

# Nula energetske zgrade s visokim udjelom OIE

---

Oreški, Josip

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:306773>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-27**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



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

**Sveučilišni studij**

**Nula energetske zgrade s visokim udjelom OIE**

**Diplomski rad**

**Josip Oreški**

**Osijek, 2022.**

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1. Zadatak diplomskog rada .....	2
<b>2. PREGLED PODRUČJA RADA .....</b>	<b>3</b>
<b>3. NULA ENERGETSKE ZGRADE .....</b>	<b>4</b>
3.1. Potreba za Nula Energetskim Zgradama .....	6
3.1.1. Ciljevi EU .....	8
3.2. Energetski učinkovite mjere za nZEB .....	10
3.3. Ovojnica Zgrade.....	15
3.4. Rasvjeta.....	20
3.5. Ventilacija .....	22
3.6. Sustavi grijanja .....	24
<b>4. TEHNOLOGIJE OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE .....</b>	<b>31</b>
4.1. Fotonaponski sustavi.....	32
4.1.1. FN ćelija .....	34
4.1.2. FN paneli .....	37
4.1.3. Zgrade s integriranim FN sustavima.....	39
4.2. Male kogeneracije .....	40
4.3. Vjetroturbine.....	43
4.3.1. Učinkovitost vjetroturbine .....	44
4.3.2. Vrste vjetroturbina.....	46
4.3.3. Zgrade s integriranim vjetroturbinama .....	48
4.4. Gorive ćelije .....	49
4.4.1. Vrste gorivih ćelija .....	52
<b>5. SIMULACIJA U PROGRAMSKOM PAKETU HOMER Grid.....</b>	<b>54</b>
5.1. Programski paket HOMER Grid .....	54
5.1.1. Kamatna stopa .....	55
5.1.2. Nivelirani trošak .....	56
5.1.3. Neto sadašnji trošak.....	56
5.1.4. Povratna vrijednost .....	57
5.1.5. Unutarnja stopa povrata.....	58
5.1.6. Povrat ulaganja .....	58

5.1.7. Jednostavno razdoblje povrata.....	58
5.1.8. Ukupni godišnji trošak.....	58
5.1.9. Fotonapon.....	59
5.1.10. Baterija.....	59
5.1.11. Izmjenjivač.....	61
5.1.12. Smanjenje štetnih emisija.....	61
<b>5.2. Tehnološko-ekonomska analiza i optimizacija obiteljske kuće.....</b>	<b>62</b>
5.2.1. Lokacija.....	62
5.2.2. Električno opterećenje.....	63
5.2.3. Temperatura i sunčevo zračenje.....	64
5.2.4. Predložena struktura sustava.....	65
5.2.5. Usporedba optimizacije sustava.....	68
5.2.6. Rezultati optimizacije najisplativijeg sustava.....	69
5.2.7. Rezultati ekonomske procjene.....	71
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>74</b>
<b>SAŽETAK.....</b>	<b>75</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>76</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>77</b>
<b>ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>81</b>

## 1. UVOD

Globalno zatopljenje postalo je nepobitna činjenica. Klimatski sustav je više puta promatrao globalno zagrijavanje uzrokovano ljudskim djelovanjem, uključujući porast temperature kopna i oceana te sve češći toplinski valovi. Izvješće koje je objavilo Međuvladino povjerenstvo o klimatskim promjenama (IPCC) 2018. objašnjava da moramo kontrolirati globalno zagrijavanje iznad 1,5°C i kako to učiniti. Međutim prema predviđanjima stručnjaka vjeruje se da globalno zagrijavanje ubrzava i da ćemo vjerojatno premašiti porast od 1,5°C do 2030. Globalna prosječna temperatura u 2020. bila je  $1,2 \pm 0,1^\circ\text{C}$  viša od osnovne vrijednosti u razdoblju do 1850 do 1900. Moramo značajnije smanjiti emisije stakleničkih plinova kako bi se postigao bilo koji cilj globalne temperaturne stabilnosti. Osim toga, neki studiji pokazuju da je izlaganje visokim temperaturama štetno za ljudsko zdravlje. Visoka temperatura negativno utječe na kvalitetu sna i smanjuje apetit, a također povećava rizik od nekih bolesti, kao što su respiratorne bolesti, kardiovaskularne bolesti i alergije [1]

Zabrinutost zbog globalnog zatopljenja i klimatskih promjena raste vrlo visokom stopom u posljednjih nekoliko godina među znanstvenicima i ekološkim aktivistima. Ova globalna pitanja postaju važna agenda za političare, posebno u razvijenim zemljama gdje pokušavaju podići svijest javnosti o posljedicama globalnog zatopljenja i postaviti nove propise i standarde kako bi lakše kontrolirali posljedice globalnog zatopljenja za zemlju i čovječanstvo. S druge strane, potražnja za fosilnim gorivima raste zbog brzog napretka gospodarstva u razvijenim zemljama. Nagli rast cijena fosilnih goriva imat će kratkoročne i dugoročne razorne posljedice na gospodarstvo i nacionalnu sigurnost razvijenih zemalja. U velikoj mjeri, zgrade predstavljaju jednu od najboljih ekonomskih prilika za smanjenje potrošnje energije i ograničenje stakleničkih plinova[2]

Građevinski sektor morat će se potpuno dekarbonizirati do 2050. i smanjiti svoje emisije za 60% do 2030. kako bi se ispunile Europske klimatske obveze. Ovo nije put kojim se trenutno kreću Europske zgrade. Zgrade kao što su kuće, škole, bolnice, uredi i dalje čine 40% potrošnje energije u EU-i i 36% emisije stakleničkih plinova. Trenutačno energetske neučinkovite zgrade se ne obnavljaju dovoljno brzo i Europa i dalje zadovoljava većinu svojih potreba za grijanjem s fosilnim gorivima, pri čemu su plinski kotlovi najčešće korištena tehnologija grijanja. Kako bi preokrenula trend, EU je pokrenula strategiju nadogradnja postojećeg građevinskog fonda: "Renovation Wave". Europska komisija iznijela je nekoliko zakonskih prijedloga za poboljšanje energetske učinkovitosti zgrada i potaknula prelazak na grijanje iz obnovljivih izvora. O ovim prijedlozima će se pregovarati s Europskim parlamentom i državama članicama prije nego što postanu zakon[3]

Ovaj rad sastoji se od 5 poglavlja, u drugom poglavlju prikazan je pregled literature koja se koristila prilikom istraživanja o neto nula energetske zgrade. U trećem poglavlju dane su definicije nula energetske zgrade, ciljevi Europske Unije za povećanje udjela nZEB-a, te opis elemenata zgrade koji se moraju uzeti u obzir ako se želi postići nZEB standard. Nadalje u četvrtom poglavlju su opisane tehnologije obnovljivih izvora energije koji se koriste u neto nula energetske zgrade. U petom poglavlju napravljena je simulacija u programskom paketu HOMER Grid gdje je prvo opisan programski paket, a zatim na primjeru obiteljske kuće odrađena simulacija. Na kraju u šestom poglavlju dan je zaključak o cijelom radu.

### **1.1. Zadatak diplomskog rada**

U teorijskom dijelu potrebno definirati pojam nula energetske zgrade i opisati trenutno stanje razvitka tehnologija za postizanje nula energetske zgrade. U praktičnom dijelu na primjeru jedne zgrade dimenzionirati nula energetske zgrade s naglaskom na sunčevu energiju.

## 2. PREGLED PODRUČJA RADA

Prema [4] neto ili gotovo nula energetske zgrade su vrlo učinkovite zgrade s iznimno niskom potražnjom za energijom, koje ispunjavaju te potrebe iz obnovljivih izvora. Također u literaturi [4] date su različite definicije nZEB-a koje odgovaraju njihovoj svrsi. U literaturi [6] dat je pregled i relativna terminologija nula energetskih zgrada, također su istaknute prednosti, prepreke, trenutno stanje i budući trendovi nZEB-a. U literaturi [7] opisuje se potreba za nula energetskim zgradama, dati su primjeri nula energetskih zgrada te je prikazan učinak održivih zgrada na okoliš, društveni život i gospodarski razvoj. Literatura [9] govori o ciljevima Europske Unije za smanjenje štetnih emisija do 2030. godine, daje pregled i buduće izazove gotovo nula energetskih zgrada. U literaturi [10] date su projektne strategije nZEB-a. U literaturi [11] opisana je ovojnica zgrade, rasvjeta i ventilacija za nula energetske zgrade, također je prikazano kako u hladnijim klimatskim uvjetima je moguće ostvariti nZEB standard.

Literatura [15] daje detaljan opis najboljih dostupnih tehnologija za grijanje prostora, pripreme tople vode, ventilaciju, hlađenje i proizvodnju električne energije na licu mjesta. Također daje uvid u energetske potrebe nZEB-a, te utjecaj takvih zgrada na okoliš. Opisani su zahtjevi za udobnost u zatvorenom prostoru, navedeni su svi energetske izvori koje koriste nZEB, te toplinska svojstva ovojnice zgrade. U radu [26] prikazan je detaljan opis komponenti fotonaponskog sustava, te vrste fotonaponskog sustava kao što su otočni sustavi, hibridni sustavi i sustavi koji su spojeni na mrežu. Svrha ovog poglavlja [35] je upoznavanje s osnovama energije vjetra i modernog dizajna vjetroturbina kao i neke spoznaje o proizvodnji električne energije iz vjetroturbina. Literatura [39] daje detaljan opis gdje se gorive ćelije koriste, koje vrste gorivih ćelija postoje, kako one rade i gdje se najčešće primjenjuju.

Rad [40] provodi tehnološko-ekonomsku analizu performansi i optimizacije fotonaponskog sustava, vjetroturbina i baterija spojenih na mrežu na određenoj lokaciji. Programski paket HOMER Grid korišten je za optimizaciju obnovljivih izvora prema zahtjevima opterećenja ustanove. Detaljne mogućnosti HOMER Grida kao i jednadžbe koje koristi prilikom optimiziranja sustava i ekonomske analize date su na internetskoj stranici [41].

### 3. NULA ENERGETSKE ZGRADE

Neto ili gotovo nula energetske zgrade (nZEB) vrlo su učinkovite zgrade s iznimno niskom potražnjom za energijom, koje ispunjavaju svoje potrebe za energijom iz obnovljivih izvora. Takve zgrade proizvode onoliko energije koliko troše, gledano na godišnjoj razini. Kako bi ostvarili svoje nulte energetske ciljeve, nula energetske zgrade moraju najprije smanjiti potražnju za energijom korištenjem energetski učinkovitih tehnologija, a zatim iskoristiti obnovljive izvore energije (OIE) kako bi se zadovoljila preostala potražnja. U takvim se zgradama povećanje učinkovitosti omogućuje da se ravnoteža energije mora opskrbljivati tehnologijama iz obnovljivih izvora. To je najlogičniji pristup do cilja nZEB. Međutim, ta široka definicija ostavlja dovoljno prostora za tumačenja i za nesporazume među vlasnicima, arhitektima i drugim dionicima u projektu nZEB. Prihvatanje zajedničke definicije granica i parametara nZEB-a ključno je za razvoj ciljeva i strategija dizajna. Različite definicije nula energetskih zgrada također su navele različite parametre za mjerenje učinka nZEB-a i različitih granica unutar kojih se mora održavati neto nulta ravnoteža. U ovom se odjeljku definiraju granice i mjerila koja su prihvaćena na globalnoj razini. Definicije nZEB-a ključne su za određivanje puta do nultog energetskog cilja i znatno utječu na izbor arhitekata i vlasnika zgrada. Prikladnost definicija za projekt razlikuje se ovisno o ciljevima projekta i vrijednostima konstruktora i vlasnika zgrada, što im je ključno da razumiju koja će definicija odgovarati njihovoj svrsi. [4]

- **Net Zero Site Energy Building**- Site ZEB proizvodi barem onoliko energije koliko koristi u godini. Tokovi energije obračunavaju se na mjestu projekta. Sustavi za opskrbu energijom iz obnovljivih izvora mogu se ugraditi na krovove zgrada, fasade, parkirališta i druga otvorena područja na lokaciji. Site nZEB potiču neumornu težnju za energetskom učinkovitošću jer mogućnosti opskrbe energijom iz obnovljivih izvora na određenoj lokaciji su ograničene. Site nZEB ignoriraju izvor energije. Energija koja se koristi u proizvodnji i prijenosu električne energije iz izvora do lokacije nije uzeta u obzir pri izračunu ravnoteže između potražnje i opskrbe. Također se ne uzima u obzir energija potrošena u prijevozu goriva iz obnovljivih izvora kao što je bio-otpad na tu lokaciju. Zbog toga je lakše provesti Site nZEB jer su ciljevi opskrbe energijom koji se odnose na neutralnost niski. [4]
- **Net Zero Source Energy Building** - Source nZEB proizvodi (ili kupuje) najmanje onoliko energije iz obnovljivih izvora koliko potroši u godini, kada se obračuna na izvoru. Izvor



energije odnosi se na primarnu energiju koja se koristi za obradu, proizvodnju i isporuku energije na lokaciju [5].

