkovitosti, izgradnju sistema ravnoteže i troškove ostalih raznih stavki. [27]

Tehnologija	Elektrana - Tipični instalacijski trošak (€/kW)					
	10 kW	100 kW	1,000 kW	10,000 kW	100,000 kW	1,000,000 kW
Plinska turbina - Prirodni plin	3,800	3,500	2,400	1,600	1,100	1,000
Plinska turbina - kombinirani ciklus - Prirodni plin					2,800	1,400
Hidroturbina		5,700	5,200	4,500	4,100	3,600
Fotonaponski sustav	2,200	1,900	1,600	1,300	1,100	950
Fotonaponski sustav - Sustav praćenja	2,900	2,300	1,800	1,500	1,200	1,000
Recipročni motor - Dizel (#2 ulje)		1,000	1,100	1,300	1,500	
Recipročni motor - Prirodni plin		2,400	2,000	1,500	1,200	
Recipročni motor - Bioplin/Deponijski plin	7,500	5,800	4,400	3,300	2,600	
Solarna toplinska energija			10,100	6,800	5,700	5,700
Parna turbina - Ugljen					3,800	3,800
Parna turbina - Biomasa/Kruti komunalni otpad			11,000	9,900	8,000	
<b>Vjetroturbina</b>	<b>6,400</b>	<b>3,200</b>	<b>2,800</b>	<b>2,100</b>	<b>2,000</b>	<b>1,800</b>
<b>Vjetroturbina - Offshore</b>				<b>4,700</b>	<b>4,100</b>	<b>3,600</b>

Slika 5.11. Inicijalni troškovi

Također se na jednak način odabiru troškovi pogona i održavanja, a tipične vrijednosti iznose 36 eur/kWh, a prikazane su na slici 5.12.

Tehnologija	Elektrana - Troškovi pogona i održavanja - Tipično (€/kW-godišnje)					
	10 kW	100 kW	1,000 kW	10,000 kW	100,000 kW	1,000,000 kW
Plinska turbina - Prirodni plin	292	219	146	101	55	41
Plinska turbina - kombinirani ciklus - Prirodni plin					101	50
Hidroturbina		181	148	99	84	84
Fotonaponski sustav	39	25	19	14	11	9
Fotonaponski sustav - Sustav praćenja	50	31	24	17	12	10
Recipročni motor - Dizel (#2 ulje)		163	125	62	48	
Recipročni motor - Prirodni plin		244	187	93	73	
Recipročni motor - Bioplin/Deponijski plin	460	403	310	155	121	
Solarna toplinska energija			148	137	132	110
Parna turbina - Ugljen					112	95
Parna turbina - Biomasa/Kruti komunalni otpad			432	345	260	
<b>Vjetroturbina</b>	<b>48</b>	<b>60</b>	<b>51</b>	<b>34</b>	<b>36</b>	<b>29</b>
<b>Vjetroturbina - Offshore</b>				<b>155</b>	<b>100</b>	<b>80</b>

Slika 5.12. Troškovi pogona i održavanja

Jedan od bitnijih financijskih doprinosa projektu je i prihod od smanjenja stakleničkih plinova, koji iznosi 7456892.42 eura godišnje, kao što je prikazano na slici 5.9.

Financijski parametri, bez uračunavanja mogućih financijskih poticaja, uz omjer duga i glavnice od odabranih 70%, prikazani su na slici 5.13. Pretpostavljena je kamatna stopa duga od 7% te trajanje duga od 15 godina. Odnos duga i glavnice (Debt/Equity) pokazuje koliko tvrtka duguje u odnosu na to koliko vlasničkog kapitala tvrtka posjeduje. Veća vrijednost omjera duga i vlasničkog kapitala ukazuje na veću zaduženost tvrtke. Visoko zadužene tvrtke nose povećani rizik od nesposobnosti podmirenja dugova u slučaju smanjenja prihoda i imaju više ograničenu sposobnost podizanja novih kredita. Dug je obveza tvrtke prema onima kod koje je zadužena, dok je glavnica vlasnički kapital tvrtke.[40]

Financijski parametri			
<b>Općenito</b>			
Rast troškova goriva			2%
Stopa inflacije	%		2%
Diskontna stopa	%		9%
Stopa reinvestiranja	%		9%
Životni vijek projekta	god		20
<b>Financije</b>			
Poticaji i dotacije	€		
Omjer duga	%		70%
Dug	€	67,200,000	
Imovina	€	28,800,000	
Kamatna stopa duga	%		7%
Trajanje dugovanja	god		15
Otplata duga	€/god		7,378,199
<b>Analiza oporezivog dohotka</b>			<input type="checkbox"/>

Slika 5.13. Financijski parametri

Troškovi   Uštede   Dohodak			
<b>Inicijalni troškovi</b>			
Inicijalni trošak	100%	€	96,000,000
<b>Ukupni početni troškovi</b>	<b>100%</b>	<b>€</b>	<b>96,000,000</b>
<b>Godišnji tok novca - Godina 1</b>			
<b>Godišnji troškovi i otplate duga</b>			
Troškovi pogona i održavanja (uštede)		€	1,728,000
Otplata duga - 15 god		€	7,378,199
<b>Ukupni godišnji troškovi</b>		<b>€</b>	<b>9,106,199</b>
<b>Godišnje uštede i prihodi</b>			
Prihod od isporuke električne energije		€	7,755,445
Prihod od smanjenja stakleničkih plinova - 20 god		€	7,456,892
Drugi prihodi (troškovi)		€	0
Prihod od proizvodnje čiste energije		€	0
<b>Ukupni godišnji prihodi i uštede</b>		<b>€</b>	<b>15,212,338</b>
<b>Neto godišnji protok gotovine - Godina 1</b>		<b>€</b>	<b>6,106,139</b>

Slika 5.14. Troškovi i uštede



Nadalje, na slici 5.14 prikazani su ranije postavljeni troškovi i program prikazuje račun krajnjeg neto godišnjeg protoka gotovine koji iznosi 6106138.97 eura. Troškovi su kategorizirani i uključuju analizu inicijalnih troškova, troškova pogona i održavanja, otplate duga u trajanju od 15 godina te godišnje uštede i prihode od isporuke električne energije i smanjenja stakleničkih plinova.

Financijska isplativost		
IRR prije oporezivanja - kapital	%	24.1%
MIRR prije oporezivanja - kapital	%	14.3%
IRR prije oporezivanja - imovina	%	6.2%
MIRR prije oporezivanja - imovina	%	7.6%
Jednostavni povrat	god	7.1
Povrat imovine	god	4.4
Neto sadašnja vrijednost (NPV)	€	45,732,595
Godišnje uštede životnog ciklusa	€/god	5,009,845
Omjer koristi i cijene		2.6
Pokriće duga		1.8
Troškovi smanjenja GHG	€/tCO <sub>2</sub>	38.42
Cijena proizvodnje energije	€/kWh	0.106

Slika 5.15. Financijska isplativost

Financijska isplativost, 5.15 uključuje izračunavanje unutarnje stope povrata (IRR) na kapital prije oporezivanja, a ako je stopa unutarnje stope jednaka ili veća od tražene stope povrata organizacije, tada će projekt vjerojatno biti smatran financijski prihvatljivim. Koristi se kako bi se utvrdilo koliko će investitori dobiti natrag od projekta kao postotak njihovih početnih ulaganja, prije nego što se uzmu u obzir porezi. To znači da se IRR izračunava na temelju svih budućih novčanih tokova projekta prije nego što se odbiju porezi i naknade.

Izračun MIRR-a prije oporezivanja temelji se na pretpostavci da se pozitivni novčani tokovi iz projekta reinvestiraju po stopi reinvestiranja, dok se negativni novčani tokovi financiraju po stopi diskonta ili ponderiranoj prosječnoj kapitalnoj stopi. Stopa diskonta je kamatna stopa koja se koristi za prilagođavanje budućih novčanih tokova na sadašnju vrijednost, uzimajući u obzir vremensku vrijednost novca. Ova stopa odražava trošak kapitala ili očekivani prinos koji bi investitori mogli postići investirajući taj kapital na alternativan način. Kada računamo MIRR (Modified Internal Rate of Return) prije oporezivanja, pretpostavljamo da se pozitivni novčani tokovi generirani projektom reinvestiraju što znači da se novac koji projekt donosi ulaže ponovno po određenoj kamatnoj stopi kako bi se ostvarili dodatni prihodi ili dobit, a negativni novčani tokovi financiraju se po stopi diskonta ili ponderiranoj prosječnoj kapitalnoj stopi što znači da kada projekt zahtijeva dodatna sredstva ili ima troškove, ti negativni novčani tokovi uzimaju se u obzir s obzirom na kamatnu stopu ili stopu povrata, kako bi se odredila stvarna financijska opterećenja.[27] Model također izračunava razdoblje povrata u godinama, što predstavlja vremenski period potreban

da predloženi projekt vrati svoje početne troškove iz prihoda ili ušteda koje generira. Osnovna pretpostavka metode jednostavnog razdoblja povrata je da što brže možete povratiti ulaganje, to je ulaganje poželjnije. U našem slučaju jednostavni povrat iznosi 7.1 godinu, a povrat imovine, koji predstavlja vremenski period koji je potreban vlasniku objekta da povрати svoje početno ulaganje, iznosi 4.4 godine.

Metodom NPV-a uspoređuju se vrijednosti svih budućih priljeva gotovine s vrijednostima svih budućih odljeva gotovine povezanih s investicijskim projektom. Razlika između ovih vrijednosti, nazvana NPV, služi kao pokazatelj hoće li se projekt smatrati financijski isplativim. Ako su pozitivne, NPV vrijednosti sugeriraju da je projekt potencijalno izvediv. Model za izračun NPV-a koristi kumulativne godišnje gotovinske tokove nakon oporezivanja. [27] Neto sadašnja vrijednost ovog projekta iznosi 45732594.58 eura, što je vrijednost puno veća od nule te se smatra kako je ovaj projekt izvediv i financijski održiv.

Godišnje uštede tijekom životnog ciklusa iznose 5009844.52 eura, a imaju isti životni vijek i sadašnju vrijednost kao projekt. Godišnje uštede tijekom životnog ciklusa izračunavaju se pomoću sadašnje vrijednosti, stope diskonta i životnog vijeka projekta.