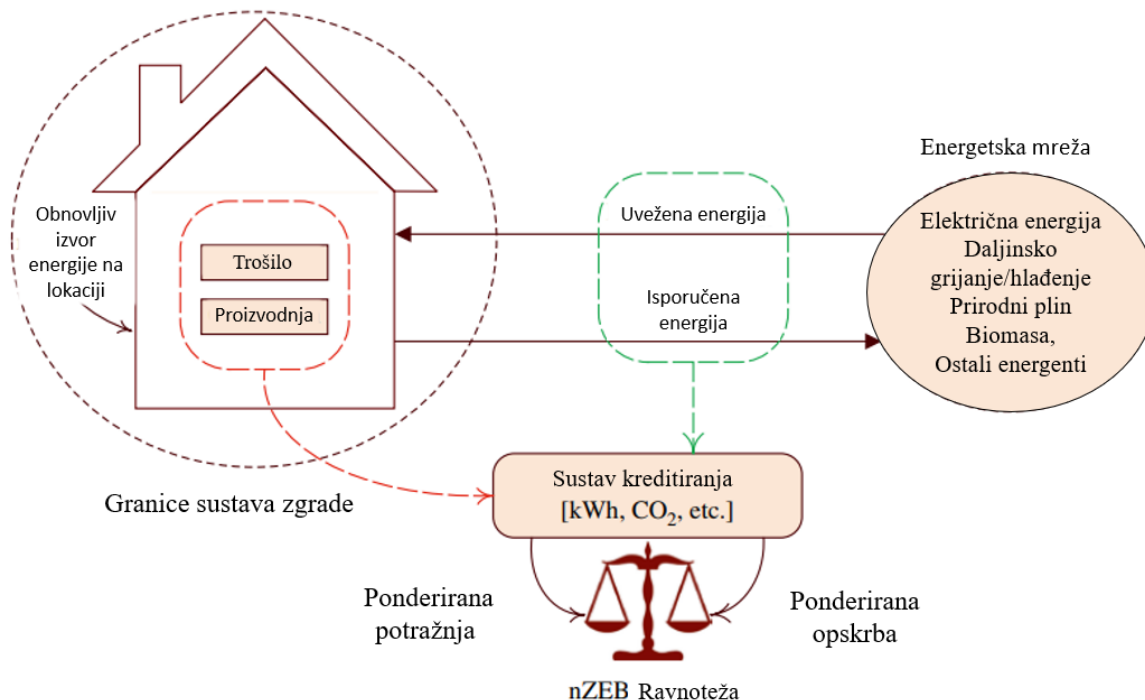
- **Net Zero Energy Cost Building**- Iznos novca koji dobije proizvođač zgrade za energiju koju izvozi u mrežu mora biti jednaka ili veća iznosu koji vlasnik plaća za energetske usluge i energiju koju koristi tijekom godine [4].
- **Net Zero Energy Emission Building**- Zgrada s nultom stopom emisija proizvodi barem onoliko energije bez emisija koliko koristi iz izvora koji stvaraju emisije. Ugljik, dušikovi oksidi i sumporni oksidi su uobičajene emisije koje nZEB kompenziraju[4].

Zgrada se može konstruirati tako da se postigne jedna ili više definicija nZEB-a, ali se ne može postići da svake godine zgrada ima jednaku potrošnju i proizvodnju energije, te se može dogoditi da jedne godine zgrada ispunjava uvjete da bude nZEB, a da druge godine ima veću potrošnju nego proizvodnju te da bude gotovo nula energetska zgrada. U koju kategoriju zgrada spada često ovisi o vremenskim prilikama u toj godini i o stanju zgrade. Dobro upravljanje nZEB-om se može držati ravnoteža između potrošnje i proizvodnje tijekom lošijih vremenskih perioda [5]

Kao što se može vidjeti na slici 3.1 dat je pregled i relevantna terminologija Nula Energetskih Zgrada [6].

- Energetska mreža pripisuje se sustavu opskrbe energenata, uključujući električnu energiju, prirodni plin, toplinske mreže za centralizirano grijanje/hlađenje, biomasu i ostala goriva. Mreža se može provoditi kao dvosmjerna mreža, što znači kao električna mreža i kao toplinska mreža.
- Uvezena energija se odnosi na energiju koja se prenosi iz električnih mreža na zgrade. Trošilo se odnosi na potražnju za energijom zgrade. Potrošnja energije ne mora biti jednaka uvezenoj energiji zbog proizvodnje na lokaciji.
- Proizvodnja se odnosi na energiju koju zgrada proizvede, te proizvedena energija ne mora biti jednaka isporučenoj energiji zbog potrošnje zgrade.
- Akreditacijski sustav je sustav za ponderiranje koji pretvara fizičke jedinice u metričke, te je pogodan korisniku za proizvodnju i prijenos energije. Aspekti ponderiranja mogli bi biti prikladniji u odnosu na političke preferencije umjesto 100% znanstvenog ili inženjerskog pristupa.
- Ponderirana potražnja odnosi se na ukupnu proizvedenu energiju svakog energetskog izvora pomnoženog s odgovarajućim faktorom ponderiranja.

- Ponderirana opskrba odnosi se na ukupnu prenesenu energiju na svaki energetski potrošač pomnožen s odgovarajućim faktorom ponderiranja.
- nZEB ravnoteža se odnosi na usporedbu ponderirane opskrbe koja može ostvariti ili premašiti ponderiranu potražnju u određenom vremenskom razdoblju, najčešće promatrano razdoblje je godinu dana.
- Granica sustava zgrade definira granicu zgrade na kojoj je energetska bilanca izračunata. To podrazumijeva fizički granicu (za jednu zgradu ili zajednicu) koja navodi imaju li obnovljivi izvori energije proizvodnju „na licu mjesta“ ili „izvan lokacije“ i granica koja utvrđuje koja je energija potrošena (npr. grijanje, hlađenje, ventilacija, pripremu tople vode, rasvjeta, kućanski aparati) se u bilanci uzima u obzir.

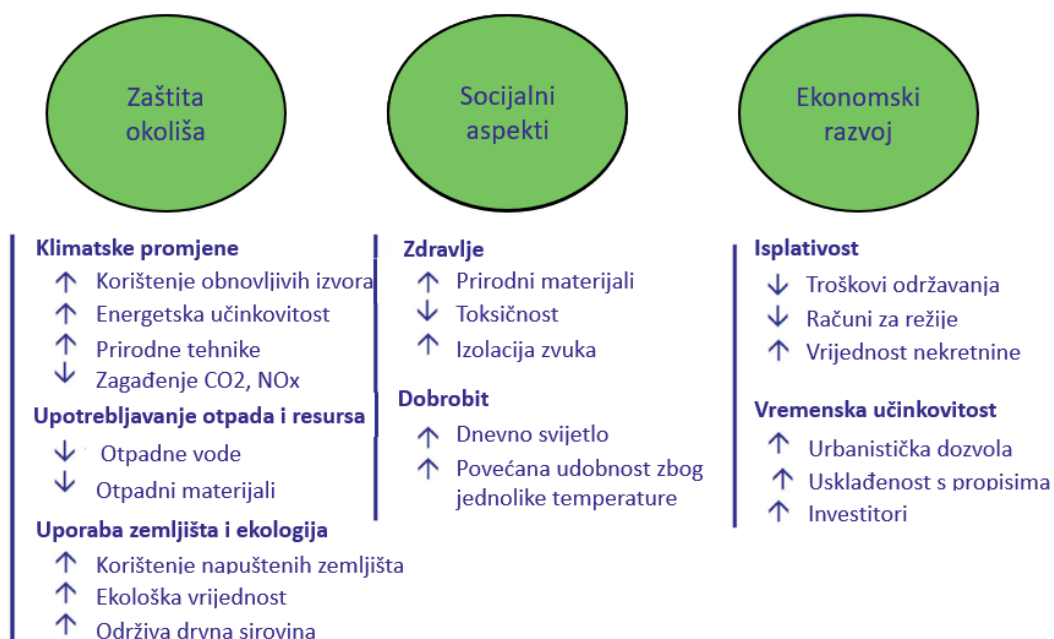


Slika 1.1 Nula Energetska Zgrada, pregled i relevantna terminologija[6]

### 3.1. Potreba za Nula Energetskim Zgradama

U posljednjem desetljeću, troškovi energenata rastu, fosilna goriva polako nestaju i dolazi do globalnog zatopljenja. Primjerice Europska unija uvozi 61 % ukupnih energetskih potreba i 90 % plina, koji čini ukupno 21 % energetske potrošnje. Opskrba plinom ide 77 % plinovodima i 23 % brodovima kroz terminale ukapljenog prirodnog plina. Prosječni porast cijena u Europskoj uniji krajem 2021. godine bio je 30 % za električnu energiju i 70 i više % za plin. Osim toga tu je bilo i drugih pitanja kao što su zdravlje, gospodarski boljitak i onečišćenje koje se može smanjiti ako

se smanje emisije štetnih plinova provedbom plana potrošnje te korištenjem energije koja dolazi iz obnovljivih izvora. Elektrane pretvaraju samo 30-35% ulazne energije u električnu energiju. Ostatak se odbacuje kao otpadna toplina. Zemljin izvor fosilnih goriva nestaje velikom brzinom tijekom posljednjih 200 godina, korištenjem fosilnih goriva sve te godine štetno su djelovale na okoliš, te su negativno utjecale na klimatske promjene. Nove rezerve fosilnih goriva se teže pronalaze, te one rezerve koje su otkrivene su znatno manje od onih koje su pronađene u prošlosti. Očekuje se da će rezerve nafte nestati između 2050. i 2060. godine kao i plin. Ugljen će trajati duže, očekuje se da će trajati do 2100. godine. Drugi aspekt povećanih emisija i povećane potrošnje energije je globalno zatopljenje i znatno povećanje stope topljenja leda i ledenjaka. Najznačajnije upozorenje je to da devet od deset najtoplijih godina od 1880. godine je bilo u posljednjem desetljeću. Prema posljednjem izvješću Međuvladinog panela za klimatske promjene (engl. *Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) globalni klimatski modeli predviđaju porast globalne prizemne temperature zraka u posljednjem desetljeću 21. stoljeća u odnosu na posljednjih 20 godina 20. stoljeća od 1,8 °C do 4°C, ovisno o scenariju emisije stakleničkih plinova. Zgrada koja je dizajnirana da bude održivija ima potencijal za smanjenje ljudskog utjecaja na okoliš. Taj učinak je prikazan na slici 3.1.1 [7].



Slika 3.1.1 Učinak održivih zgrada na okoliš, društveni život i gospodarski razvoj [7].

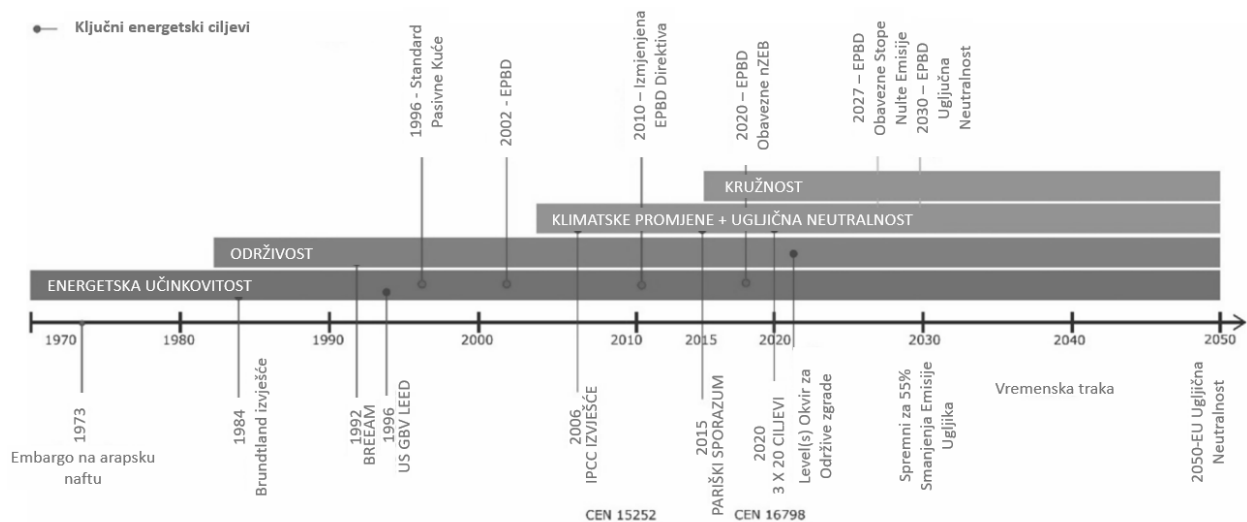
Nula energetske zgrade imaju značajne prednost u usporedbi sa zgradama koje imaju visoku potrošnju energije. Nula energetske zgrade su energetske učinkovitije te štede od 50% do 70% više

energije od tradicionalnih građevina. ZEB koja ovisi o fosilnim gorivima i smanjuje emisije ugljika, također smanjuje svoj ekološki otisak tako da utječe na smanjenje emisija stakleničkih plinova u atmosferu. U tom kontekstu energetske učinkovite zgrade igrat će važnu ulogu u stvaranju energetske sigurne budućnosti, tako da proizvode onoliko energije koliko potroše. ZEB proizvodi energiju iz obnovljivih izvora, te na taj način zadovoljava većinu potreba za godišnjim električnim opterećenjem i tako smanjuju proizvodnju iz neobnovljivih izvora energije koje svojom proizvodnom mogu imati negativan utjecaj na okoliš. Poduzete su troškovno učinkovite mjere za smanjenje potrošnje energije u tim zgradama. Za pokrivanje ostalih energetske potreba integriraju se obnovljivi izvori energije na samim zgradama. Kod takvih zgrada koje su građene s ekološki prihvatljivim pristupima imamo značajnu uštedu prilikom plaćanja računa za energiju tijekom cijelog životnog vijeka zgrade. Danas nula energetske zgrade građene su uzimajući u obzir značajna obilježja kao što su minimalne emisije, minimalna potrošnja, minimalni gubici, učinkovit odnos između ljudi i prirode, održavanje kvalitete unutarnjeg okruženja na visokoj razini, zdravi uvjeti unutar zatvorenog prostora, produktivno radno okruženje, osiguravanje učinkovite uporabe prirodnih resursa i održavanje nepovoljnih ekoloških uvjeta na minimalnoj razini. Nula energetske zgrade koje su izgrađene po tim kriterijima, pružaju okolišne prednosti kao što su učinkovito korištenje kišnice, smanjenje potrošnje energije iz neobnovljivih izvora, gospodarenje otpadom i smanjenje količine otpada, kontrola kvalitete zraka i vode i korištenje prirodnih resursa. Kada gledamo iz perspektive gospodarske koristi odnosno isplativosti tih građevina, iako troškovi izgradnje mogu biti visoki što se i očekuje, takve građevine osiguravaju dugoročnu učinkovitost, kao što su smanjeni operativni troškovi, kada se uzme u obzir životni vijek građevine. Ovakva situacija također pruža prednosti kao što su povećanje vrijednosti zgrade prilikom prodaje i najma. Također korištenje obnovljivih izvora energije ima učinak na smanjenje troškova energije, gdje su trajnost i komfor na vrlo visokoj razini te pruža zdravo i sigurno unutarnje okruženje. Još jedan cilj ovih zgrada je ograničiti štetu koja se nanosi na ekosustav i smanjiti uporabu prirodnih resursa kao što su voda, tlo i sirovine. Povećanje broja nula energetske zgrade će znatno doprinijeti dugoročnom smanjenju tekućih troškova održavanja i troškova rada, te će smanjiti utjecaj na okoliš i poboljšati energetske sigurnost [8].

### **3.1.1. Ciljevi EU**

Klimatski cilj Europske Unije (EU) za 2030. godinu pod nazivom „Spremni za 55“ nastoji postići klimatsku neutralnost i za 55% smanjiti emisije stakleničkih plinova do 2030. godine. Direktiva o energetske učinkovitosti zgrada (engl. The Energy Performance of Building Directive (EPBD)) iz 2018. godine je provedba alata za prevođenje tih ciljeva i transformaciju novih i renoviranih

zgrada u 27 država članica EU. Revidirana Direktiva 2021/12/14 EU (EPBD) u čl.9 označava da države članice EU moraju postići minimalno smanjenje stakleničkih plinova za 55% do 2030 (u usporedbi s razinama iz 1990.), postavljajući EU na čvrsti put prema ispunjavanju svojeg krajnjeg cilja, a to je postizanje nulte neto stope emisija stakleničkih plinova (klimatska neutralnost) do 2050. Sukladno tome, većina država članica je nedavno revidirala postojeća pravila, propise i smjernice i počela uspostavljati sredstva za povećanje proboja visokoučinkovitih zgrada pokretanjem planova i zahtjeva zgrada približno nulte energije (nZEB). Što je još važnije, svih 27 država članica EU mora razviti planove dekarbonizacije i putanje za postupno ukidanje fosilnih goriva i postaviti ograničenja na emisije ugljika kao što je prikazano na slici 3.1.1.1 Ali napredak implementacije nZEB-a u istočnoj Europi je spora. S jedne strane, sjeverne i zapadne države članice započele su ranije formuliranje i provedbu koncepta nZEB. Južnoeuropske zemlje rade na definicijama i provedbi nZEB-a uzimajući u obzir rizike od ljetnog pregrijavanja. S druge strane, istočne države članice još uvijek pokušavaju pronaći odgovarajuće definicije i pristup masovnoj konstrukciji nZEB-a. Istočna Europa postaje atraktivna destinacija za ulaganje u obnovljive izvore energije. Međunarodna agencija za obnovljivu energiju (IRENA) ukazuje na troškovno konkurentan i golem potencijal obnovljivih izvora energije istočne Europe. Konkurentnost u istočnoj Europi za trošenje javnih sredstava na sustave obnovljive energije može stvoriti probleme u budućnosti s ciljevima energetske učinkovitosti i smanjenjem potražnje. Trenutačno nZEB treba biti glavni prioritet cijele istočne Europe[9]



Slika 3.1.1.1 Evolucija EPBD zahtjeva od 2006 do 2050 i prekretnice prema postizanju nula energetskih zgrada[9]

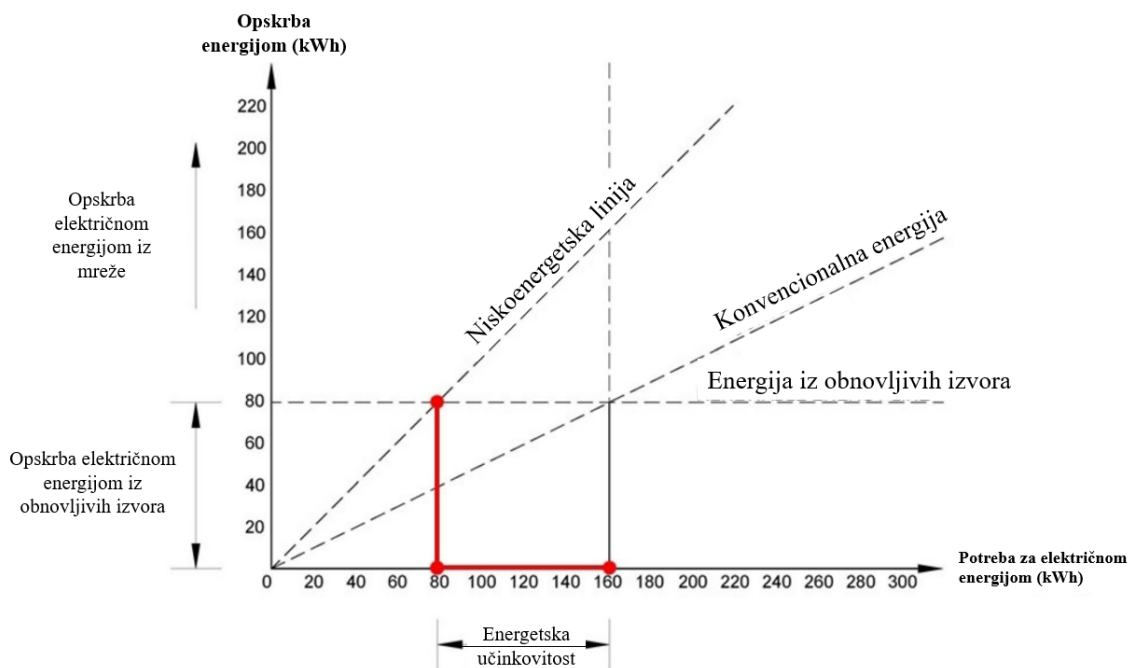
Hrvatsku karakterizira kontinentalna klima na istoku i umjereno topla sredozemna klima na zapadu. Mediteransko područje ima tendenciju biti vruće i vlažno tijekom ljeta, a hladno zimi.

Koriste se dvije klimatske zone za izračunavanje energetske učinkovitosti zgrada. Nacionalni plan nZEB usvojen je 2015. Minimalni pragovi za primarnu energiju kreću se između 50 i 80 kWh/m<sup>2</sup>, konačni zahtjevi za grijanje su između 50 i 75 kWh/m<sup>2</sup>, a konačni zahtjevi za hlađenje su između 25 i 60 kWh/m<sup>2</sup>. Obnovljivi izvori energije moraju pokrivati najmanje 30% ukupne godišnje energije korištene na licu mjesta. Postoji obavezan zahtjev za dokazivanje ispunjavanja zrakopropusnosti. Za razliku tlaka od 50 Pa, izmjereni broj izmjena zraka ne smije prijeći n<sub>50</sub>=3,0 h<sup>-1</sup> u slučaju zgrada bez mehaničkih sustava ventilacije ili n<sub>50</sub>=1,5 h<sup>-1</sup> u slučaju zgrada s mehaničkim sustavima ventilacije. Primjena dizalica topline u hrvatskom podneblju je vrlo učinkovita u kombinaciji s fotonaponskim sustavima, posebno za hlađenje i grijanje tople vode tijekom ljeta. Hrvatska ima plan aktivnog obrazovanja za građevinske radnike kroz projekt Croskills i nastavio se kroz Horizon 2020 projekte Fit-to-nZEB i Net-UBIEP, dalje kroz Erasmus + projekt MIMzeED, koji je provedeno od strane Sveučilišta u Zagrebu[9].

### **3.2. Energetski učinkovite mjere za nZEB**

Pri projektiranju nula energetske zgrade, ključno je razumjeti kako energetska učinkovitost mora biti primaran cilj prilikom izgradnje tako da se preostala potražnja može zadovoljiti iz obnovljivih izvora na licu mjesta. Drugim riječima, godišnja neto bilanca između ukupne potrošene energije zgrade i proizvedene energije treba biti nula. Kako bi zgrada mogla biti nZEB zahtjeva znatno smanjenje potrošnje energije uključivanjem nekoliko mjera energetske učinkovitosti u fazi projektiranja i istovremene mogućnosti da sama generira vlastitu energiju na mjestu putem obnovljivih izvora energije kako bi zadovoljio svoje preostale energetske potrebe. To je moguće usvajanjem pasivnih i aktivnih strategija, te konstrukcijskih metoda kod obnovljivih izvora energije od planiranja do završetka izgradnje zgrade. Pasivne projektne strategije pokrivaju planiranje lokacije, orijentaciju zgrade, kontrolu dnevne svjetlosti, materijale i građevinske tehnike. Aktivna projektna strategija uključuje optimizaciju HVAC ( grijanje, ventilacija i klimatizacija) sustava, energetske učinkovitih uređaja i opreme. U strategiji projektiranja obnovljivih izvora energije rade se izračuni kako bi se odredio potreban kapacitet sustava obnovljivih izvora energije za zadovoljavanje preostale potražnje za energijom zgrade. Ovi sustavi obnovljive energije uključuju solarnu fotonaponsku elektranu, vjetrogenerator i elektranu na biomasu, no to ovisi o potražnji i dostupnosti resursa. Mrežni interaktivni sustav je instaliran za mjerenje uvoza i izvoza električne energije između mreže i sustava obnovljivih izvora energije. Koncept energetske bilance za izgradnju nula energetske zgrade predložen je kao što je prikazano na slici 3.2.1. Potreba za energijom zgrade u kWh zadana je na osi x, a opskrba energijom u kWh data je na y-osi. U početku potražnja za energijom smanjuje se sa 160 na 80 kWh usvajanjem

pasivne i aktivne strategije projektiranja. To uključuje postavljanje orijentacije zgrade, optimizaciju ovojnice zgrade, zidova i krovne izolacije, kontrola dnevne rasvjete, fenestracija, energetski učinkovitije grijanje, ventilacija i klimatizacija, korištenje energetski učinkovitih uređaja i njihove kontrole. Preostala potreba za energijom od 80 kWh zadovoljava se ugradnjom mrežnih i interaktivnih sustava obnovljivih izvora energije i ugradnjom sustava neto mjerenja s mrežom. Strategije projektiranja nula energetske zgrade date su na slici 3.2.2. [10].



Slika 3.2.1. Koncept energetske bilance za nZEB [10]



Slika 3.2.2 Strategije projektiranja nZEB-a [10].

Tri plana pasivne projektne strategije označavaju plan energetske učinkovitosti u nZEB-u [6] :

1. Smanjiti propusnost topline: smanjenje protoka topline u zgradi tijekom ljeta pomaže u smanjenju opterećenja klimatizacijskih sustava.
2. Dnevno svjetlo: u brojnim zgradama svjetla su upaljena tijekom dana čak i kada je sunčeva svjetlost na svom vrhuncu. U nZEB-u sunčeva svjetlost prodire duboko u prostor smanjujući potrebu za umjetnom rasvjetom.
3. Prirodna ventilacija: više od 40% energije koja se koristi u uobičajenim zgradama je za potrebu klimatizacije. Prirodna ventilacija u nZEB-u pomaže smanjiti potražnju za klimatizacijom.

Tehnologije energetske učinkovitosti podrazumijevaju učinkovite tehnologije s automatiziranim kontrolama, umreženim sensorima i mjernim instrumentima, razvijena automatizacija zgrade, softver za analizu podataka, upravljanje energijom i informacijski sustavi, te puštanje u pogon pod nadzorom. Pametne tehnologije donose značajne uštede energije kao što je prikazano u tablici 3.1.1.