Godišnji prihod		
<b>Prihod od isporuke električne energije</b>		
Električna energija isporučena u mrežu	kWh	110,792,076
Tarifa električne energije	€/kWh	0.07
Prihod od isporuke električne energije	€	7,755,445
Stopa porasta prodaje električne energije	%	2%
<b>Prihod od smanjenja stakleničkih plinova</b>		
Neto GHG smanjenje	tCO <sub>2</sub> /god	88,352
Neto GHG smanjenje - 20 god	tCO <sub>2</sub>	1,767,036
Stopa naknade za smanjenje GHG	€/tCO <sub>2</sub>	84.40
Prihod od smanjenja stakleničkih plinova	€	7,456,892
Trajanje naknade za smanjenje GHG	god	20
Neto GHG smanjenje - 20 god	tCO <sub>2</sub>	1,767,036
Stopa porasta naknade za smanjenje GHG	%	0.3%
<b>Drugi prihodi (troškovi)</b>		<input type="checkbox"/>
<b>Prihod od proizvodnje čiste energije</b>		<input type="checkbox"/>

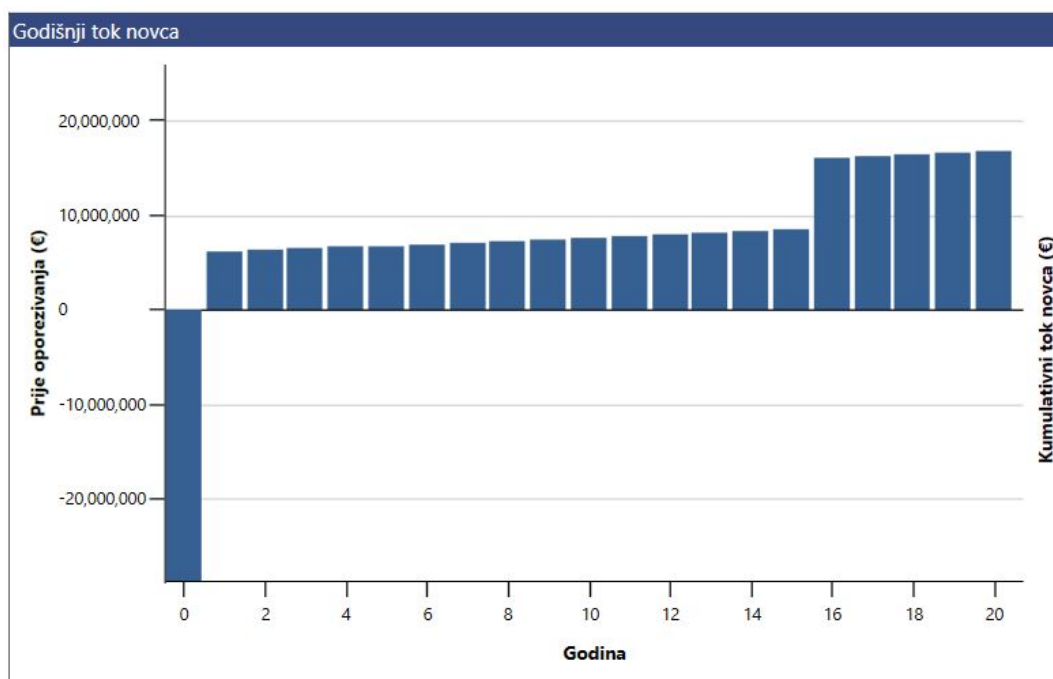
Slika 5.16. Financijska isplativost

Godišnji se prihodi 5.16 sastoje od prihoda od isporuke električne energije po odabranoj poticajnoj cijeni po kWh, a ukupan godišnji prihod od isporuke iznosi 7755445.3 eura. Također se detaljno prikazuje prihod od smanjenja stakleničkih plinova po stavkama temeljenim na podacima zadanim u ekološkoj analizi. Neto GHG smanjenje iznosi 1767036 tona ugljikovog dioksida, a predstavlja ukupno smanjenje emisije stakleničkih plinova tijekom trajanja projekta.

Slike 5.17 i 5.18 ilustriraju godišnji tok novca, gdje je vidljivo kako se već u 5. godini kumulativno prelazi na pozitivne vrijednosti, dok su vrijednosti prije oporezivanja negativne samo prije

Godišnji tok novca		
Godina	Prije oporezivanja	Kumulativno
#	€	€
0	-28,800,000	-28,800,000
1	6,246,076	-22,553,924
2	6,388,474	-16,165,450
3	6,533,382	-9,632,068
4	6,680,849	-2,951,219
5	6,830,925	3,879,706
6	6,983,662	10,863,368
7	7,139,112	18,002,481
8	7,297,329	25,299,809
9	7,458,366	32,758,175
10	7,622,279	40,380,454
11	7,789,126	48,169,580
12	7,958,963	56,128,543
13	8,131,849	64,260,392
14	8,307,846	72,568,238
15	8,487,013	81,055,251
16	16,047,613	97,102,864
17	16,233,311	113,336,176
18	16,422,372	129,758,547
19	16,614,861	146,373,408
20	16,810,846	163,184,254

Slika 5.17. Godišnji prihod



Slika 5.18. Grafički prikaz godišnjeg toka novca

1. godine i iznose -28.8 miliona eura. Vrijednosti prije oporezivanja predstavljaju procijenjeni iznos gotovine koji će se plaćati ili primiti svake godine tijekom cijelog životnog vijeka projekta. Pretpostavlja se da će se vlastiti kapital pojaviti krajem godine 0, a godina 1 je prva godina rada projekta. Kumulativni gotovinski tokovi predstavljaju neto tokove nakon oporezivanja nakupljene od godine 0.

## 5.5. Rješenje: Sunčeva energija

Solarna fotovoltaička tehnologija (PV) koristi se kako bi se sunčeva svjetlost pretvorila izravno u električnu energiju, bez potrebe za dodatnim koracima energetske pretvorbe. Energija se može proizvoditi u bilo kojem području koristeći solarne panele. Solarni članak je temeljna komponenta solarnih fotonaponskih tehnologija, a njegov ulaz je energija u obliku solarnog zračenja dok mu je izlaz električna energija. Na taj je način solarni članak uređaj za pretvaranje energetske radijacije u električnu energiju. Tehnologija solarnih članaka dobiva ime prema vrsti materijala korištenih za njihovu izradu, a vrste materijala uključuju monokristalni silicij, polikristalni silicij, amorfni silicij i još mnoge druge. Sam je solarni članak uređaj malene površine u usporedbi s našim potrebama proizvodnje energije te se članci povezuju u fotonaponske module. Fotonaponski moduli proizvode električnu energiju samo kada sunčeva svjetlost obasjava module, a za primjene tijekom noći može biti potrebno pohranjivanje električne energije u baterijama ako nema druge opskrbe. Količina električne energije generirane iz fotonaponskog modula ovisi o fizičkoj veličini modula pa što je ona veća, to će više električne energije generirati. Baterije se koriste kada je potreba za električnom energijom veća od proizvodnje tijekom dana. U određenim situacijama, fotonaponski moduli direktno doprinose električnoj mreži, izbjegavajući potrebu za baterijama. Također, električna energija koju generiraju fotonaponski moduli je u obliku istosmjerne struje, dok većina naših uređaja koristi izmjeničnu struju, stoga je nužna DC-AC konverzija prije uporabe električne energije iz fotonaponskih sustava. Jedan od bitnih komponenti PV sustava je i pratitelj maksimalne snage (MPPT) koji služi za izvlačenje maksimalno dostupne snage iz fotonaponskih modula pri zadanom unosu sunčevog zračenja. Fotonaponski PV sustav podrazumijeva fotonaponske module i druge povezane komponente koje zajedno služe za opskrbu pouzdanom električnom energijom uređajima. Postoje samostalni fotonaponski PV sustavi, mrežno povezani fotonaponski PV sustavi i hibridni fotonaponski PV sustavi. Samostalni fotonaponski PV sustavi ne ovise o drugim izvorima energije te obično koriste sredstva za pohranu energije u obliku baterija. Kod fotonaponskih PV sustava povezanih s mrežom ne koristi se pohrana u baterijama, ali se prije predaje energije u mrežu istosmjerna električna energija generirana fotonaponskim modulima pretvara u izmjeničnu. Prije predaje mreži također se energija mora sinkronizirati s naponom i frekvencijom električne mreže. Hibridni fotonaponski sustavi većinom se koriste kao dodatni izvor energije, primjerice uz dizelski generator, gdje moduli nisu konstruirani za opskrbu svom potrebnom energijom za teret.

Implementacija tehnologije fotonaponskih ćelija može biti modularna što znači da se veličina solarnog fotonaponskog sustava za proizvodnju električne energije može povećavati prema po-

većanju potrebe za električnom energijom. To je prednost u odnosu na dizelske generatore ili elektrane na bazi ugljena jer se njihova jednom određena veličina ne može mijenjati te je u slučaju potrebe za povećanjem električne energije potrebno je kupiti još jedan dizelski generator ili postaviti još jednu elektranu.

Postoje dvije glavne kategorije tehnologija za iskorištavanje solarne energije, tehnologija fotonaponskih ćelija i solarna termalna tehnologija. U solarnoj termalnoj tehnologiji, energija sunčevog zračenja pretvara se u toplinsku energiju, dok se u tehnologiji fotonaponskih ćelija energija sunčevog zračenja izravno pretvara u električnu energiju. U solarnoj termalnoj tehnologiji koristi se solarni kolektor, a svjetlost se prikuplja pomoću različitih vrsta solarnih kolektora koji generiraju toplinu koja se zatim koristi za različite svrhe, kao što je zagrijavanje vode. Jedna od primjena solarno termalne energije u CSP elektranama koje koriste tehnologiju koncentratorskog solarnog napajanja. One proizvode električnu energiju slično elektranama na ugljen, ali se para generira pomoću sunčevog zračenja. Postoje velike CSP elektrane, a jedna od najvećih premašila je 190 GW termalne snage. Snaga izlaza PV modula mijenja se s promjenom sljedećih parametara;

- Stopa konverzije ( $\eta$ )
- Količina svjetla ( $P_{in}$ )
- Radna temperatura (T)
- Površina solarnih ćelija (A)
- Kut pod kojim svjetlost pada ( $\theta$ )

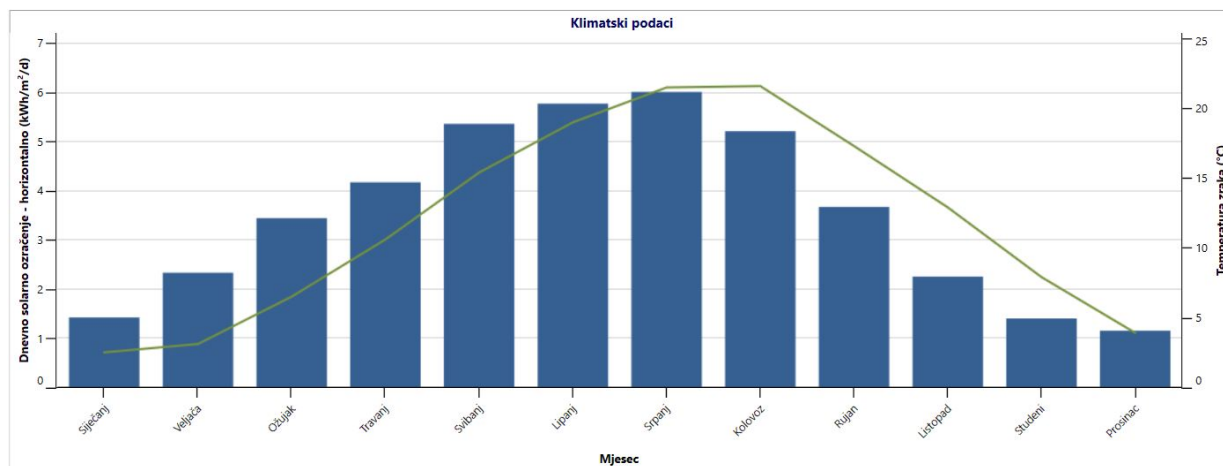
Modul se sastoji od nekoliko ćelija koje su električki povezane jedna s drugom u seriju i/ili paralelno te svaka solarna ćelija pretvara određeni dio svjetlosne energije koja pada na nju u električnu energiju. Na taj način, fotonaponski (PV) modul također pretvara samo dio ukupnog svjetla koje pada na njega u električnu energiju, a konverzijska učinkovitost PV modula predstavlja omjer električne energije koja se generira prema ulaznoj svjetlosnoj energiji i ona je uvijek manja od učinkovitosti solarnih ćelija koje se koriste u njemu. Učinkovitost modula izražava se u smislu maksimalne ili vršne snage ( $P_m$ ) koju modul može generirati za određeno ulazno solarno zračenje. Vršna snaga ovisi o naponu koji se razvija na terminalima modula i struji koju može isporučiti. Ako je trenutna solarna radijacija ili gustoća snage  $P_{in}$ , a A predstavlja površinu modula, izraz za učinkovitost modula računa se kao:

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in} \cdot A} \quad (5.3)$$

[41]

Obzirom da strujni i naponski izlaz PV modula ovise o količini svjetlosti koja pada na njega te je generirana električna struja izravno proporcionalna količini svjetlosti koja pada na njega, za po-

četak analize prikazat će prosječno solarno ozračenje u gradu rijeci, koje je prikazano na slici 5.19. Očekivano, najveće ozračenje je u ljetnim mjesecima, s najvišim prosječnim mjesečnim ozračenjem od  $6 \text{ kWh/m}^2/\text{d}$  u srpnju i najnižom prosječnom vrijednosti ozračenja od  $1.2 \text{ kWh/m}^2/\text{d}$  u prosincu.



Slika 5.19. Prosječno godišnje solarno ozračenje u Rijeci

### 5.5.1. Solarno ozračenje

Gotovo sva energija primljena od sunca je elektromagnetsko zračenje, a to je zračenje u obliku valova s električnim i magnetskim svojstvima. Valovi variraju u duljini ovisno o izvoru i energetskej razini dok njihova duljina određuje svojstva zračenja. Primjerice, izuzetno kratkovalno zračenje uzima oblik gama zraka, a izuzetno dugovalno zračenje uzima oblik radijskih valova. Između se nalaze rendgensko zračenje, ultraljubičasto zračenje, vidljiva svjetlost i infracrveno zračenje. Većina energije iz sunca obuhvaća neprekidan i neravnomjeran dio elektromagnetskog spektra, od ultraljubičastog do infracrvenog. Sunčeva radijacija se apsorbira, reflektira i rasipa zbog komponenta atmosfere koje mogu uključivati ozon, ugljični dioksid i vodenu paru, kao i druge plinove i čestice. Dvije glavne vrste radijacije koje dosežu tlo su izravna radijacija i difuzna radijacija. Ukupna globalna radijacija obuhvaća svu solarnu radijaciju koja doseže površinu Zemlje i čini ju sumom izravne i difuzne radijacije. Izravna radijacija putuje nesmetano kroz vakuum svemira u ravnoj liniji od Sunca jer u svemiru nema atmosfere. Zruci izravne radijacije su paralelni i stvaraju sjene. Difuzna radijacija je solarna radijacija koja se raspršuje od strane atmosfere i oblaka. Točka na Zemlji može istovremeno primiti difuznu radijaciju iz mnogih smjerova, osim radijacije izravno od Sunca, a udio ukupne globalne radijacije koji čini difuzna radijacija varira od otprilike 10% do 20% za vedro nebo i do čak 100% za oblačno nebo. PV moduli koriste i izravnu i difuznu komponentu ukupne globalne radijacije. Zenit je točka na nebu iznad određene lokacije, a kut zenita je kut između sunca i zenita. Kako kut zenita raste i sunce se približava horizontu, sunčeve zrake moraju proći kroz veću količinu atmosfere da bi dosegle površinu Zemlje što smanjuje količinu solarnog zračenja. Kad je sunce u zenitu, količina atmosfere koju sunčeve zrake moraju proći

da bi dosegle površinu Zemlje je minimalna. Zračna masa je bitan aspekt kod računanja korisnosti PV modula i predstavlja relativnu debljinu atmosfere koju solarno zračenje mora proći da bi doseglo točku na površini Zemlje. Prema definiciji, zračna masa iznosi 1,0 kad je sunce izravno iznad na morskoj razini te veće vrijednosti ukazuju na veće apsorbirajuće učinke atmosfere. Na primjer, zračna masa 2,0 predstavlja kut između sunca i zenita  $60^\circ$  ili  $30^\circ$  iznad horizonta što znači da je duljina puta dvostruko veća.

Zemaljsko solarno zračenje je solarno zračenje koje doseže površinu Zemlje, a od ukupne solarne energije na vanjskoj atmosferi Zemlje, otprilike trećina se odbija od oblaka natrag u svemir ili se raspršuje i apsorbira u atmosferi prije nego što dosegne površinu Zemlje. Maksimalna insolacija na Zemlji primjećena je oko sunčanog podneva na morskoj razini i ima općenito prihvaćenu vrijednost od  $1000 \text{ W/m}^2$ . Veće vrijednosti insolacije na Zemlji mogu se pojaviti na visokim nadmorskim visinama i u vrlo čistim, suhim klimatskim uvjetima oko sunčanog podneva, ali  $1000 \text{ W/m}^2$  je praktična vrijednost za većinu lokacija i klimatskih uvjeta. Ova procjena insolacije često se koristi kao osnova za ocjenu učinkovitosti PV modula.

Sati vrhunca sunca predstavljaju broj sati potrebnih da se akumulira dnevna ukupna solarna insolacija u uvjetima vrhunca sunca. Prosječan dan može imati samo jedan ili dva stvarna sata u uvjetima vrhunca sunca, ali ukupna insolacija za dan može se izraziti u jedinicama sati vrhunca sunca dijeljenjem s  $1000 \text{ W/m}^2$  (insolacija vrhunca sunca). Budući da je električna snaga PV modula ocijenjena u uvjetima vrhunca sunca ( $1000 \text{ W/m}^2$ ), poznavanje broja sati vrhunca sunca na određenoj površini na određenoj lokaciji koristi se za procjenu učinkovitosti PV sustava. Zapravo, većina izvora podataka o insolaciji na suncu prezentira podatke u jedinicama sati vrhunca sunca. [42]

### 5.5.2. Tehnička analiza

Program RETScreen Expert pruža nam uvid u klimatske podatke, od kojih su nam za analizu projekta sunčeve energije najbitniji aspekti sunčeva zračenja i temperature zraka, a na slici 5.20 prikazana je prosječna temperatura zraka od  $11.9$  stupnjeva i prosječno horizontalno dnevno solarno ozračenje od  $3.52 \text{ kWh/m}^2/\text{d}$ . Također, na slici 5.20 prikazani su podaci iz baze podataka programa RETScreen expert o nagibu dnevnog solarnog ozračenja, zadanog tarifi električne energije te o prosječnoj mjesečnoj električnoj energiji isporučenoj u mrežu temeljenoj na parametrima analize. Vidimo kako je izračunato godišnje solarno ozračenje horizonta koje iznosi  $1.29 \text{ MWh/m}^2/\text{d}$  i nagib od  $1.44 \text{ MWh/m}^2/\text{d}$ .

Program nudi odabir materijala modela PV projekta, pri čemu korisnik može odabrati alternativni materijal i ručno unijeti njegove karakteristike ili odabrati između kadmijevog telurida (CdTe), bakar indij selenida (CIS), monokristalnog silicija, polikristalnog silicija i amornog silicija. Prilikom odabira tehničkih karakteristika PV panela, odabran je panel proizvođača Uni-Solar, napravljen od amornog silicija, instalirane snage  $32 \text{ MW}$ , što prikazuje prozor s tahničkim poda-



Mjesec	Temperatura zraka	Relativna vlažnost	Precipitacija	Dnevno solarno ozračenje - horizontalno	Atmosferski tlak	Brzina vjetra	Temperatura zemlje	Stupanj-dani grijanja 18 °C	Stupanj-dani, hlađenje 10 °C
	°C	%	mm	kWh/m <sup>2</sup> /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Siječanj	2.5	85.5%	70.68	1.42	97.9	4.2	3.3	481	0
Veljača	3.1	81.4%	66.08	2.33	97.8	4.1	3.6	417	0
Ožujak	6.5	78.3%	71.61	3.44	97.7	3.7	6.5	357	0
Travanj	10.6	76.4%	80.70	4.17	97.4	3.2	10.3	222	18
Svibanj	15.4	74.2%	80.29	5.36	97.6	2.8	15.1	81	167
Lipanj	19.0	72.7%	78.90	5.77	97.7	2.5	18.8	0	270
Srpanj	21.5	68.3%	55.18	6.01	97.7	2.6	21.4	0	357
Kolovoz	21.6	67.1%	70.68	5.21	97.7	2.6	21.5	0	360
Rujan	17.3	73.2%	103.50	3.67	97.8	3.0	17.4	21	219
Listopad	12.9	79.9%	106.02	2.25	97.9	3.5	13.3	158	90
Studeni	7.9	84.4%	120.00	1.40	97.7	3.9	8.6	303	0
Prosinac	3.9	85.5%	91.76	1.15	97.9	4.2	4.8	437	0
<b>Godišnje</b>	<b>11.9</b>	<b>77.2%</b>	<b>995.40</b>	<b>3.52</b>	<b>97.7</b>	<b>3.3</b>	<b>12.1</b>	<b>2,476</b>	<b>1,480</b>
<b>Izvor</b>	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Mjereno na						m	10	0	

Slika 5.20. Klimatski parametri potrebni za analizu korištenja sunčeve energije

Mjesec	Dnevno solarno ozračenje - horizontalno kWh/m <sup>2</sup> /d	Dnevno solarno ozračenje - nagib kWh/m <sup>2</sup> /d	Tarifa električne energije €/kWh	Električna energija isporučena u mrežu MWh
Siječanj	1.42	2.57	0.07	2,051.695
Veljača	2.33	3.66	0.07	2,627.262
Ožujak	3.44	4.33	0.07	3,425.274
Travanj	4.17	4.33	0.07	3,305.038
Svibanj	5.36	4.97	0.07	3,901.348
Lipanj	5.77	5.08	0.07	3,840.935
Srpanj	6.01	5.41	0.07	4,215.854
Kolovoz	5.21	5.20	0.07	4,044.555
Rujan	3.67	4.23	0.07	3,208.881
Listopad	2.25	3.10	0.07	2,444.184
Studeni	1.40	2.32	0.07	1,783.851
Prosinac	1.15	2.15	0.07	1,712.541
<b>Godišnje</b>	<b>3.52</b>	<b>3.95</b>	<b>0.07</b>	<b>36,561.418</b>

Godišnje solarno ozračenje - horizonta	MWh/m <sup>2</sup>	1.29
Godišnje solarno ozračenje - nagib	MWh/m <sup>2</sup>	1.44

Slika 5.21. Podaci potrebni za analizu

cima i energetske vrijednosti na slici 5.22. Temperaturni koeficijent iznosi 0.11%, a potreban je jer učinkovitost fotonaponskih ćelija varira s njihovom radnom temperaturom. Vrijedi da je

$$\eta(T) = \eta(T_{ref}) (1 - \mu(T - T_{ref})) \quad (5.4)$$

Gdje je :

- $\eta(T)$  - učinkovitost solarnog članka pri temperaturi T
- $\eta(T_{ref})$  - učinkovitost solarnog članka pri referentnoj temperaturi
- T - radna temperatura modula
- $T_{ref}$  - referentna temperatura, obično 25 °C