Tablica 3.2.1 Potencijal uštede energije koristeći pametne tehnologije [6]

Sustav	Tehnologija	Ušteda energije
HAVC	Motorni pogon s varijabilnom frekvencijom	15-50% kod crpke ili motora
HAVC	HAVC sustav na osnovi pametnog termostata	5-10% HVAC
Tip utikača	Pametna utikač za punjenje	50-60%
Rasvjeta	Napredna kontrola rasvjete	45%
Rasvjeta	Sustav daljinskog upravljanja rasvjetom	20-30%
Prozorska sjenila	Automatski sustav zasjenjenja	21-38%
Prozorska sjenila	Automatsko zatamnjenje stakla po potrebi	32-43%
Prozorska sjenila	Pametna stakla	20-30%
Automatizacija zgrade	Pametni sustavi automatizacije zgrade	10-25% cijela zgrada
Analitika	Energetsko-informacijski sustavi na temelju oblaka	5-10% cijela zgrada

Sustav upravljanja energijom pruža prikladniju metodu za smanjenje potrebne energije zgrade i za očuvanje kvalitete života u zatvorenom prostoru u skladu s globalnim standardom održivosti koji je certificiran te pouzdan za različite primjene uključujući HVAC kontrolu i kontrola toplinske udobnosti, opterećenje utikača, pametni uređaji, vlastita proizvodnja iz obnovljivih izvora, skladištenje energije, Plug-in električna vozila, itd. uz interakciju s pametnim brojlama kao što je prikazano na slici 3.2.3 [6].

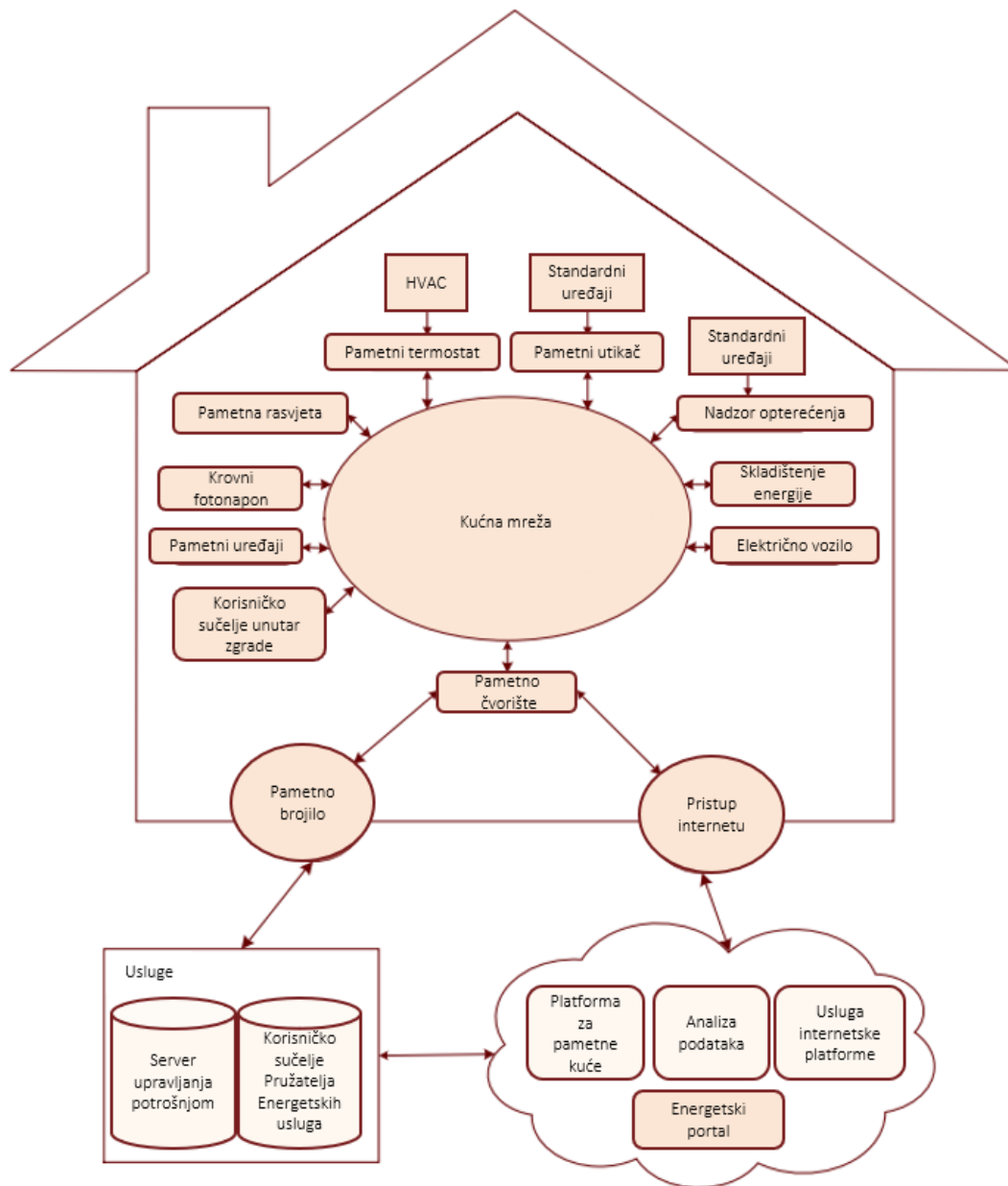
Opcije se kreću od vlastite decentralizirane proizvodnje iz obnovljivih izvora (On-site) do centralizirane proizvodnje iz obnovljivih izvora izvan lokacije (Off-site), gdje se energetske mrežama distribuira do zgrade, kao što je prikazano u tablici 3.2.2

Tablica 3.2.2 Primjena tehnologija obnovljivih izvora energije u nZEB-u [6]

Upotreba energije	Tehnologija	Vrsta obnovljivih izvora
Grijanje prostora i vode	Centralizirano grijanje Decentralizirani kotlovi Solarna toplinska energija Dizalica topline	Fotonapon, Solarni termalni kolektori, Ostatci topline, Otpad, Biomasa, Geotermalna energija
Hlađenje	Centralizirano hlađenje Solarno hlađenje	Sunčeva energija, Geotermalna energija
Proizvodnja električne energije	Integracija fotonaponskih ćelija Postavljanje fotonapona na krov	Sunčeva energija
Kuhanje	Poboljšani štednjaci	Kruta biomasa, etanol, bioplin

Vlastita proizvodnja uključuje solarne termalne kolektore, solarne fotonaponske panele, kotlove na biomasu, te moderne peći na bioenergiju. Odabir proizvodnje izvan lokacije uključuje primjenu energije iz obnovljivih izvora za grijanje ili hlađenje zgrada koja se prenosi putem energetskih mreža, te energiju iz obnovljivih izvora koja se može koristiti za kuhanje, rasvjetu, kućanske aparate, te grijanje ili hlađenje.

Tijekom 2010. i 2014. godine, krovni kapacitet solarne energije se utrostručio diljem svijeta, s 30 na 100 GW, dovoljno za zadovoljavanje potreba električne energije oko 30 milijuna kućanstava. Do 2030. godine IRENA (Međunarodna agencija za obnovljivu energiju, eng. International Renewable Energy Agency) procjenjuje da bi se proizvodnja iz fotonaponskih elektrana mogla povećati do 580 GW. Ova promjena paradigme nudi kućanstvima priliku za proizvodnju vlastite električne energije i smanjuje ranjivost povezanu s nestašicom, prekidom opskrbe i promjenjivosti troškova električne energije.



Slika 3.2.3 Potpuno integrirani nZEB sustav upravljanja energijom [6]

### 3.3. Ovojnica Zgrade

#### Oblik zgrade

Prilikom projektiranja nula energetske zgrade važno je uzeti u obzir geometriju kuće. Projektanti bi trebali biti svjesni činjenice da svi nepravilni oblici prilikom projektiranja zgrade mogu rezultirati neželjenim povećanjem potrebe za energijom. Potkrovlje, krovni prozori, zatvoreni balkoni, duga i uska produženja građevine, povećanje broja etaža, su svi primjeri značajki koje utječu na povećanje potrebe za energijom. Oblik i veličina zgrade može imati značajan utjecaj na svoje energetske potrebe. Što je zgrada kompaktnija, manja je površina toplinske ovojnice koja uzrokuje toplinske gubitke. Osim toga, kompaktna zgrada obično znači i manje četvornih metara

skupe toplinske izolacije ovojnice u koju treba ulagati i održavati u budućnosti. Omjer kompaktnosti ima izražen utjecaj na zahtjeve za grijanje i hlađenje, neovisno o vrijednosti toplinske propusnosti (U-vrijednost) građevnih materijala [11].

### **Mjesto gradnje i orijentacija**

Konačna potrošnja zgrade također je pod velikim utjecajem njezine orijentacije. Kada je moguće, stambeni objekt treba biti smješten na osunčanoj južnoj padini kako bi bilo moguće integrirati solarne energetske sustave te imati pasivni solarni prinos. Također treba uzeti u obzir udaljenost između ostalih zgrada tako da one ne bi zasjenile jedna drugu. Isto vrijedi i za zemljište, drveće i druge objekte[11].

### **Nepropusnost zraka**

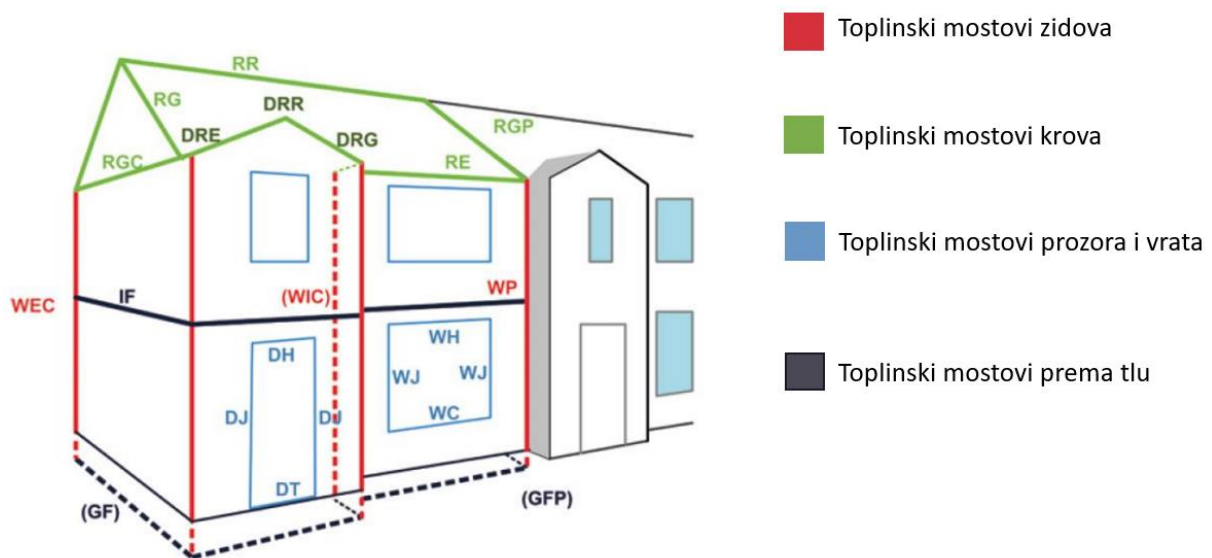
Da bi zgrada imala vrlo visoku energetska učinkovitost, njezina ovojnica mora biti hermetički zatvorena. Slaba zrakonepropusnost rezultira propuštanjem zraka što povećava potrebu za zagrijavanjem i hlađenjem, te stvara propuh, vlagu i druga neželjena djelovanja. Do propuštanja zraka dolazi zbog pukotina u građevnim materijalima, loše izoliranih prozora i vrata. Baš kao i za ostale kategorije, energetska učinkovita zgrada mora imati minimalnu vrijednost za zrakonepropusnost. Izražava se kao  $n_x$ , broj izmjena zraka u zgradi po satu pri određenoj razlici vanjskog i unutarnjeg tlaka [11].

### **Toplinska izolacija**

Izolacija u nula energetske zgradama je od presudne važnosti zbog svoje ključne uloge kod toplinskih gubitaka u zgradama. Koeficijent prijenosa topline je odgovoran za toplinske gubitke kroz građevinske komponente. Iz tog razloga koeficijent prijenosa topline mora odgovarati zahtjevima važećih građevinskih propisa. Što se tiče izolacijskih materijala najčešći su kamena vuna, staklena vuna i celuloza. Vrijednost toplinske vodljivosti ( $\lambda$ ) izolacijskih materijala za visokoučinkovitu zgradu je 0,05(2/mK). Polistiren i poliuretan se vrlo često koriste u niskoenergetskim stambenim zgradama, ali uglavnom samo kao izolacija tla i povremeno kao krovna izolacija. Moguće rješenje je vakuumska izolacija. Ovi paneli imaju vrlo nisku U-vrijednost, stoga omogućuju projektiranje tanjih zidova. Nažalost prilično su skupi zbog nedavnog ulaska na tržište. „A“ vakuum izolacijska ploča debljine 2-3 cm odgovara 10-15 cm kamene vune. Drugi izolacijski materijal niske toplinske vodljivosti i veće cijene je PIR (poliizocijanuratna) izolacija [11].

## Toplinski mostovi

Toplinski most je dio ovojnice zgrade, gdje se toplinski tok, normalno okomit na površinu, jasno mijenja kao rezultat povećane ili smanjene gustoće toplinskog toka. Toplinski mostovi se mogu podijeliti u dvije kategorije – linearni i točkasti toplinski mostovi. Standardne lokacije toplinskih mostova prikazane su na slici 3.3.1.



Slika 3.3.1. Standardne lokacije toplinskih mostova [11].