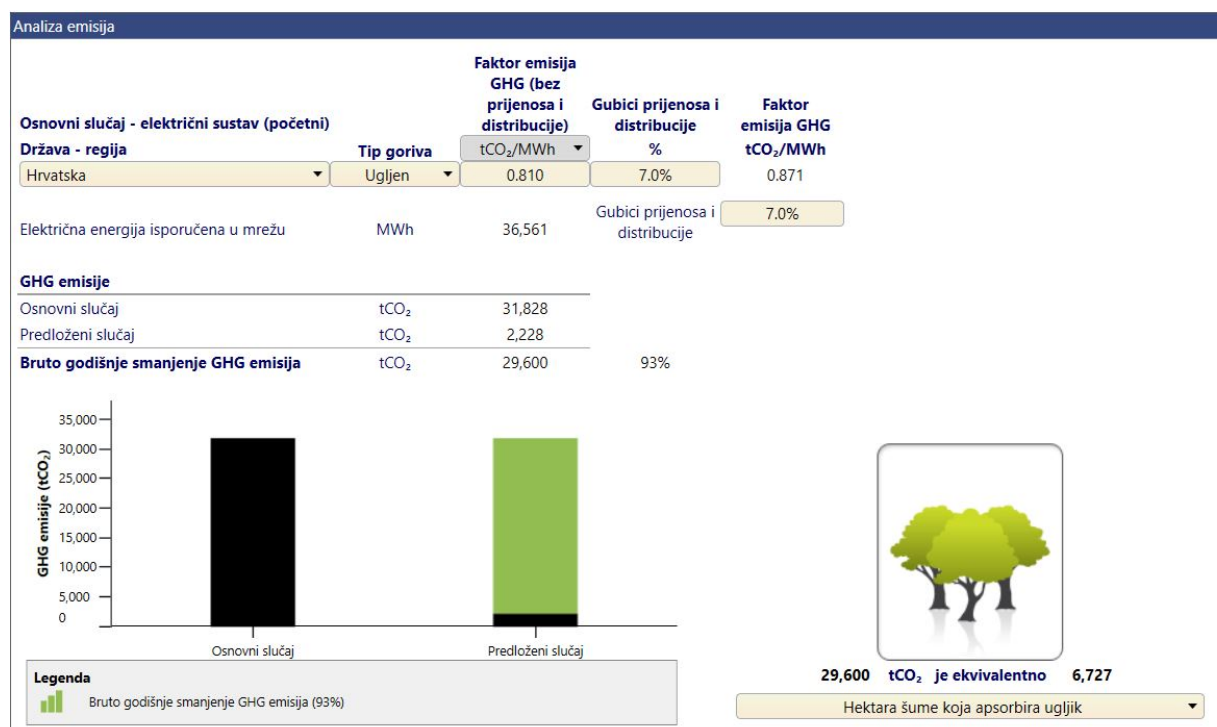
Nazivna pogonska radna temperatura ćelije iznosi 45 °C, što se definira kao temperatura modula koja se postiže kada je fotonaponski (PV) modul izložen solarnoj radijaciji od 800 W/m<sup>2</sup>, brzini vjetera od 1 m/s, temperaturi okoline od 20 °C i bez opterećenja. Površina solarnog kolektora iznosi 561404 m<sup>2</sup> i ona se odnosi na površinu koju će pokriti PV niz što je kapacitet snage PV niza podijeljen s nominalnom učinkovitošću modula. Za sustave montirane na krovu, veličina ne bi smjela premašiti otprilike polovicu ukupne površine krova. Za sustave montirane na tlu, veličina nije ograničena osim dostupnim zemljištem. Za pretvorbu istosmjerne struje kolektora u izmjeničnu struju mreže potreban je izmjenjivač, čija je pretpostavljena učinkovitost 95%. Faktor opterećenja kod ovog je modela manji od onoga u vjetroelektranama te u ovom slučaju iznosi 13%.

Fotonaponski sustav		
Tip		a-Si
Instalirana snaga	MW	32
Proizvođač		Uni-Solar
Model		a-Si - 11-L-B / 11-L-T
Broj jedinica		500,000
Učinkovitost	%	5.7%
Nazivna pogonska temperatura ćelije	°C	45
Temperaturni koeficijent	% / °C	0.11%
Površina solarnog kolektora	m <sup>2</sup>	561,404
Faktor prilagodbe bifacijalnih stanica	%	0%
Ostali gubici	%	15%
Izmjenjivač		
Učinkovitost	%	95%
Kapacitet	kW	90,000
Ostali gubici	%	1%
Sažetak		
Faktor opterećenja	%	13%
Inicijalni troškovi	€/kW	1,100
	€	35,200,000
Troškovi pogona i održavanja (uštete)	€/kW-godišnje	11
	€	352,000
Tarifa električne energije		Tarifa električne energije - godišnje
	€/kWh	0.07
Električna energija isporučena u mrežu	MWh	36,561
Prihod od isporuke električne energije	€	2,559,299

Slika 5.22. Tehnički podaci o PV sustavu, izmjenjivaču i osnovni financijski parametri

### 5.5.3. Ekološka analiza

Ekološka analiza napravljena je na jednak način kao i ona u analizi vjetroelektrane te je odabrani tip goriva ponovno ugljen, obzirom da bi uporabom energije sunca termoelektrana Rijeka, bila zamijenjena izvorima koji bi doprinjeli bruto godišnjem smanjenju GHG emisija. Na slici 5.23 prikazana je količina električne energije godišnje isporučene u mrežu i ona iznosi 36.561 MWh, dok razlika osnovnog i predloženog slučaja GHG emisija iznosi 29600 tona ugljičnog dioksida i to predstavlja smanjenje od 93% u odnosu na elektranu na ugljen. Vidimo kako je u slučaju ove elektrane smanjenje GHG ekvivalentno 6727 hektara šume koja apsorbira ugljik.



Slika 5.23. Analiza emisija kolektora

Prema podacima prikazanim na slici 5.24, postiže se godišnji prihod od smanjenja stakleničkih plinova u iznosu od 2460777 eura, što daje značajan doprinos financijskoj analizi i općoj isplativosti projekta koja će biti prikazana u nastavku.

Prihod od smanjenja stakleničkih plinova		
Stopa naknade za smanjenje GHG	€/tCO <sub>2</sub>	84.4
Trajanje naknade za smanjenje GHG	god	20
Stopa porasta naknade za smanjenje GHG	%	0.26%
Naknada za prijenos GHG certifikata	%	1.5%
Neto godišnje smanjenje GHG emisija	tCO <sub>2</sub>	29,156
Prihod od smanjenja stakleničkih plinova	€	2,460,777

Slika 5.24. Prihod od smanjenja stakleničkih plinova kolektora

#### 5.5.4. Ekonomska analiza

Kao i u analizi vjetroelektrane, postavljena cijena prodaje električne energije bit će državna poticajna cijena koja iznosi 0.07 eur/kWh. Tipični instalacijski troškovi i troškovi pogona i održavanja za projekt odabrane snage prikazani su na slikama 5.25 i 5.26. Instalacijski troškovi ovom slučaju iznose 1100 eur/kW za tehnologiju snage 100 MW, dok troškovi pogona i održavanja godišnje iznose 11 eur/kW.

Tehnologija	Elektrana - Tipični instalacijski trošak (€/kW)					
	10 kW	100 kW	1,000 kW	10,000 kW	100,000 kW	1,000,000 kW
Plinna turbina - Prirodni plin	3,800	3,500	2,400	1,600	1,100	1,000
Plinna turbina - kombinirani ciklus - Prirodni plin					2,800	1,400
Hidroturbina		5,700	5,200	4,500	4,100	3,600
<b>Fotonaponski sustav</b>	<b>2,200</b>	<b>1,900</b>	<b>1,600</b>	<b>1,300</b>	<b>1,100</b>	<b>950</b>
<b>Fotonaponski sustav - Sustav praćenja</b>	<b>2,900</b>	<b>2,300</b>	<b>1,800</b>	<b>1,500</b>	<b>1,200</b>	<b>1,000</b>
Recipročni motor - Dizel (#2 ulje)		1,000	1,100	1,300	1,500	
Recipročni motor - Prirodni plin		2,400	2,000	1,500	1,200	
Recipročni motor - Bioplin/Deponijski plin	7,500	5,800	4,400	3,300	2,600	
Solarna toplinska energija			10,100	6,800	5,700	5,700
Parna turbina - Ugljen					3,800	3,800
Parna turbina - Biomasa/Kruti komunalni otpad			11,000	9,900	8,000	
Vjetroturbina	6,400	3,200	2,800	2,100	2,000	1,800
Vjetroturbina - Offshore				4,700	4,100	3,600

Slika 5.25. Tipični instalacijski trošak

Tehnologija	Elektrana - Troškovi pogona i održavanja - Tipično (€/kW-godišnje)					
	10 kW	100 kW	1,000 kW	10,000 kW	100,000 kW	1,000,000 kW
Plinna turbina - Prirodni plin	292	219	146	101	55	41
Plinna turbina - kombinirani ciklus - Prirodni plin					101	50
Hidroturbina		181	148	99	84	84
<b>Fotonaponski sustav</b>	<b>39</b>	<b>25</b>	<b>19</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>9</b>
<b>Fotonaponski sustav - Sustav praćenja</b>	<b>50</b>	<b>31</b>	<b>24</b>	<b>17</b>	<b>12</b>	<b>10</b>
Recipročni motor - Dizel (#2 ulje)		163	125	62	48	
Recipročni motor - Prirodni plin		244	187	93	73	
Recipročni motor - Bioplin/Deponijski plin	460	403	310	155	121	
Solarna toplinska energija			148	137	132	110
Parna turbina - Ugljen					112	95
Parna turbina - Biomasa/Kruti komunalni otpad			432	345	260	
Vjetroturbina	48	60	51	34	36	29
Vjetroturbina - Offshore				155	100	80

Slika 5.26. Tipični troškovi pogona i održavanja

Pretpostavljeni životni vijek projekta iznosi 25 godina, dok je ponovno omjer duga i glavnice 70% odnosno od početnog investicijskog troška koji iznosi 352000000 eura, dio koji predstavlja dug iznosi 24640000 dok je vrijednost imovine ili 10560000, kao što je prikazano na slici 5.27. Kamatna stopa duga iznosi 7%, dok je odabran period otplate duga 15 godina što rezultira godišnjom otplatom duga od 2705340 eura.

Na slici 5.28 vidimo pregled godišnjeg toka novca te neto godišnji protok gotovine za prvu godinu projekta prije poreza na dohodak, stopa eskalacije i stope inflacije iznosi 1962736 eura.

Procijenjeni jednostavni povrat izražen u godinama i iznosi 7.5 godina te označava period potreban da se ulaganje u predloženi projekt povрати iz generiranog prihoda ili ostvarenih ušteda 5.29. Očekivani povrat imovine, odnosno glavnice, iznosi 5 godina. Temeljna pretpostavka pristupa jednostavnom povratu je da je investicija atraktivnija što brže može vratiti svoj početni kapital te su ove vrijednosti poželjne za izgradnju projekta. Prikazana je pozitivna neto sadašnja vrijednost od

Financijski parametri			
<b>Općenito</b>			
Rast troškova goriva			2%
Stopa inflacije	%		2%
Diskontna stopa	%		9%
Stopa reinvestiranja	%		9%
Životni vijek projekta	god		25
<b>Financije</b>			
Poticaji i dotacije	€		
Omjer duga	%		70%
Dug	€	24,640,000	
Imovina	€	10,560,000	
Kamatna stopa duga	%		7%
Trajanje dugovanja	god		15
Otplata duga	€/god	2,705,340	
<b>Analiza oporezivog dohotka</b>			<input type="checkbox"/>

Slika 5.27. Pregled financijskih parametara modela fotonaponskog projekta

Troškovi   Uštede   Dohodak			
<b>Inicijalni troškovi</b>			
Inicijalni trošak	100%	€	35,200,000
<b>Ukupni početni troškovi</b>	<b>100%</b>	<b>€</b>	<b>35,200,000</b>
<b>Godišnji tok novca - Godina 1</b>			
<b>Godišnji troškovi i otplate duga</b>			
Troškovi pogona i održavanja (uštede)		€	352,000
Otplata duga - 15 god		€	2,705,340
<b>Ukupni godišnji troškovi</b>		<b>€</b>	<b>3,057,340</b>
<b>Godišnje uštede i prihodi</b>			
Prihod od isporuke električne energije		€	2,559,299
Prihod od smanjenja stakleničkih plinova - 25 god		€	2,460,777
Drugi prihodi (troškovi)		€	0
Prihod od proizvodnje čiste energije		€	0
<b>Ukupni godišnji prihodi i uštede</b>		<b>€</b>	<b>5,020,076</b>
<b>Neto godišnji protok gotovine - Godina 1</b>		<b>€</b>	<b>1,962,736</b>

Slika 5.28. Pregled troškova i ušteta

18412639 eura, što je također pokazatelj moguće izvedivosti projekta, a godišnje uštede životnog ciklusa iznose 1874522 eura godišnje.

Financijska isplativost		
IRR prije oporezivanja - kapital	%	22.3%
MIRR prije oporezivanja - kapital	%	13.5%
IRR prije oporezivanja - imovina	%	7.2%
MIRR prije oporezivanja - imovina	%	8.2%
Jednostavni povrat	god	7.5
Povrat imovine	god	5
Neto sadašnja vrijednost (NPV)	€	18,412,639
Godišnje uštede životnog ciklusa	€/god	1,874,522
Omjer koristi i cijene		2.7
Pokriće duga		1.7
Troškovi smanjenja GHG	€/tCO <sub>2</sub>	31.49
Cijena proizvodnje energije	€/kWh	0.102

Slika 5.29. Opća financijska isplativost modela fotonaponskog projekta

Godišnja isporuka električne energije u mrežu iznosi 36561 MW što je vidljivo na slici 5.30 dok je odabrana tarifa 0.07 eura po kilovatsatu električne energije, što donosi prihod od 2559299 eura godišnje uz pretpostavku stope porasta prodaje električne energije od 2%.

Godišnji prihod		
<b>Prihod od isporuke električne energije</b>		
Električna energija isporučena u mrežu	kWh	36,561,418
Tarifa električne energije	€/kWh	0.07
Prihod od isporuke električne energije	€	2,559,299
Stopa porasta prodaje električne energije	%	2%
<b>Prihod od smanjenja stakleničkih plinova</b>		
Neto GHG smanjenje	tCO <sub>2</sub> /god	29,156
Neto GHG smanjenje - 25 god	tCO <sub>2</sub>	728,903
Stopa naknade za smanjenje GHG	€/tCO <sub>2</sub>	84.40
Prihod od smanjenja stakleničkih plinova	€	2,460,777
Trajanje naknade za smanjenje GHG	god	25
Neto GHG smanjenje - 25 god	tCO <sub>2</sub>	728,903
Stopa porasta naknade za smanjenje GHG	%	0.3%
<b>Drugi prihodi (troškovi)</b>		<input type="checkbox"/>
<b>Prihod od proizvodnje čiste energije</b>		<input type="checkbox"/>

Slika 5.30. Godišnji prihodi modela fotonaponskog projekta

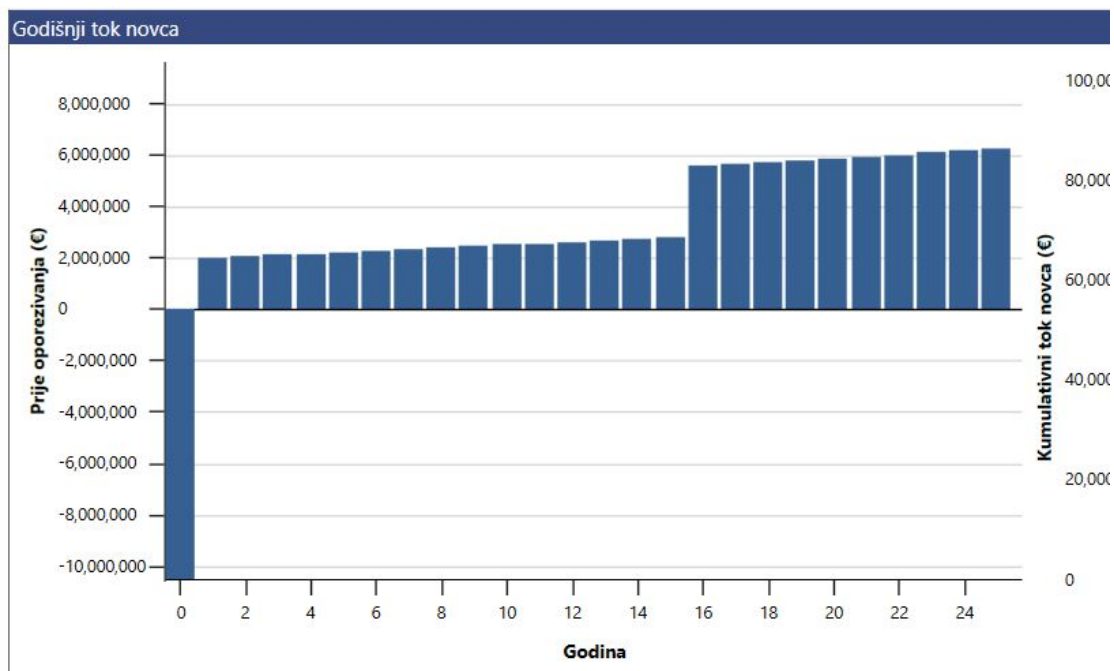
Na slikama 5.31 i 5.32 vidimo godišnji tok novca, prema kojemu je on već u prvoj godini u pozitivnoj vrijednosti od 2013280 eura prije oporezivanja, dok se kumulativno njegova pozitivna



vrijednost pojavljuje u 5. godini u iznosu od 30101 eura.

Godišnji tok novca		
Godina	Prije oporezivanja	Kumulativno
#	€	€
0	-10,560,000	-10,560,000
1	2,013,280	-8,546,720
2	2,064,724	-6,481,996
3	2,117,085	-4,364,911
4	2,170,381	-2,194,530
5	2,224,631	30,101
6	2,279,853	2,309,954
7	2,336,067	4,646,021
8	2,393,292	7,039,314
9	2,451,549	9,490,862
10	2,510,857	12,001,719
11	2,571,237	14,572,956
12	2,632,710	17,205,666
13	2,695,298	19,900,964
14	2,759,024	22,659,988
15	2,823,908	25,483,896
16	5,595,315	31,079,210
17	5,662,587	36,741,797
18	5,731,089	42,472,886
19	5,800,844	48,273,730
20	5,871,878	54,145,608
21	5,944,216	60,089,824
22	6,017,883	66,107,707
23	6,092,906	72,200,613
24	6,169,312	78,369,925
25	6,247,127	84,617,052

Slika 5.31. Godišnji tok novca



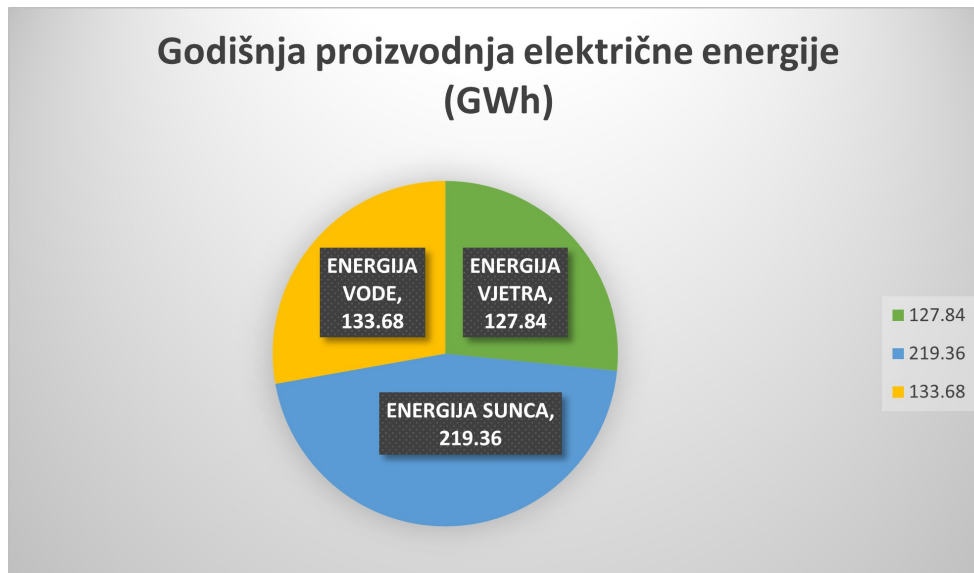
Slika 5.32. Grafički prikaz godišnjeg toka novca projekta

## 6. Izvodljivost rješenja

Potrebna količina električne energije u Rijeci ukupno iznosi 448.597572 GWh, gdje je pretpostavljeni iznos proizvodnje električne energije iz hidroelektrana od 133.68 GWh. Prilikom proračuna energije vjetra, zaključeno je kako bi iz projektiranog modela vjetroelektrane moglo biti moguće proizvesti 127.840 GWh. Kada oduzmemo električnu energiju proizvedenu iz energije vode i vjetra, dobivamo:

$$448.597572 - 133.68 - 127.84 = 187.078 \quad (6.1)$$

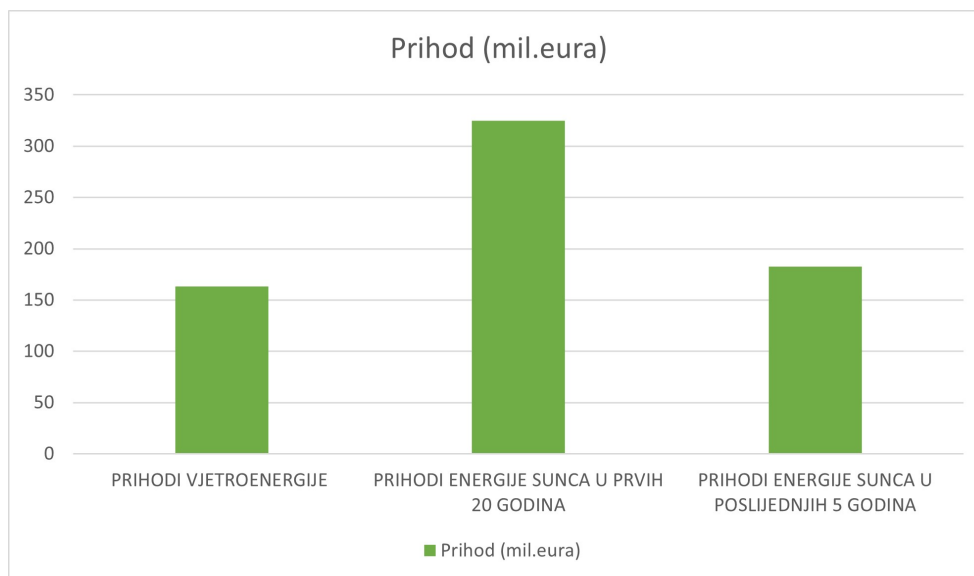
To znači da je potrebno proizvesti 187.078 GWh električne energije iz sunca. Analizirani model fotonaponskog projekta manjih je snaga te je za proizvodnju te količine električne energije potrebno nekoliko takvih jednakih projekata kako bi se zadovoljila potreba za električnom energijom. Godišnja električna energija iz sunca isporučena u mrežu iznosi 36.561418 GWh te bi bilo potrebno proizvesti 6 takvih modela, kada bi ukupna isporučena energija iznosila 219.36 GWh. U tom scenariju, ukupna proizvedena energija iz obnovljivih izvora u Rijeci iznosila bi 480.88 GWh. Raspored proizvodnje prikazan je na slici 6.1.



Slika 6.1. Grafički prikaz proizvodnje energije

Obzirom na pozitivne neto sadašnje vrijedosti i isplative i kratkotrajne povrate uloženog novca te druge pokazatelje financijske isplativosti, projekti sunca i vjetra isplativi su. Ukupna vrijednost prihoda iz vjetroelektrana kumulativno u 20 godina iznosi 163184254 eura, dok je kumulativna energija sunca u 20 godina za 6 energetske projekata 324873648 eura. To čini ukupan prihod u 20 godina od 488057902 eura, dok preostalih 5 godina sunca čini prihod od 182828664 eura.

Ukupni prihodi od oba projekta kumulativno u 25 godina iznose 670, 9 miliona eura što projekte čini isplativima.