Toplinski mostovi imaju ključnu ulogu u pogledu energetske učinkovitosti zgrada. Kod zemalja gdje prevladavaju hladne klime štetni učinci toplinskih mostova su još veći. Mogu doprinijeti čak 50% ukupnog prijenosa izmjene topline kod pasivnih kuća. Budući da toplinski mostovi imaju značajan utjecaj na ukupne toplinske gubitke ovojnice zgrade, sredstva za minimiziranje toplinskih mostova koriste se u energetski učinkovitim zgradama. Ovisno o vrsti toplinskog mosta koriste se odgovarajući materijali, gdje se osim njihovih fizičkih svojstava moraju uzeti u obzir i ekonomska ograničenja. Ekstruzija elementa konstrukcije na mjestu gdje će toplina najvjerojatnije „pobjeći“ zbog vodljivosti je drugo često primjenjivano rješenje u visoko izoliranim zgradama. Postoje mnoga druga rješenja kao što su izolacija od isparivanja (parne barijere) ili uklanjanje prodora izolacije, te se ta rješenja mogu i trebaju primijeniti za najbolje rezultate[11].

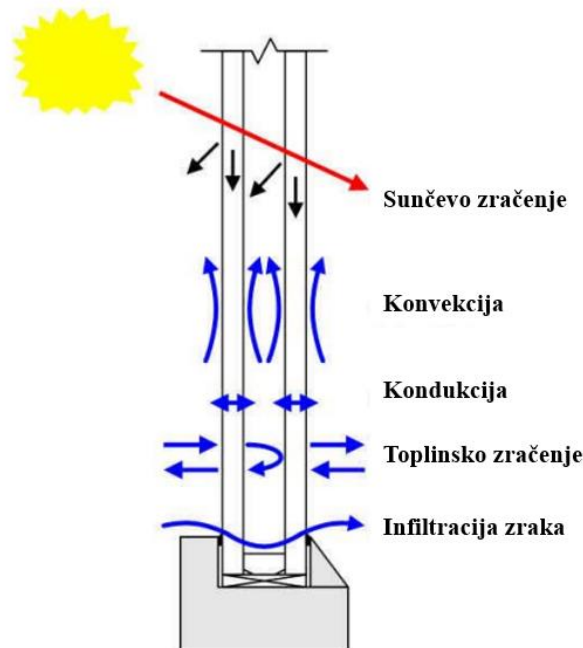
## Termalna masa

Pri gradnji nZEB-a treba koristiti materijale velike toplinske mase, kao što su cigla, kamene keramičke ploče i beton. Ovi materijali su odabrani zbog svojih svojstava toplinske difuzije. Toplinska difuzivnost, kao takva, opisuje sposobnost materijala da provodi toplinsku energiju u odnosu na njegovu sposobnost pohranjivanje relativne energije. Dakle, materijali s visokim kapacitetom skladištenja topline i niskom vodljivošću imat će i niske stope toplinske difuzije. Međutim važno je imati na umu da je toplinska masa osobito važna za topliju i umjerenu klimu gdje je velika amplituda dnevnih temperatura. U hladnoj kontinentalnoj klimi, tijekom sezone grijanja, energetske učinkoviti koncepti zgrada kao što je Passivehaus, već je napravio vrlo visoku iskoristivost solarnih i unutarnjih dobitaka i stoga daljnja poboljšanja preko toplinske mase biti će marginalna. U situacijama kada je pristup suncu loš i koriste se povremeni režimi grijanja, toplinska masa bi čak mogla povećati zahtjeve za grijanjem tijekom zime zbog oslobađanja apsorbirane vlage [11].

## Prozori

Prozori su još jedno područje koje je dobilo puno pažnje s razvojem energetske učinkovitih zgrada. Postoje brojni parametri i različiti kriteriji kod izbora za prozore kao što su U-vrijednost, g-vrijednost,  $\tau$ -vrijednost za vidljivo svjetlo i mnogi drugi. Iako je slaba točka u smislu toplinskih gubitaka prozori su se u posljednjem desetljeću počeli doživljavati kao „radijatori“ zbog razvoja tehnologija ostakljivanja i višeslojnih prozora. Tri načina prijenosa topline (kondukcija, konvekcija i zračenje) igraju značajnu ulogu u izvedbi prozora. Njihova interakcija shematski je prikazana na slici 3.3.2. Vrijednost toplinske propusnosti (U-vrijednost) ne predstavlja samo gubitke topline kroz staklo, nego i kroz okvir, stoga svi elementi prozora moraju biti kvalitetni. Međutim važno je napomenuti da čak i najučinkovitiji prozori ( $U_w=0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) imaju mnogo manji toplinski otpor u usporedbi sa nZEB zidovima, stoga odabir prozora i mjesto ugradnje se mora shvatiti ozbiljno, pogotovo na mjestima gdje prevladava hladna klima. Ostakljenje prozora ima tri žarišne značajke, od kojih je jedna prethodno spomenuta toplinska propusnost (U-vrijednost), druga dva su sunčeva propusnost (g-vrijednost) i vidljivo svjetlo ( $\tau_{vis}$ ) koji također igraju važnu ulogu u izvedbi prozora. Solarni faktor (g-vrijednost ili ukupna propusnost sunčeve energije odnosno koeficijent sunčeve toplinske dobiti) prikazuje koliko sunčevog zračenja koje pada na staklo prozora ulazi u prostoriju. Za što bolju energetske učinkovitost, prozori moraju imati veću propusnost vidljive svjetlosti ( $\tau_{vis}$ ) sa što nižom sunčevom propusnošću (g-vrijednost). Također je ključno da prozori budu pravilno postavljeni inače cijela stvar ugradnje skupih i

visoko učinkovitih prozora je izgubljena. Važnost dobre instalacije prozora ne može se precijeniti, uz posvećenost detaljima, moguće je gotovo u potpunosti ukloniti termalne mostove koje uzrokuje instalacija. Ako se to ne učini, može doći do značajnih gubitaka topline kod rubova prozora koji su obično vrlo dugački [11].



Slika 3.3.2 Prijenos topline kondukcijom, konvekcijom i zračenjem kroz dvostruko ostakljeni prozor s niskom emisivnom presvlakom [11].

## Zasjenjivanje

Zasjenjenje je potrebno koristiti kako bi spriječili odsjaj, pregrijavanje ili pothlađivanje tijekom ljetnih dana. Mogu se primijeniti vanjske, unutarnje i opcije zasjenjenja između okna, pri čemu je prva od navedenih najučinkovitija. Ponekad, prevjesi ili kontrola stakla se koriste u visoko učinkovitim zgradama. U praksi to znači da je najbolje kada sustavi zasjenjenja omogućavaju promjenjivo zasjenjenje koje odgovara trenutnim klimatskim uvjetima, a mogu se prilagoditi vremenu i po osobnom izboru. Ovakvim sustavom zasjenjenja moguće je spriječiti pregrijavanje tijekom ljeta, dok tijekom zime dopušta ulazak najveće količine sunca [11].

### 3.4. Rasvjeta

Rasvjeta je osnovna funkcija koju svaka kuća mora imati. Dobro dnevno svjetlo ne pruža samo svjetlost za našu udobnost, nego također može uštedjeti energiju za grijanje, hlađenje i električnu energiju potrebnu za rasvjetu. Iako dnevno svjetlo ne bi trebali pretjerano upotrebljavati u projektima zgrade zbog veće toplinske propusnosti prozora, dovoljno ih je ugraditi toliko da se zadovolji osvjetljenje danju, čime se izbjegava potrošnja električne energije za rasvjetu tijekom dana. To znači pametno pozicioniranje prozora za maksimalnu rasvjetu u područjima gdje je to potrebno uz smanjenje gubitaka topline onoliko koliko je to racionalno. To također znači da s obzirom na orijentaciju zgrade prostorije moraju biti projektirane određenim rasporedom. Budući da sjeverno pročelje prima najmanje sunčeve svjetlosti, sobe ove orijentacije trebaju se koristiti kao prostorije za „kratki boravak“ (tj. Pomoćne prostorije, spremište, ulaz itd.). Sobe u istočnoj orijentaciji treba koristiti u prvom dijelu dana (kuhinja, spavaće sobe) jer sunce ujutro sja s istoka, što nudi mogućnost grijanja. Južna strana prima najviše sunčeve svjetlosti i stoga sobe u ovoj orijentaciji trebaju biti sobe za dugotrajan boravak (dnevni boravak, radna soba). Zapadna strana osigurava rasvjetu navečer, stoga u ovom dijelu zgrade treba postaviti mjesta za objedovanje (blagovaonica). Pametno dizajnirani otvori omogućuju prodiranje sunčeve svjetlosti prema sredini kuće, te tako smanjuju potrebe za korištenjem električne rasvjete. Na slici 3.4.1. prikazana je orijentacija kuće po stranama svijeta [11].

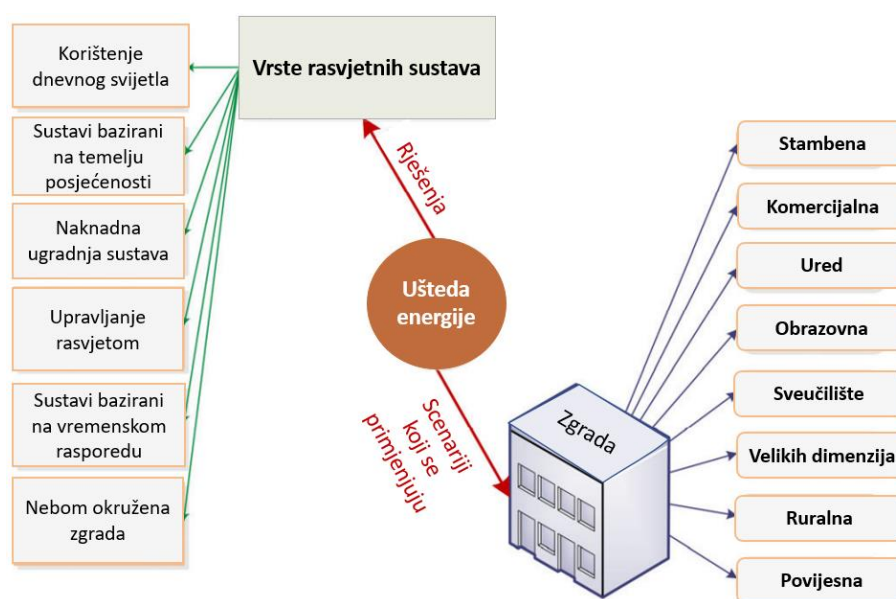


Slika 3.4.1. Orijehtacija kuće po stranama svijeta [12].



Što se tiče vrsta električne rasvjete, fluorescentne svjetiljke (CFL) kao i svjetleće diode (LED) pokazuju najveću učinkovitost, te bi se trebale koristiti kako bi smanjili potražnju električne energije. Za najveće uštede potrebno je integrirati uređaje koji pomažu pri uštedi energije. Najčešći uređaji su detektori kretanja/odsutnosti koji uključuju svjetlo samo kada je potrebno i bežični prigušivači/prekidači svijetla za kontrolu rasvjete, čime se eliminira potreba za fizičkim sklopkama čije žice mogu smanjiti učinkovitost izolacije zbog prodora. Zatamnjenje odnosno prigušenje optimizira korištenje dnevnog svijetla i smanjuje potrebnu električnu energiju za rasvjetu. Najprimitivnije, ali učinkovito rješenje je korištenje bijele ili svjetlije boje za unutarnje zidove kako bi se smanjila potražnja za rasvjetom [11].

Učinkovito upravljanje rasvjetom dovodi do bolje stope uštede energije za različite tipove zgrada koristeći različite vrste sustava. Obično postoje mnoge strategije koje se primjenjuju prilikom projektiranja rasvjetnih sustava u zgradama kako bi se postigao visok stupanj uštede energije. Postoje tri različite strategije koje koriste sustavi rasvjete za uštedu energije. Na temelju profila korisnika, na temelju mjerača vremena i sustavi rasvjete koji se temelje na varijacijama dnevnog svijetla. Neke metode usredotočene su na udobnost korisnika, neke druge su usredotočene na inteligentnu rasvjetu, a neke druge usmjerene na upravljanje rasporedom rasvjetnih sustava i tako dalje. Postoji odnos između sustava rasvjete i tipa zgrade kada se u obzir uzmu neki faktori. Na primjer, jedan od tih faktora je da kod velikih zgrada je bolje imati učinkovitiju rasvjetu, kao što su sustavi koji se baziraju na potpunom iskorištavanju dnevnog svijetla ili drugi energetske učinkoviti sustavi. Što je adekvatniji sustav odabran za određeni tip zgrade to će ušteda energije biti veća [13].



Slika 3.4.2 Predložena metoda za odnos ciljeva i rješenja [13].

### **3.5. Ventilacija**

Ventilacija zgrada nužna je mjera za postizanje i održavanje zadovoljavajućeg unutarnjeg okruženja kojeg doživljavaju stanari, a da pritom ne ugrožava zdravlje ili produktivnost korisnika zgrade. Strategije ventilacije mogu se podijeliti u tri glavne kategorije. Do ventilacije može doći zbog prirodne sile, kao što su temperatura i vjetar, mehaničke sile ili kombinacijom prirodne i mehaničke sile. Ove kategorije se nazivaju prirodne, mehaničke i hibridne ventilacije [14].