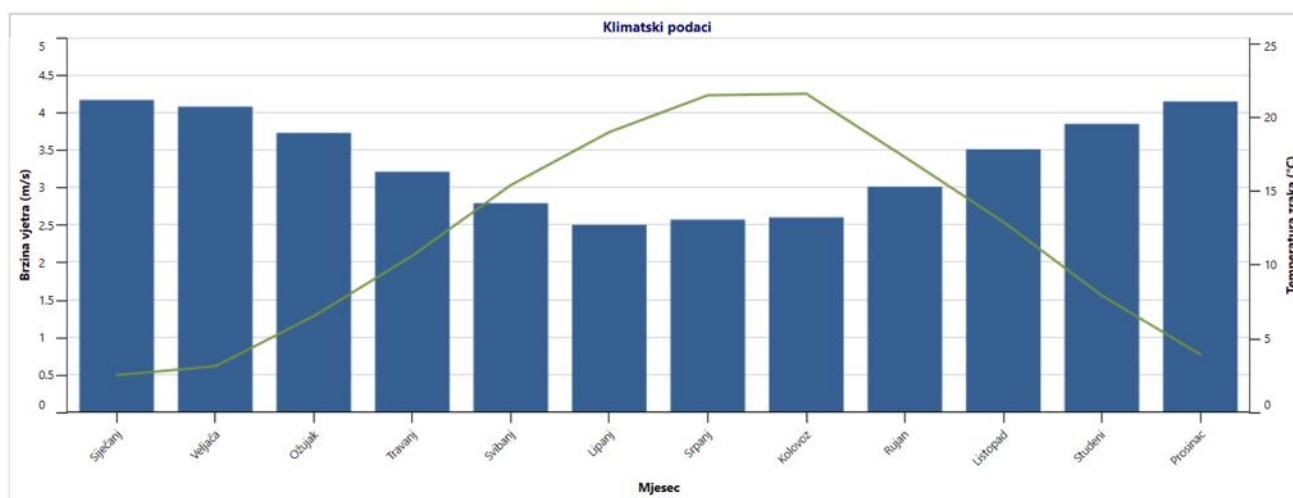


*Slika 6.2. Grafički prikaz prihoda*



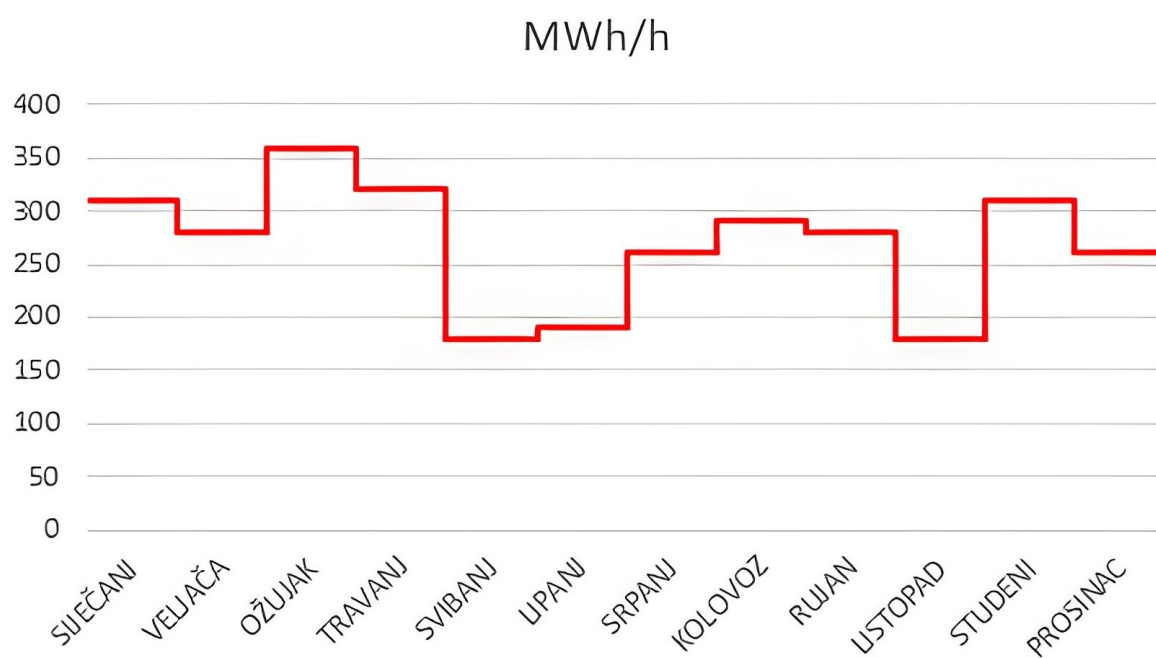
## 7. Problem skladištenja energije

Graf 7.1 odnosi se na analizu vjetroelektrane i daje odnos brzine vjetra i temperature zraka po mjesecima. Iz grafa je vidljivo kako su brzina vjetra na visini mjerenja od 10 metara i temperatura obrnuto proporcionalne te je u zimskim mjesecima brzina vjetra viša, a temperatura niža, dok je u ljetnim mjesecima brzina vjetra niža, a temperatura viša. Na slici 7.2 prikazan je graf proizvodnje energije iz vjetroelektrana u 2022. godini. Proizvedeno je 2.301 GWh električne energije ili 12.49% ukupne energije u zemlji. Prosječna proizvodnja iznosila je 262.7 MWh/h, a faktor korištenja iznosio je 26.8%. Vidno je kako proizvodnja električne energije iz vjetra nije konstantna, već ovisi o nekontroliranim meteorološkim uvjetima kojima se trebamo prilagoditi, dok je proizvodnja energije iz neobnovljivih izvora energije kontroliranija i ne ovisi o uvjetima koji se ne mogu kontrolirati. Obzirom da proizvodnja energije iz vjetra i sunca ovise o meteorološkim značajkama te nije moguće u danom trenutku proizvesti više električne energije iz vjetra i sunca nego što ima prirodnih resursa, problem možemo riješiti skladištenjem električne energije pomoću dostupnih tehnologija.[32]



Slika 7.1. Odnos brzine vjetra i temperature zraka po mjesecima

Potrošnja električne energije može značajno varirati tokom dana i tokom godine. Obično potrošnja električne energije raste s minimalne vrijednosti oko 4:00 ujutro i pokazuje jedan ili dva vrhunca tokom dana, a zatim se smanjuje na minimum tokom noći. Tokom zime postoje obično dva vrhunca koji odgovaraju jutarnjem i večernjem opterećenju u stambenim zonama. Tako ljetna kao i zimska opterećenja snažno su povezana s uvjetima okoline, posebno temperaturom. Ekstremne temperature rezultiraju dodatnim opterećenjem za grijanje i hlađenje koje se mora zadovoljiti dodatnom proizvodnjom električne energije.[43]



Slika 7.2. Graf proizvodnje energije iz vjetroelektrana u 2022. godini

## 7.1. Baterijski sustavi povezani na mrežu

Mrežno povezani baterijski sustavi obuhvaćaju svaki sustav baterija koji se može puniti i prazniti putem električne mreže. Sve kemijske baterije su uređaji za DC struju te su potrebni izmjenjivači, odnosno u ovom slučaju sustav za kondicioniranje snage PCS. PCS sustavi obično uključuju inverter koji dvosmjerno pretvara AC u DC, modul za upravljanje baterijom, te u nekim slučajevima komunikacijske i sustave za zapisivanje podataka. Invertori također mogu korigirati faktor snage, čime se bolje koristi snaga te mogu vrlo učinkovito raditi (>95%) pri punom opterećenju, iako gubici mogu porasti pri djelomičnom opterećenju. Obzirom na porast obnovljivih izvora energije u mreži, uređaji za skladištenje mogli bi biti najvažniji elementi elektroenergetskih sustava budućnosti. Električne mreže obuhvaćaju tri osnovne komponente: proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije. U ovom procesu, električna energija proizvedena na generatorima putuje do potrošača, koji mogu biti industrijski subjekti, komercijalna poduzeća ili kućanstva. Ova energija se prenosi kroz mrežu koja se sastoji od visokonaponskih (prijenosnih) i niskonaponskih (distribucijskih) sustava kabela, transformatora, prekidača i drugih električnih uređaja. Elektrana za proizvodnju električne energije obično su velike elektrane koje se nalaze daleko od potrošača i smještene blizu izvora goriva ili resursa. Projektirane su za neprekidan rad i često se nazivaju baznim opterećenjem, što znači da opskrbljuju energijom tijekom cijelog vremena, uz dodatnu proizvodnju kad potražnja raste tijekom dana. Gotovo sve nacionalne električne mreže koriste ovaj centralizirani model proizvodnje. Alternativa je distribuirani model proizvodnje, gdje se mnogo manjih proizvodnih jedinica raspoređuje bliže centrima potrošnje. Mreže nemaju osnovnu sposobnost skladištenja jer kako se mijenja potražnja, generatori se prilagođavaju zbog održavanja ravnoteže kako frekvencija u sustavu ne bi varirala. Iz tog je razloga nužna kontinuirana prilagodba kako bi se održala ravnoteža između ponude i potražnje.

Tradicionalne elektrane, koje uključuju plinske i parne, nuklearne elektrane i hidroelektrane, imaju mogućnost promjene proizvodnje električne energije samo unutar određenih granica zbog opskrbe gorivom ili izbjegavanja termalnih naprezanja koja bi smanjila životni vijek elektrane.

Skladištenje energije može djelovati kao rješenje za kompenzaciju nedostatka inercije i pružiti stabilnost mreže te omogućiti bolju ravnotežu između proizvodnje i potrošnje električne energije, posebno u uvjetima sve većeg korištenja obnovljivih izvora energije, koji su po prirodi varijabilni. Također, ima veliku ulogu u boljoj kontroli nad vršnim opterećenima.

Regulacija frekvencije je ključni aspekt električnih mreža, a na većini tržišta električne energije, usluge regulacije se pružaju kao kapacitet koji može ili ne mora biti potreban. Generatorima se obično dostavlja signal kontrolne greške koji predstavlja razliku između planirane i stvarne električne proizvodnje unutar područja kontrole u mreži. Signal se može koristiti za smanjenje greške i vraćanje sustava u ravnotežu opterećenja. Za usluge regulacije, skladištenje bi trebalo biti u mogućnosti pratiti signal regulacije te bi to bila idealna primjena za baterije visoke snage i druge uređaje za skladištenje, kao što su zamahni, koji mogu gotovo trenutačno reagirati. Osim regulacije, potrebna je kontrola napona, a može se općenito podijeliti na tranzijentnu i stacionarnu

kontrolu. Tranzijentna kontrola pruža reaktivnu snagu obično tijekom podsekundnih razdoblja, dok stacionarna kontrola može trajati satima. Tranzijentnu uslugu pruža pretvarač snage baterije (PCS), koji obično ima sposobnost prilagodbe faze između napona i struje kako bi kompenzirao tranzijentne pojave i brzo povratio stabilnost mreže. Baterije i drugi oblici skladištenja energije s brzim odgovorom prikladni su za pružanje regulacije zbog svog brzog odgovora i sposobnosti da i isporučuju i apsorbiraju energiju. Engleski „Peak shaving” predstavlja uklanjanje "vrhova" potražnje vršne energije te primjenjuje na točki masovne distribucije u distribucijskoj mreži, a vrhunci u normalnim obrascima opterećenja su vrhunci koje distribucijski servisi prate i oni ovise o stopama rasta opterećenja, vremenskim uzorcima i drugim faktorima. Pohranjivanje energije u baterijama može se koristiti za izravnavanje vrhova.

Tehnologije skladištenja su raznovrsne i one uključuju tehnologije na komprimirani zrak, toplinske, kemijske, zamahne i druge mehaničke sustave, pumpanje vode i elektrokemijsko skladištenje. Elektrokemijsko skladištenje je privlačno iz razloga što može biti tiho, visoko učinkovito, fleksibilno te potencijalno dugotrajno i niskih troškova. [43]

## 7.2. Vrste baterija za skladištenje energije

### 7.2.1. Litijeve baterije

Ove se baterije već koriste u mnogim sustavima povezanim s elektroenergetskom mrežom, a dolaze u nekoliko kemijskih sastava, poput litij-ionskih i litij-polimernih baterija. Sve ponovno punjive litijske baterije ovise o kretanju litijevih iona dok se razlikuju po vrsti elektroda i elektrolita. Litij-ionski sastavi temelje se na elektrodnim materijalima koji osiguravaju opskrbu litijevih iona između elektroda gdje je negativna elektroda obično grafitni ugljik, a pozitivna elektroda može biti slojeviti oksid. Tijekom punjenja, litijevi ioni se oslobađaju iz pozitivne elektrode i ulaze u materijal negativne elektrode putem organskog tekućeg elektrolita. Litij-polimerne baterije funkcioniraju putem kretanja litijevih iona kroz čvrsti polimerni elektrolit. Litij-ionske ćelije imaju vrlo visoku specifičnu energiju i nisku impedanciju koja je atraktivna za primjene kao što su regulacija frekvencije i napona. Niska impedancija također smanjuje gubitke, a efikasnosti punjenja i pražnjenja veće od 95% su dokazane.