#### **Prirodna ventilacija**

Prirodna ventilacija je rezultat strujanja zraka zbog razlika u tlaku koje stvara uzgon i/ili vjetar. Strategija prirodne ventilacije temelji se na činjenici da se prihvatljiva kvaliteta unutarnjeg zraka može postići razrjeđivanjem koncentracije kontaminanata u zoni opskrnom okolnog zraka. Kada je odabrana strategija prirodne ventilacije, zrak se u zgradu dovodi kroz otvore na fasadi zgrade, kao što su prozori, vrata, otvori i manje pukotine. Ustajali zrak će izlaziti iz zgrade kroz iste otvore kao i dovod svježeg zraka. Postoji nekoliko prednosti prirodne ventilacije, kao u pogledu potrebe za energijom tako i u pogledu troškova. Zbog prirodne ventilacije koja nastaje strujanjem kroz prozore i druge fasadne otvore, potreba za radnom energijom je blizu nule. Međutim može doći do određenih potreba za energijom ako su prozori ili vrata motorizirani. Nadalje, strategija prirodne ventilacije podrazumijeva niske troškove, manji prostor i lakše održavanje. Implementacijom prirodne ventilacije mogu se smanjiti ukupni troškovi energije za 10%. Međutim strategija prirodne ventilacije ima neke nedostatke. Nisu implementirani nikakvi mehanički dijelovi. Dakle, postoji nedostatak filtriranja zraka i povrata topline. Kvaliteta dovedenog zraka je promjenjiva, kako u smisli onečišćenja tako i temperature. Nadalje, prirodna ventilacija je strategija s nestabilnom učinkovitošću. Učinkovitost ima izravnu vezu s ambijentalnim okruženjem. Velika temperaturna razlika između unutarnje i vanjske temperature uzrokuje veliki protok zraka. Međutim, ako unutarnja temperatura zgrade je blizu temperature okoline dok nema vjetra neće doći do prirodne ventilacije. Štoviše, prirodna ventilacija može dovesti do pogoršanja kvalitete života unutar zatvorenog prostora. Zbog otvora može se stvarati propuh, a isto tako buka može predstavljati problem [14].

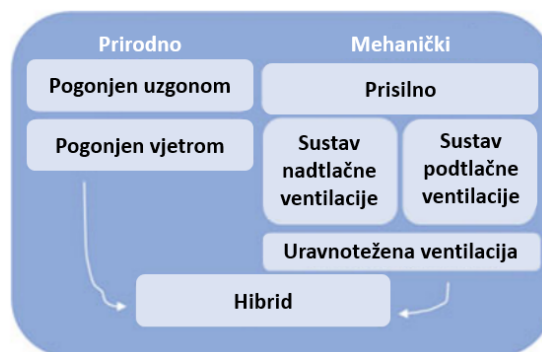
#### **Mehanička ventilacija**

Strategija mehaničke ventilacije primjenjuje mehaničke ventilatore za provod zraka kroz zgradu prisiljavanjem zraka na dovod ili izvlačenje iz određene zone. Sustav mehaničke ventilacije postiže se ako ventilatori su povezani sa susjednim prostorijama kroz kanale. Forsiranje poželjne količine zraka u i izvan zgrade može zahtijevati da dovodni i odsisni ventilatori daju preko 1000

Pa svaki. Postoji nekoliko prednosti uvođenjem mehaničke ventilacije. Mehanička ventilacija osigurava mogućnost kontrole količine zraka koja se dovodi i odvodi iz zgrade. Osim ugradnje filtera, mehanička ventilacija koja ovisi o potražnji osigurava ugodan boravak u zatvorenom prostoru kada je dimenzionirana ispravno. Rekuperacija topline može se instalirati s mehaničkim sustavom ventilacije tako da se toplota iz ispušnog zraka iskoristi. Takva rekuperacija topline može minimizirati potrebu za zagrijavanje dovodnog zraka te na taj način smanjiti potrebnu toplinsku energiju. Sustav mehaničke ventilacije zahtijeva energiju za rad, što je jedan od najznačajnijih nedostataka. Nadalje, potreba za energijom takvog sustava brzo raste kada postoji potreba za hlađenjem u zgradi. Sustav mehaničke ventilacije zahtijeva instalaciju i održavanje, što može dovesti do povećanja troškova. Može se čuti buka ventilatora, koja bi smanjila kvalitetu boravka u zatvorenom prostoru [14].

### Hibridna ventilacija

Strategija hibridne ventilacije koristi prirodne i mehaničke sile s namjerom smanjenja korištenja energije. Stoga hibridni sustav ventilacije je energetska učinkovita kombinacija prirodne i mehaničke ventilacije. Hibridna ventilacija predstavlja mogućnost pružanja prihvatljivog unutarnjeg okruženja uz energetska učinkovit način. Takav sustav ventilacije ima za cilj osigurati ugodno unutarnje okruženje maksimalno iskorištavajući okolne uvjete u svakom trenutku. Zgrada može koristiti hibridnu ventilaciju unutar tri različite kategorije. Prirodna ventilacija se može potpomoći mehaničkim ventilatorima, što je poznato kao prirodna ventilacija potpomognuta ventilatorom. Mehanička ventilacija može koristiti prirodne sile, kao što je uzgon, kako bi se osigurala ventilacija cijele zgrade. To se naziva mehanička ventilacija uz potporu prirodnih sila. Treća kategorija je mješovita ventilacija. Mješoviti način ventilacije podrazumijeva hibridni ventilacijski sustav gdje je potreba za energijom i gdje su operativni troškovi svedeni na minimum uz optimizirano korištenje prirodne i mehaničke ventilacije [14].



Slika 3.5.1. Principi ventilacije zgrada [15].

### 3.6. Sustavi grijanja

U Europskoj Uniji toplina je dominantan oblik potrebne energije građevine. Više od 50% konačne potražnji za energijom u EU je u obliku topline i više od 80% topline je na temperaturama nižim od 250°C. U zgradama, toplina je potrebna za grijanje prostora, grijanje potrošne tople vode, klimatizaciju, za hlađenje prostora kada hladnoću proizvode sorpcijski sustavi pokretani topline i u malim količinama za kuhanje. Generatori topline su uređaji koji pretvaraju unutarnju energiju nositelja energije i izmjenjuju toplinu s fluidom za prijenos topline s najvećom energetske učinkovitosti i najmanjim mogućim utjecajem na okoliš. Sustavi grijanja u zgradama koriste se za osiguravanje potrebe za topline kako bi se ostvarila udobnost unutar zatvorenog prostora uz najveću moguću energetske učinkovitost. U bilo kojem sustavu grijanja, jedan ili nekoliko generatora topline je instalirano. Osim tehničkih pitanja, odabir generatora topline temelji se na:

- Dostupnost i cijena energenata,
- Nacionalni ili lokalni propisi u skladu s utjecajima na okoliš,
- Zahtjevi u pogledu udjela obnovljivih izvora energije za rad zgrade; ovaj kriterij je posebno važan za nZEB.

#### Peći i kotlovi na biomasu

Lokalni generatori topline u obliku otvorenih kamina i peći na ugljen ili drvo su se stoljećima koristili kao generator topline u zgradama. Otvorena ognjišta imaju nisku toplinsku učinkovitost (ispod 50%) i može uzrokovati nisku kvalitetu zraka u zatvorenim prostorima, pošto kisik za izgaranje se uzima izravno iz prostora gdje se boravi. U mnogim zemljama, posebno u urbanim regijama s nikom kvalitetom vanjskog zraka, takvi generatori topline nisu dopušteni za trajno grijanje zbog visokih emisija ugljikovog oksida (CO) i čvrstih čestica. Peći na biomasu sa zatvorenim ložištima i peći od glinene opeke s visokom toplinskom masom prilično su uobičajene za grijanje usred sezone u niskoenergetskim građevinama. Glavni razlozi su to što je biomasa obnovljivi izvor energije, takva goriva se mogu proizvoditi lokalno i tretiraju se kao goriva bez emisije CO<sub>2</sub>. Kako bi se izbjeglo smanjenje kvalitete zraka u zatvorenom prostoru, moderne peći na biomasu moraju biti opremljene vanjskim zrakom (za izgaranje). Ulaznu cijev promjera najmanje 80mm i koristiti ventilator za osiguravanje i kontrolu dovoda zraka za izgaranje i odvod dimnih plinova. Ovo poboljšava toplinsku učinkovitost (preko 90%) i značajno smanjuje emisiju onečišćujućih tvari. Danas moderni uređaji koriste gotova drvna goriva, poput peleta i naprednih mehaničkih uređaja i upravljačkih jedinica za postizanje visoke toplinske učinkovitosti, niske emisije štetnih tvari i laganu uporabu. Na slici 3.6.1. prikazana je peć na pelete s malim

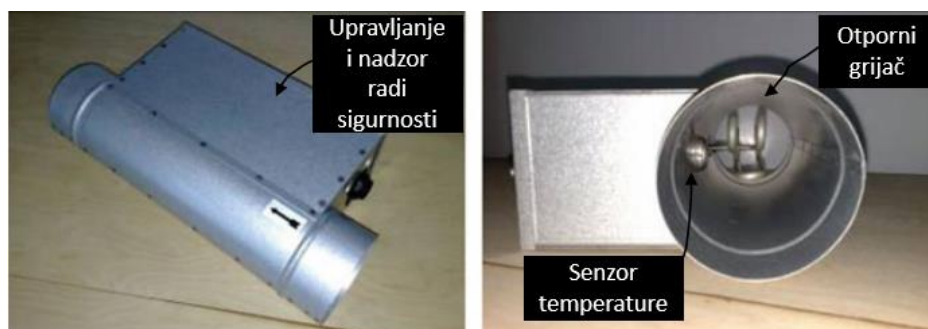
spremnikom za pelete (20kg) koji je integriran u peć kako bi se omogućilo konstantno grijanje za dan ili dva. Također su integrirani mehanički transportni sustav za gorivo, električni grijač za paljenje vatre i ventilator zraka za izgaranje kako bi se omogućila opskrba topline na zahtjev. Peći na biomasu imaju toplinsku snagu u rasponu od nekoliko kW<sub>t</sub> do nekoliko desetaka kW<sub>t</sub>, imaju toplinsku učinkovitost do 94% i mogu se daljinsko upravljati [15].



Slika 3.6.1 Peć na pelete [15].

### Električne grijalice

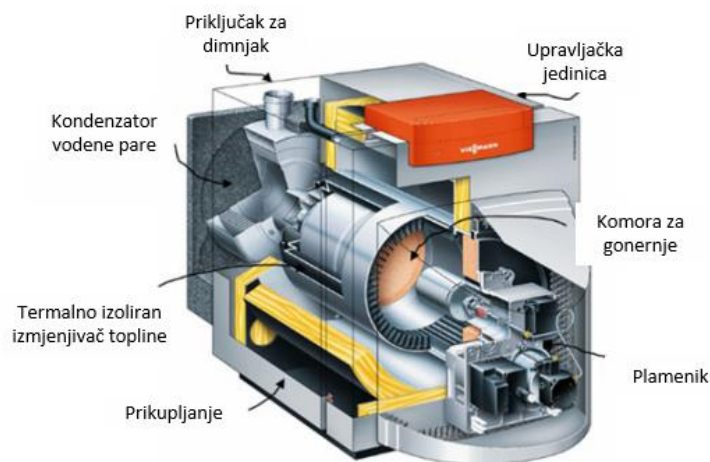
Zbog visoke emisije onečišćujućih tvari i velike primarne energije potrebne za proizvodnju električne energije, električni grijači se ne smatraju prikladnim za trajno grijanje u niskoenergetskim zgradama. Unatoč tome, ako je potreba za toplinom izuzetno niska mogu se razmotriti električni grijači. Električni otporni grijači (također se nazivaju Joule grijači ili omski grijači), koji imaju toplinsku snagu proporcionalnu njihovom električnom otporu i kvadratu električne struje se obično koriste. Takvi grijači mogu biti u obliku ugrađene grijaće folije ili integrirani u mehanički sustav ventilacije koji omogućuje grijanje toplim zrakom[15].



Slika 3.6.2. Električni otporni grijač integriran u sustav mehaničke ventilacije [15].

## Kotlovi za izgaranje

Kada se koriste fosilna goriva ili biomasa, kotlovi za izgaranje najčešći su izbor kao generator topline u sustavima centralnog grijanja. Kotao za izgaranje sastoji se od plamenika koji osigurava odgovarajuću mješavinu goriva i zraka za izgaranje, paljenje smjese, komoru za gorenje u kojoj se stvara toplina, toplinski izoliran izmjenjivač topline gdje se toplina predaje mediju za prijenos topline, priključak na dimnjak za odvod dimnih plinova i upravljačka jedinica. Osiguran je zrak za izgaranje kroz ventilacijsku rešetku u vanjskom zidu kotlovnice ili dovodom zraka preko cijevi koja je spojena na kotao. Najbolje dostupne tehnologije imaju dodatan izmjenjivač topline za kondenzaciju vodene pare sadržane u dimnim plinovima za korištenje latentne topline. Na slici 3.6.3. mogu se vidjeti glavni elementi kondenzatnog kotla na lož ulje [15].