Obično se ćelije ovih baterija oblikuju u ravnim oblicima s fleksibilnim polimernim omotačem, umjesto u cilindričnim oblicima, jer je to jednostavnije za proizvodnju, ima manju električnu otpornost i bolju kontrolu temperature. Tipični napon ćelija varira između 2,0 i 4,2 V, ovisno o njihovom kemijskom sastavu. Te ćelije se mogu povezati u seriji ili paralelno kako bi se formirali baterijski moduli, a ti moduli također mogu biti povezani u seriji ili paralelno kako bi se postigle veće naponske vrijednosti i kapacitet.[43]

### 7.2.2. Protočne baterije

Protočne baterije djeluju na sličan način kao gorivne ćelije i često su poznate kao regenerativne gorivne ćelije. Djeluju tako da koristi elektrolit koji teče preko površine elektroda koje ne reagiraju kemijski. Elektrolit cirkulira između dva elektrokemijska sloja, gdje se događaju elektrokemijske reakcije. Tijekom punjenja i pražnjenja, električna energija se generira ili pohranjuje prema potrebi, ovisno o smjeru protoka elektrolita i vrsti kemijskih reakcija koje se odvijaju na elektrodama. Zbog potrebe za protokom elektrolita preko površine elektrode, baterije obično nisu dizajnirane za vrlo visoku snagu, već za produžene periode pražnjenja, obično 1 sat ili više. To ih čini prikladnijima za promjene opterećenja i izravnavanje vrhova nego za kontrolu napona ili frekvencije. Protočne baterija ima nekoliko dobrih karakteristika kao poput kapaciteta za pohranu energije koji se može dimenzionirati neovisno o snazi, elektroda koje se ne mijenjaju kemijski tijekom rada i komponenti koje mogu se zamijeniti tijekom životnog vijeka, što produljuje operativni vijek. Obično su sastavljene od nekoliko ćelija, spojenih serijski ili paralelno. U serijskom spoju svaka je elektroda površine jednog lista katoda ili anoda susjedne ćelije. [43]

### 7.2.3. Visokotemperaturne baterije

Ove baterije koriste tekući natrij i sumpor kao elektroaktivne materijale te zahtijevaju rad na temperaturama između  $290\text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $360\text{ }^{\circ}\text{C}$  jer njihovi kemijski sastavi zahtijevaju povišene temperature za rad. Koriste topljive elektroaktivne materijale kao anode i katode. Najpoznatija od njih je natrijev-sumporna baterija (NaS), koja je sposobna je za visoku snagu i visoku energetska učinkovitost, a glavno joj je ograničenje toplinska disipacija. Sustav baterija NaS sastoji se od mnogo modula, pri čemu svaki sadrži 320 pojedinačnih ćelija. Pri punjenju baterije, natrij se elektrokemijski prenosi iz anode (natrijeva strana) u katodu (sumporna strana) kroz elektrolit koji se obično sastoji od sumporne kiseline. Visokotemperaturne baterije često se sastoje od brojnih modula, a svaki modul sadrži više pojedinačnih ćelija. Moduli se spajaju kako bi se postigle željene kapacitete i snage. Ove baterije pogodne su za integraciju obnovljivih izvora energije i sposobne su povećavati izlaz od 0% do 100% maksimalne snage za manje od 10 sekundi. Međutim, požar 2011. godine, koji je trajao više od 2 tjedna, u 2-MW bateriji NaS koja je radila u postrojenju Tsukuba tvrtke Mitsubishi Materials Corporation rezultirao je preprojektiranjem sustava baterija. Baterije visoke temperature donose nekoliko prednosti u odnosu na konvencionalne baterije na sobnoj temperaturi. Njihova niska unutarnja otpornost omogućuje veću energetska učinkovitost i sposobnost isporuke visoke snage. No, važno je napomenuti da dopuštanje baterijske temperature da padne ispod određenih granica može rezultirati zamrzavanjem aktivnih materijala i potencijalnim smanjenjem životnog vijeka sustava, koji se procjenjuje na 15 godina. [43]

#### 7.2.4. Superkondenzatori

Konvencionalni kondenzatori ne pohranjuju dovoljno energije da bi se koristili u elektroenergetskim mrežama, osim za ispravak faktora snage gdje karakteristike opterećenja i prijenosa rezultiraju time da struja i napon izlaze iz faze, povećavajući gubitke i zahtijevajući dodatnu struju za pružanje iste količine stvarnog rada. Druga klasa kondenzatora, superkondenzatori sposobni su pohranjivati znatno više energije i mogu djelovati kao baterija visoke snage i niske energije u nekim okolnostima. Ovi kondenzatori mogu se proizvoditi od materijala visoke površine, poput aktivnog ugljena, polimera ili anorganski materijali. Pohranjuju energiju putem razdvajanja naboja na površini, obično na sučelju između elektrode i elektrolita. Budući da mehanizam pohrane naboja u većini kondenzatora ne uključuje kemiju, pohrana energije kondenzatora može biti vrlo učinkovita i imati niske gubitke te ima dugi vijek trajanja, s postizanjem stotina tisuća ciklusa. [43]

## **8. Usporedba energetske tranzicije s projektima u Europskoj Uniji**

### **8.1. Kompleks "Senftenberg"**

2012. godine Brandenburška vlada postavila je ciljeve smanjenja emisija ugljikovog dioksida do 2030. godine za 72% u odnosu na 1990. godinu. Ta energetska strategija uključuje ciljeve povećanja udjela obnovljivih izvora od 32% u potrošnji primarne energije, sa svrhom smanjenja potrošnje energije za oko 23% u usporedbi s 2007. godinom. Jedan od projekata koji su trebali doprinjeti tom cilju je i Kompleks "Senftenberg" koji je financiran s približno 150 milijuna eura preko triju njemačkih banaka.. Neki od novih propisa uključuju zabranu registracije novih automobila s motorima s unutarnjim izgaranjem od 2035. godine, proširenje fotovoltaičkih sustava na supermarkete, tvornice, upravne zgrade pa i parkirna mjesta. Također, nove zgrade bi po strategiji trebale biti odobrene samo sa solarnim sustavima, a za renoviranje krova trebao bi postojati solarni zahtjev. U ovoj tranziciji velike solarne elektrane igraju važnu ulogu u njezinom ubrzavanju, a Brandenburg se smatra predvodnikom u promicanju obnovljivih vrsta energije. Osim olakšica za okoliš, gradovi i zajednice ostvaruju prihod od poreza zbog solarnih parkova, a u slučaju da upravljaju vlastitim solarnim parkovima, naknadu primaju sami. Također, ugovori o izgradnji i upravljanju idu lokalnim tvrtkama što pozitivno utječe na lokalno gospodarstvo. [45]

Kompleks "Senftenberg", nalazi se u Njemačkoj, na poljoprivrednim rekultiviranim površinama bivšeg ugljenokopa za lignit. Ima ukupnu snagu od 246 MW te je prilikom početka rada imao 636.000 solarnih panela i bio tada najveći solarni sustav u Njemačkoj, koji je od tada proizvodio električnu energiju za 50.000 kućanstava. Ovaj projekt predstavlja pozitivan primjer pretvaranja poljoprivrednih površina koje inače donose niski prihod i imaju malu ekonomsku vrijednost na novim zemljištima nakon završetka rudarskih aktivnosti, s obzirom na sirova i osjetljiva tla koja se na takvim područjima razvijaju. Ovakav kompleks stvara dodatne porezne prihode za lokalne zajednice i prihode od zakupa i upravljanja zemljištem za vlasnike zemlje i druge pružatelje usluga. Također se na taj način promoviraju mala i srednja poduzeća te doprinose restrukturiranju gospodarstva nakon iskorištavanja ugljena. Temeljna pretpostavka za instalaciju fotovoltaičnih sustava na površinama koje su prethodno bile ugljenokopi u lignitnom bazenu je stabilnost tih površina kako bi se prilikom rada osigurao dugoročni uspjeh. U području lignitnog rudarstva, često se nakon rudarskih aktivnosti i obilnih padalina, pjeskoviti materijali talože i podzemne vode podižu, što može dovesti do naglog stanja tekućine. Prije nego se ovi opasni materijali koriste za obnovljive izvore energije na rekultiviranim površinama, potrebna su osnovna poboljšanja tla putem modifikacije njihovih fizičkih svojstava.[44]

## 8.2. Plan izgradnje vjetroelektrane na Kriegers Flaku

Na južnom Baltičkom moru izgrađena je priobalna vjetroelektrana, na Kriegers Flaku koji predstavlja plitko područje u ekonomskim zonama Njemačke, Danske i Švedske. Elektrana je smještena na dubini vode između 17 i 42 metra, a obuhvaća površinu od  $4,5 \times 12$  kvadratnih kilometara. Dokument plana izgradnje vjetroelektrane sadržavao je procjenu lokacije koja uključuje valove, oceanske uvjete, stanje tla i električne uvjete. Ona je potrebna za projektiranje struktura za vjetroagregate i njihove temelje te transformatorsku stanicu. Ambicija plana je bila da dizajn bude unutar 2-5% završnog dizajna. Vjetroelektrana je planirana za ukupno 128 turbina, pri čemu je 97 njih planirano da budu smještene na dubini manjoj ili jednako 35 metara, a preostalih 31 na većim dubinama. Turbine postavljene na dubinama većim od 35 metara planirane su da budu instalirane u kasnijoj fazi razvoja projekta. Prema odobrenju vlade, ukupna instalirana snaga ne smije premašiti 640 MW, što se temelji na broju od 128 turbina, svaka snage 5 MW. To znači da vjetroelektrana s 97 turbina može imati turbine snage 6,6 MW. Turbine snage 5 MW obično imaju promjer rotora u rasponu od 120 do 130 metara i visinu glave u rasponu od 90 do 100 metara, a prema odobrenju Vlade, ukupna visina ne smije premašiti 170 metara. U plan je uključena i veza između vjetroagregata i platforme za transformaciju na otoku, smještene na zapadnoj strani parka, putem interne kabelske mreže na 36 kV. Od platforme na otoku, kabel za izvoz s nominalnim naponom od 150 kV povezuje park s prijenosnom mrežom preko transformatora. Dani su podaci o srednjoj brzini vjetra na visini od 80 metara koja iznosi 8.80 m/s, podaci o prosječnim eksponentom vjetra od 0.11, te omjer između brzine vjetra na 80 m i 10 m koji iznosi 0.8. Također su uzeti u obzir podaci o ekstremnim vjetrovima trajanju od 10 minuta i 3 sekunde na visini od 80 m za pomoć pri proračunu. Osim brzina vjetra, dani su podaci o gustoći zraka i mora, ekstremnoj gustoći zraka, gustoći morske vode, temperaturi, munjama, vlazi zraka, slanosti morske vode, potresima i snijegu. Obzirom da je elektrana projektirana za morske uvjete, podaci o valovima također su bitni i oni uključuju analize modela koje se temelje na batimetrijskoj karti, a to je karta koja prikazuje dubinu mora i koristi se za prikazivanje reljefa dna vodenih tijela i mjerenje dubina na različitim točkama. Analiza valova uključuje parametre kao što su valna strmina, dugotrajni valovi, valni spektar, slamanje valova i korelacija vjetra i valova.[46]



## 9. Zaključak

U fokusu analize bili su specifični elementi energetske tranzicije u u Rijeci gdje je vizija nultog karbonskog otiska bila predložena kroz uporabu obnovljivih izvora energije vjetra, sunca i vode za generiranje električne energije koja je potrebna za opskrbu grada. Na temelju dobivenih vrijednosti potreba za električnom energijom, određen je postotak električne energije koju je potrebno proizvesti iz pojedinog izvora.