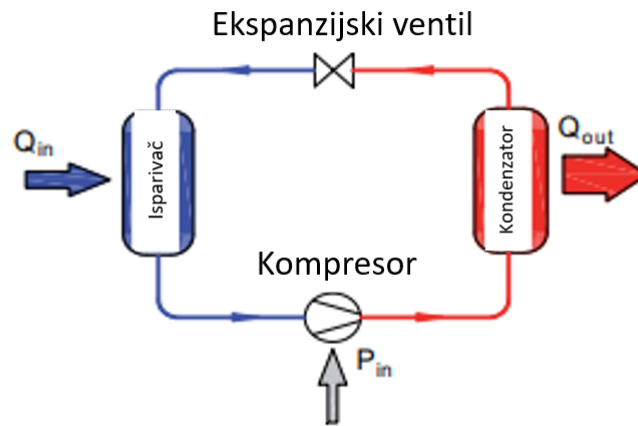


Slika 3.6.3 Glavni elementi kondenzatnog kotla na lož ulje [15]

## Dizalica topline

Dizalice topline su uređaji koji prenose toplinu s jednog mjesta na drugo. Dizalica topline može prenositi toplinu iz okoline s niskom temperaturom u zgradu s višom temperaturom. Teorija dizalice topline temelji se na drugom zakonu termodinamike koji kaže da toplina prelazi s tijela više temperature na tijelo niže temperature. To znači ako se kolektor za prijenos topline održava na nižoj temperaturi od njegove okoline, upijat će toplinu iz okoline. Ciklus koji je u suprotnom smjeru od kazaljke na satu prenosi toplinu s mjesta niže temperature na mjesto gdje je razina temperature veća. Sustav kompresijske dizalice topline radi na principu termodinamičkog ciklusa. Kao mehanički uređaj, dizalica topline može osigurati energiju za grijanje ili hlađenje prostora. Temeljni princip dizalice topline je ovisnost tlaka i temperature vrenja tekućine. Kao što znamo, u ciklusu suprotnom od kazaljke na satu apsorpcija topline mora se dogoditi pri nižoj temperaturi,

a emisija topline pri višoj temperatura. Da bi se to omogućilo, tlak se mora smanjiti tako da bi temperatura isparavanja bila niža od temperature izvora topline, a zatim se podiže do razine kod koje je temperatura vrenja iznad temperature okoline [16].



Slika 3.6.4 Tok energije u sustavu dizalice topline [16].

Učinkovitost dizalice topline definirana je omjerom izlazne topline ( $Q_{out}$ ) i isporučenom energijom za rad dizalice topline ( $W_{HP}$ ) na unaprijed definiranoj konstanti režima rada (pri konstantnoj temperaturi izvora topline, konstantnoj temperaturi odvodnika topline i stalnoj brzini uklanjanja topline) taj omjer naziva se koeficijent učinkovitosti dizalice topline (coefficient of performance of heat pump-COP<sub>HP</sub>) [15].

$$COP_{HP} = \frac{Q_{out}}{W_{HP}} \quad (2-1)$$

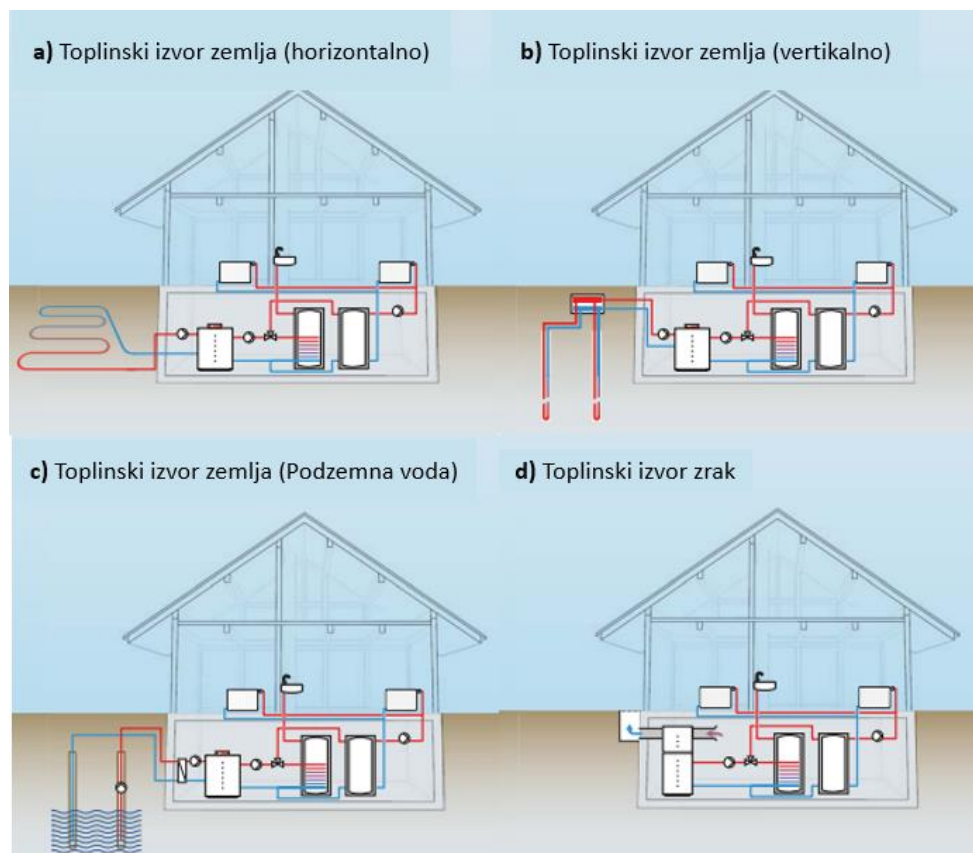
Vrijednost COP-a je znatno veća od 1, što znači da je količina topline predana distribucijskom sustavu veća od energije potrebne za rad (koju plaća korisnik). Razlika u ravnoteži energije se osigurava iskorištavanjem obnovljive ili otpadne topline iz okoliša, ambijentalnog zraka, tla, podzemnih ili površinskih voda. U većini slučajeva, električni motor pokreće kompresor. U ograničenom broju slučajeva, motor s unutarnjim izgaranjem pokreće kompresor. Prirodni plin se obično koristi u ovom slučaju umjesto električne energije. Kako motori s unutarnjim izgaranjem imaju nisku učinkovitost, dizalica topline koja koristi takav motor ima COP od čak 1,2-1,5 [15].

Dizalica topline obično crpi energiju iz okoliša. Zrak, podzemna voda, zemlja ili riječna voda su uobičajeni toplinski izvori energije. Visoka i konstantna temperatura toplinskog izvora ključna je



za visoku učinkovitost. Temperatura ne smije previše pasti zimi, kada se mora osigurati najveća snaga grijanja. Za podzemne vode i tlo, izmjenjivači topline moraju biti vrlo veliki kako vi se izbjeglo lokalno pothlađivanje. Pri izboru toplinskog izvora, faktori kao što su troškovi ulaganja, učinkovitost, dostupnost i dobivanje dozvole moraju se međusobno odvagati. Korištenje otpadne topline kao što je ispušni zrak ili rashladne vode posebno je isplativo [17].

Dizalice topline mogu se kategorizirati prema izvoru topline i mediju za prijenos topline koji se koristi u sustavu distribucije topline. Sustav toplinske pumpe zrak-voda izvlači toplinu iz vanjskog zraka koji puše preko isparivača. Instalacije je jednostavnije nego za dizalicu topline kojoj je izvor tlo ili voda. Dizalice topline kojima je izvor topline zemlja koriste isparivač koji je povezan sa sustavom cijevi koje se nalaze u tlu. Takve dizalice koriste petlje cijevi koje povezano zajedno čine zatvoreni sustav. Cijevi mogu biti postavljene vodoravno ili okomito u zemlju. Temperatura tla manje varira tijekom godine od temperature zraka, što znači veću učinkovitost grijanja zimi i veću učinkovitost hlađenja ljeti. Prema europskom zakonodavstvu, da bi toplina bila obnovljiva, mora se crpiti iz zraka, zemlje ili iz površinskih voda, kao što su rijeke, jezera i mora [18].



Slika 3.6.5. a) Toplinski izvor zemlja (horizontalno postavljene cijevi), b) Toplinski izvor zemlja (vertikalno postavljene cijevi), c) toplinski izvor zemlja (podzemna voda), d) toplinski izvor zrak. [19].



## Solarni termalni kolektori

Solarni toplinski kolektori su uređaji koji sunčevo zračenje pretvaraju u toplinu i prenose toplinu pomoću tekućina za prijenos topline. Prijenosna tekućina može biti voda, mješavina vode i antifriz, visoko toplinski otporno ulje ili zrak. Solarni termalni kolektori koji koriste zrak se uglavnom koriste u otvorenim solarnim termalnim sustavima. U takvim sustavima okolni zrak ulazi u solarne kolektore, zagrijava se i ulazi u zgrade kao prethodno zagrijani ventilacijski zrak. Sušenje usjeva je druga primjena solarnih termalnih kolektora na zrak. Za grijanje prostora i grijanje potrošne tople vode, solarni toplinski kolektori koji koriste tekućinu prevladavaju. Tekućina za prijenos topline koja cirkulira u zatvorenoj petlji između solarnih kolektora i spremnika topline pokreće se toplinskim uzgonom (u termosifonskim sustavima) ili pumpom [15].

Solarni termalni kolektori u osnovi se razlikuju po tome mogli li pratiti kretanje sunca ili su stacionarni. Stacionarni kolektori se koriste u većini slučajeva kada se govori o njihovoj primjeni na zgradama ili kućama. Stacionarni kolektori su trajno fiksirani na mjestu i ne prate sunce. Tri vrste kolektora spadaju u ovu kategoriju:

1. Pločasti kolektori - Tipični solarni kolektor s ravnom pločom prikazan je na slici 3.6.6. Kada sunčevo zračenje prolazi kroz prozirni pokrov i udara u pocrnjelu površinu apsorbera, velik dio ove energije se apsorbira u ploču i zatim prenosi u transportni medij koji se nalazi u cijevima, taj medij ukoliko je odmah potreban se koristi ili se skladišti za kasniju uporabu. Donja strana apsorberajuće ploče i bočna strana kućišta su dobro izolirani kako bi se smanjili gubici vodljivosti. Cijevi za tekućinu spojene su na oba kraja sabirnim cijevima većeg promjera. Prozirni poklopac se koristi za smanjenje gubitka konvekcije stvaranjem zračnog sloja između apsorberajuće ploče i stakla. Također smanjuje gubitke zračenja iz kolektora. Orijentacija kolektora bi trebala biti prema jugu, a optimalan kut nagiba kolektora jednak je geografskoj širini mjesta [20].



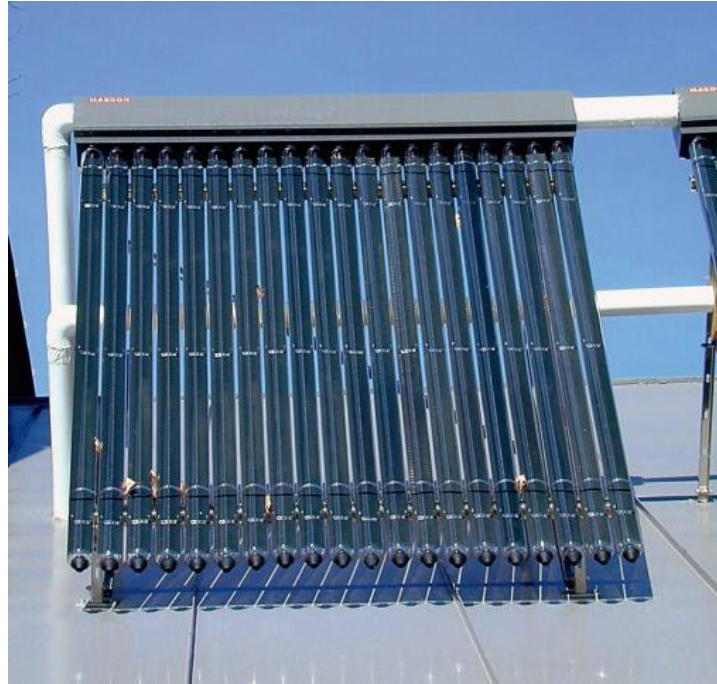
Slika 3.6.6. Pločasti kolektor [21].

2. Parabolični kolektori - Sastoji se od reflektirajuće površine koja podsjeća na parabolični oblik. Ova reflektirajuća površina uglavnom je napravljena od reflektirajućih zrcala ili eloksiranog aluminijsa. Sunčevo zračenje koje pada na reflektirajuću površinu koncentrira se na žarišnu liniju na kojoj je smještena prijemna cijev koja nosi tekućinu za prijenos topline. Cijev apsorbera je obojena u crno ili galvanizirana niklom ili kromom kako bi se povećala apsorpcija cijevi. Temperatura u ovom tipu sustava može doseći čak  $400^{\circ}\text{C}$  ovisno o vrsti reflektirajuće površine, materijalu apsorberske cijevi i vrsti tekućine za prijenos topline. Na slici 3.6.7 prikazan je primjer paraboličnog kolektora [22].



Slika 3.6.7. Polje od 20 paraboličnih kolektora [23].

3. Vakuumske cijevne kolektori - mogu postići temperature iznad  $200^{\circ}\text{C}$ . Tipični kolektor prikazan je na slici 3.6.8. Vakuumske cijevne kolektori su obično dizajnirani s paralelnim redovima staklenih cijevi, pri čemu svaka unutarnja staklena cijev sadrži metalnu toplinsku cijev pričvršćenu na peraju apsorbera. Zrak između dviju staklenih cijevi je uklonjen kako bi se stvorio vakuum, što smanjuje kondukcijske i konvekcijske gubitke topline. Tekućina za prijenos topline unutar toplinske cijevi isparava i diže se na kondenzator koji se nalazi u gornjem dijelu toplinske cijevi. Toplina se tada prenosi na vodu koja teče kroz razvodnik i kondenzira se, zatim tekućina tone na dno toplinske cijevi gdje se ciklus ponavlja [21].