Predložena strategija obuhvaća izgradnju vjetroelektrane koja bi opskrbljivala 28% potreba grada, korištenje već postojećih hidroelektrana za proizvodnju dovoljne električne energije za pokrivanje otprilike 30% potreba grada, te dodatnih 42% električne energije generirane iz solarnih izvora. Energija iz sunca analizirana je za jedan fotonaponski projekt, a za potrebe grada bilo bi potrebno proizvesti 6 takvih modela. Za projekt vjetroelektrane i fotonaponski projekt korišten je program RETScreen Expert kako bi se provela tehnička, ekološka i ekonomska analiza. Tehnička analiza obuhvatila je odabir klimatskih podataka grada, gdje su za projekt vjetroelektrana bili posebno relevantni podaci o brzini vjetra, temperaturi i vlazi zraka, a za projekt fotonaponskog modela prosječno godišnje solarno ozračenje i temperatura zraka. Odabrani su najprikladniji proizvođači i modeli čiji parametri postoje u bazi podataka programa. Predložene su instalirane snage i dobiven je pregled isporučene energije u mrežu temeljen na zadanim parametrima. U ekonomskoj analizi uzimaju se u obzir poticajne cijene, inicijalni troškovi, troškovi pogona i održavanja te ostali relevantni troškovi koji utječu na isplativost projekta. Kroz ekonomsku analizu dobiva se uvid u isplativost projekta i procijenjenu vrijednost projekta tijekom njegovog životnog vijeka. Analize financijske isplativosti sugeriraju pozitivne neto sadašnje vrijednosti, isplative i kratkoročne povrate uloženog novca, te druge indikatore koji potvrđuju financijsku održivost ovih projekata. U ekološkoj analizi razmatrani su scenariji emisija stakleničkih plinova te je proučen utjecaj obnovljivih izvora energije na okoliš u usporedbi s neobnovljivim izvorima. Također, u analizu su uključeni prihodi od smanjenja emisija stakleničkih plinova, uzimajući u obzir trenutnu cijenu EU ETS jedinica.

U konačnici, zaključujemo da bi implementacija obnovljivih izvora energije značajno doprinijela ostvarivanju ciljeva energetske tranzicije u Rijeci. Teženje ka nultom karbonskom otisku, pregled plana niskougljičnog razvoja te sustav trgovanja emisijama ukazuju na ambiciozne ciljeve usklađene s europskim standardima održivosti. Ovi projekti povećali bi energetske neovisnost grada i pozitivno utjecali na okoliš, smanjujući emisije stakleničkih plinova i pridonoseći globalnim naporima zaštite okoliša.

## Literatura

- [1] Alfredo Višković, Luigi de Paoli: “Ekonomija i politika proizvodnje električne energije”, Kigen, Zagreb, 2007.
- [2] Europska komisija: “Paket mjera za Europsku Uniju; Komunikacija komisije europskom parlamentu, vijeću, europskom gospodarskom i socijalnom odboru, odboru regija te europskoj investicijskoj banci”, Bruxelles, 25.2.2015.
- [3] Peter A. O’Connor: “Energy Transitions”, The Pardee Papers, Boston University, November, 2010.
- [4] Tešnjak, Banovac, Kuzle, “Tržište električne energije” 2009., Graphis, Zagreb, 2009.
- [5] Alfredo Višković, Vladimir Franki: “Aspekti liberalizacije električnih sustava za energiju”, Sveučilište u Rijeci, 2022.
- [6] Davis W. Edwards : “Energy trading and investing”, McGraw-Hill, 2010.
- [7] Maria Luisa Di Silvestre, Salvatore Favuzza, Eleonora Riva Sanseverino, Gaetano Zizzo: “How Decarbonization, Digitalization and Decentralization are changing key power infrastructures”, Università di Palermo, Palermo, Italija, 2018.
- [8] “The Paris Agreement” S Interneta, <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>, 13.07.2023.
- [9] Adoption of The Paris Agreement, United Nations 2015.
- [10] Richard van Basshuysen, Michael Bargende : “Natural Gas and Renewable Methane for Powertrains Future Strategies for a Climate-Neutral Mobility”, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015
- [11] David G. Victor, Amy M. Jaffe, Mark H. Hayes : “Natural Gas and Geopolitics; From 1970. to 2040.”, New York, 2006.
- [12] Prijedlog strategije niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu, Vlada Republike Hrvatske, Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Zagreb, travanj 2021.
- [13] “Questions and answers on the provisional agreement to revise the EU Emissions Trading System (EU ETS)”, S Interneta, <https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/revision-phase-4-2021-2030>, 18.07.2023.

- [14] Hrvatska energetska regulatorna agencija: “Godišnje izvješće za 2021. godinu”, Zagreb, 2022.
- [15] Dr. sc. Branko Vuk, dipl. ing. i dr. : “Energija u Hrvatskoj; Godišnji energetske pregled”, Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Zagreb, 2022.
- [16] Državni zavod za statistiku: “Energetska statistika u 2021.”, Zagreb, 2022
- [17] Gradsko vijeće grada Rijeke: “Izvješće o stanju u prostoru Grada Rijeke za razdoblje 2007.-2018. godine”, Rijeka, 20. 2. 2020.
- [18] S Interneta , “<https://visitrijeka.hr/na-prijelazu-stoljeca/>”, 21.07.2023.
- [19] mr.sc. Vesna Kolega i dr.: “Akcijski plan energetske održivog razvitka grada Rijeke”, Rijeka, 2010.
- [20] Ana Trošelj: “Akcijski plan energetske učinkovitosti Grada Rijeke za razdoblje 2022. – 2024. godine”, Rijeka, 2022.
- [21] “Godišnje izvješće 2021.”, N.Šulentić, L.Pecotić, HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o., Zagreb, 2022.
- [22] S Interneta: “<https://www.hep.hr/proizvodnja/termoelektrane-1560/termoelektrane/te-rijeka/1562/>”, 19.08.2023.
- [23] S Interneta: “<https://www.rijeka.hr/gradska-uprava/gradski-projekti/aktualni-projekti-2/ekologija-i-energetika/energetska-ucinkovitost/>” 19.08.2023.
- [24] S Interneta: “<https://www.rijeka.hr/gradska-uprava/gradski-projekti/realizirani-projekti/promet-i-mobilnost/plinski-autobusi/>”, 20.2023.
- [25] S Interneta: “<https://www.rijeka.hr/obilazak-postrojenja-proizvodnju-elektricne-energije-iz-odlagalisnog-plina-2/>”, 20.2023.
- [26] S Interneta: “<https://www.hrastovic-inzenjering.hr/primjena-energije/energetski-clanci/energijske-tehnologije/item/773-visevac-odlagalisni-plin.html>”
- [27] Minister of Natural Resources Canada: Retscreen Software online user manual; 1997.-2005.
- [28] Danilo Feretić , Željko Tomšić, Nikola Čavlina: Feasibility analysis of wind-energy utilization in Croatia, Zagreb, Hrvatska,1997.
- [29] S Interneta, “<https://www.wpd.hr/projects/ve-trtar-krtolin/>”, 02.10.2023.
- [30] S Interneta, “<https://www.hrote.hr/poticajne-cijene>”, 02.10.2023.
- [31] S Interneta, “<https://strujaplin.com/energetsko-trziste/cijene-struje>”, 02.10.2023.

- [32] S Interneta, “- <https://oie.hr/elektroenergetska-kretanja-u-hrvatskoj-u-2022/>”, 03.10.2023.
- [33] Štefulj Ana, “Vjetroelektrane”, završni rad, Filozofski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2015.
- [34] S Interneta, “<https://globalwindatlas.info/en>”, 03.10.2023.
- [35] J.F. Manwell, J.G. McGowan, A.L. Rogers: Wind Energy Explained: Theory, Design and Application, Odjel za strojarstvo i industrijsko inženjerstvo, Sveučilište Massachusetts, SAD, 2009.
- [36] T. Al-Shemmeri: Wind Turbines, T. Al-Shemmeri and Ventus Publishing ApS, 2010.
- [37] European Wind Energy Association; The Economics of Wind ,2009
- [38] S Interneta, “<https://www.bpf.co.uk/>”, 29.10.2023.
- [39] S Interneta, “<https://www.statista.com/statistics/1334906/average-carbon-price-projections-worldwide-by-region>”, 29.10.2023.
- [40] S Interneta, “<https://www.bdc.ca/en/articles-tools/entrepreneur-toolkit/templates-business-guides/glossary/debt-to-equity-ratio>”, 29.10.2023.
- [41] Chetan Singh Solanki: Solar Photovoltaic Technology and Systems A Manual for Technicians, Trainers and Engineers, Indian Institute of Technology Bombay, 2013.
- [42] James P. Dunlop: Photovoltaic Systems, American Technical Publishers, Illinois, 2010.
- [43] Chris Menictas, Maria Skyllas-Kazacos, Tuti Mariana Lim : Advances in Batteries for Medium and Large-scale Energy Storage, Woodhead Publishing, Cambridge, 2015
- [44] Dirk Knoche: Solar park complex "Senftenberg", Research Institute for Post-Mining Landscapes, 2020.
- [45] S interneta, “<https://www.solaranlagen-portal.de/news/groser-solarpark-bei-senftenberg-am-netz>”, 06.11.2023.
- [46] Lars Bülow Jørgensen Lj, Helge Gravesen: Kriegers Flak Offshore Wind Farm, Vattenfall Vindkraft, 2009.

## Sažetak i ključne riječi

Analiza energetske tranzicije u Rijeci predlaže sveobuhvatan pristup koji uključuje vjetroelektranu, postojeće hidroelektrane i solarnu energiju kako bi se zadovoljila potražnja za električnom energijom grada. Tehničke, ekološke i ekonomske analize provedene kroz program RETScreen Expert potvrđuju održivost ovih projekata s pozitivnim neto sadašnjim vrijednostima, povoljnim kratkoročnim povratima ulaganja te ekološkim prednostima.

Predložena vjetroelektrana pokrila bi 28% potreba grada, postojeće hidroelektrane oko 30%, dok bi dodatnih 42% dolazilo iz solarnih izvora, što zahtijeva implementaciju šest fotonaponskih projekata. Financijske analize projektiraju pozitivne kumulativne prihode tijekom 25 godina, čime se ukupno dostiže 670,9 milijuna eura, potvrđujući financijsku održivost oba projekta. Ove inicijative usklađene su s težnjom Rijeke ka nultom ugljičnom otisku, doprinoseći globalnim naporima očuvanja okoliša smanjenjem emisija stakleničkih plinova.

**Ključne riječi:** Energetska tranzicija, obnovljivi izvori energije, RETScreen Expert, grad Rijeka, Hrvatska, tehnička analiza, ekonomska analiza, EU ETS, nulti karbonski otisak, emisije stakleničkih plinova, troškovi

## Summary and key words

The analysis of Rijeka's energy transition proposes a comprehensive strategy involving a wind farm, existing hydroelectric plants, and solar energy to meet the city's electricity demand. The technical, ecological, and economic analyses, conducted through the RETScreen Expert program, affirm the viability of these projects with positive net present values, favorable short-term returns on investment, and environmental benefits.

The suggested wind farm would supply 28% of the city's needs, existing hydroelectric plants would cover approximately 30%, and an additional 42% would come from solar sources, requiring the implementation of six photovoltaic projects. Financial analyses project positive cumulative revenues over 25 years, totaling 670.9 million euros, confirming the financial sustainability of both projects. These initiatives align with Rijeka's pursuit of a zero-carbon footprint, contributing to global environmental preservation efforts by reducing greenhouse gas emissions.

**Keywords:** Energy transition, renewable energy sources, RETScreen Expert, city of Rijeka, Croatia, technical analysis, economic analysis, EU ETS, zero carbon footprint, greenhouse gas emissions, costs