Slika 3.6.8. Vakumski cijevni kolektor [21].

#### **4. TEHNOLOGIJE OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE**

Na razini zajednice decentralizirana proizvodnja električne energije je zanimljiva jer su manje jedinice fleksibilnije za proizvodnju električne energije unatoč činjenici da za pretvorbu energije koriste nestabilni prirodni izvori koji u kratkom vremenskom razdoblju značajno variraju. U velikoj mjeri, proizvodnja električne energije na licu mjesta bit će povezana i kontrolirana pametnim mrežama. Decentralne jedinice uglavnom grade privatni investitori, stoga se javni novac puno racionalnije troši samo za dugoročne subvencije. Za planere zgrada, proizvodnja električne energije na licu mjesta je zanimljiva jer u državama članicama EU takav sustav se može priključiti na javnu mrežu i omogućiti izvoz viška električne energije. Na taj način primarna energija potrebna za rad zgrade bit će značajno smanjena ( budući da će neobnovljiva električna energija biti zamijenjena obnovljivom električnom energijom) te se očekuje da bi se kriteriji za nZEB mogli lakše ispuniti usvajanjem proizvodnje električne energije na licu mjesta [15].

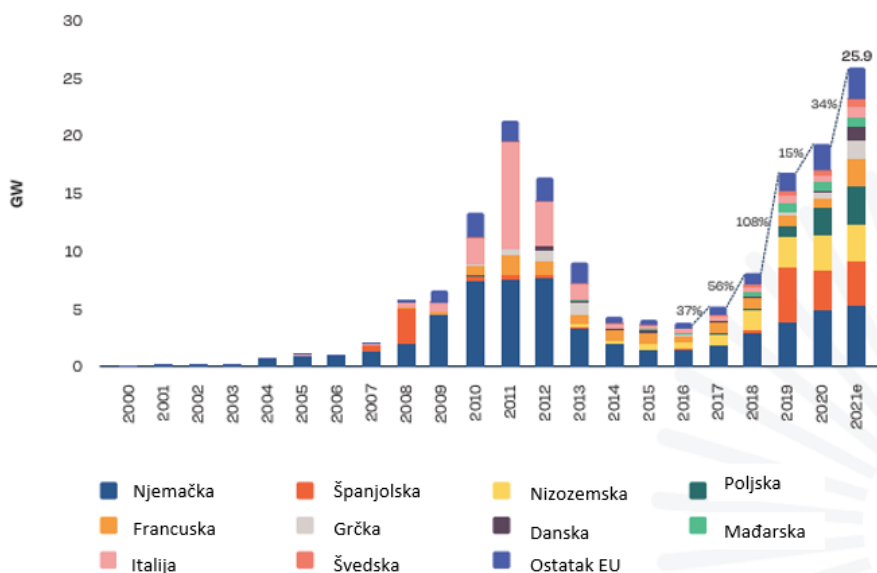
Tehnologije integrirane u zgradu za proizvodnju električne energije na licu mjesta :

- fotonaponski sustavi,
- mala kogeneracija,
- male vjetroturbine,
- gorive ćelije.

## 4.1. Fotonaponski sustavi

Fotonaponski sustav (FN) za decentraliziranu proizvodnju električne energije vjerojatno najviše ima koristi od direktive o „zelenoj struju“. Prema EUROSTAT-u, instalirana snaga FN sustava u EU krajem 2020. godine iznosila je 141GW i 5,3% od ukupne proizvodnje, 2664TWh proizvedeno je fotonaponskim sustavima u EU [24]. Fotonaponski sustavi se sastoje od velikog broja solarnih ćelija okupljenih u solarne ploče ili module kako bi omogućili izravnu pretvorbu sunčeve energije u električnu. Postoje nekoliko vrsta solarnih ćelija, ali uglavnom su izgrađene od silicija, vrlo uobičajenog elementa. Bez obzira na relativno nisku učinkovitost fotonaponskih sustava, smanjenje troškova u prethodnim desetljećima, prihvaćanjem programa potpore EU i činjenica da površine pročelja i krovova u zgradama su u većini slučajeva dovoljno velike za samostalnu opskrbu električnom energijom rezultirale su značajnim povećanjem instaliranih kapaciteta FN sustava integriranih u zgradama. Na slici 4.1.1. može se vidjeti godišnji instalirani kapacitet FN sustava od 2000. godine do 2021. godine.

Godišnji instalirani kapacitet FN sustava 2000-2021



Slika 3.1.1. Godišnji instalirani kapacitet FN sustava 2000-2021 [25].

Pretvorba sunčeve energije u električnu odvija se u poluvodičkom uređaju koji se naziva solarna ćelija. Da bi se solarna električna energija mogla koristiti za praktične uređaje, koji zahtijevaju određen napon ili struju za njihov rad, određeni broj solarnih ćelija mora biti spojen zajedno kako bi formulirali solarni panel, koji se također naziva FN modul. Za veliku proizvodnju električne

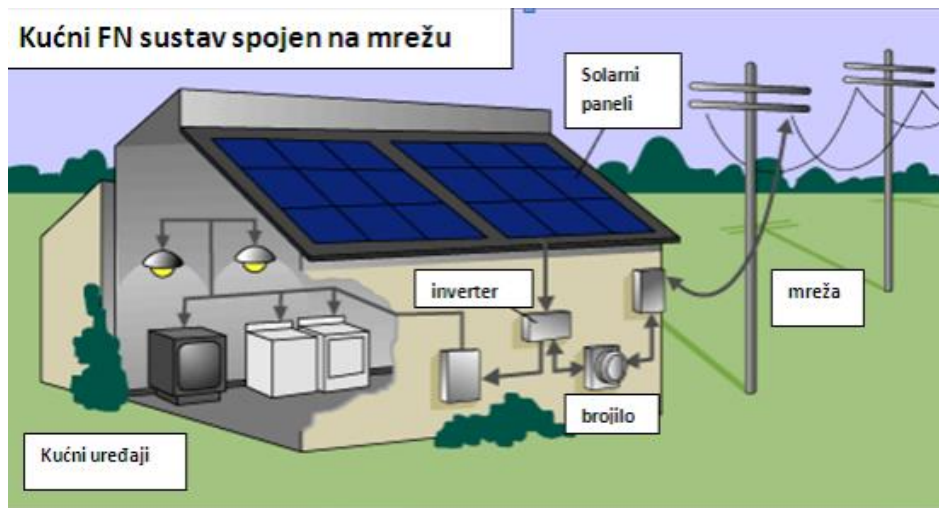
energije FN moduli moraju biti povezani zajedno te tako tvoriti solarna polja. Solarni paneli su samo dio cjelovitog FN sustava. Solarni moduli su srce sustava i obično se nazivaju generatori električne energije. Također potrebne su i montažne konstrukcije na koje se pričvršćuju FN moduli i usmjeravaju prema suncu. Za FN sustav koji mora raditi noću ili tijekom razdoblja lošeg vremena, potrebno je skladištenje energije. Za skladištenje električne energije koriste se baterije. Izlazna snaga FN modula ovisi o intenzitetu sunčeve svjetlosti i temperaturi ćelije, zbog variranja izlazne snage potreban je regulator. Za aplikacije koje zahtijevaju izmjeničnu struju koriste se izmjenjivači koji pretvaraju istosmjernu struju u izmjeničnu. Konačno, kućanski aparati, kao što su radio, TV ili svjetla, odnosno oprema koja se napaja iz FN sustava naziva se električnim opterećenjem (trošila). Elementi su prikazani na slici 4.1.2 [26].

Na temelju dostupnosti prostora i kapitala, solarna energija može se generirati izvan lokacije na razini usluge ili na licu mjesta u malom opsegu. Obje vrste mehanizma generiranja vođene su vlastitim pravilima i okvirima politike [27].

Razvoj solarnih projekata na razini usluge - To su necentralizirane solarne elektrane velikih razmjera koje proizvode električnu energiju za prodaju elektroprivrednim poduzećima. Ova postrojenja zahtijevaju velike površine zemlje i značajan kapital. Ova postrojenja obično imaju dugoročan ugovor o kupnji električne energije s elektroprivredom i obično služe za ispunjavanje njihovih obaveza za kupnju električne energije iz obnovljivih izvora.

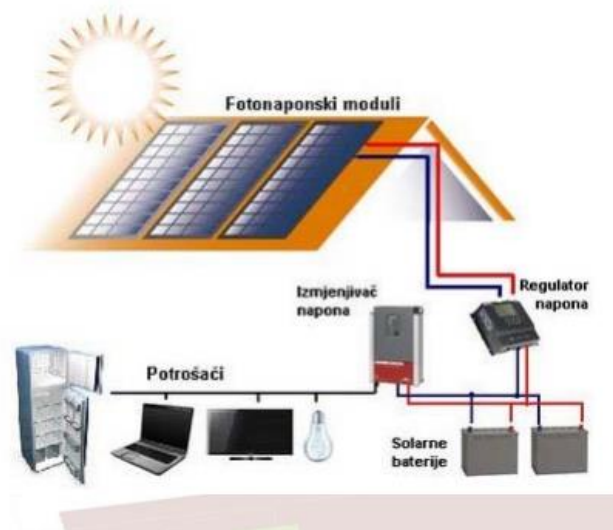
Razvojni solarni projekt usmjeren prema korisniku - To su male decentralizirane solarne elektrane koje instaliraju potrošači električne energije za vlastite potrebe. Ova vrsta projekata zahtjeva manje prostora i kapitalnih ulaganja. Ovi sustavi se dijele na dva dijela:

- Sustavi povezani s mrežom - FN sustavi povezani s mrežom dizajnirani su za rad u kombinaciji s električnom mrežom. Takvi sustavi mogu isporučivati cjelokupnu proizvedenu električnu energiju u mrežu ili mogu koristiti električnu energiju za potrebe zgrade i isporučivati samo višak energije u mrežu (Slika 4.1.2).



Slika 4.1.2. Sustavi povezani s mrežom [28].

- Samostalni sustavi – samostalni fotonaponski sustavi projektirani su za rad unutar konteksta zgrade i nisu spojeni na mrežu. Proizvedenu električnu energiju troši zgrada, a višak proizvedene energije može se pohraniti u baterije za buduće potrebe (Slika 4.1.3).



Slika 3.1.3. Samostalni fotonaponski sustav [28].

#### 4.1.1. FN ćelija

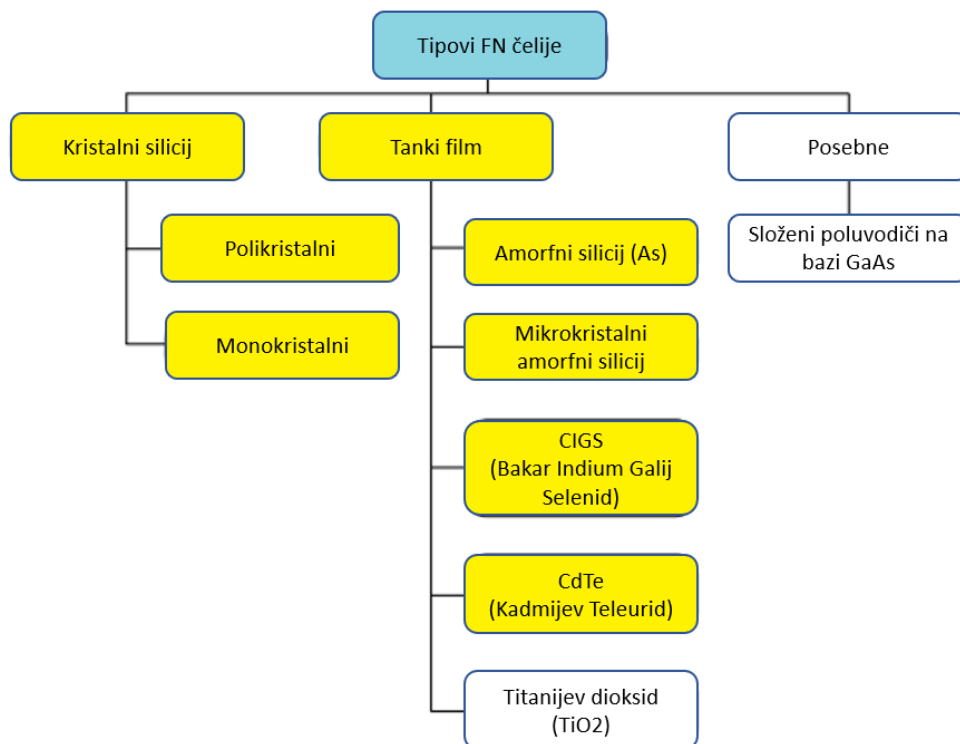
Solarne ćelije su uređaji u kojima sunčeva svjetlost oslobađa električne naboje kako bi se mogli slobodno kretati u poluvodičima i na kraju prolaziti kroz električno opterećenje, kao što je žarulja ili motor. Fenomen stvaranja napona i struja na ovaj način poznat je kao fotonaponski efekt. Gorivo za solarne ćelije je sunčeva svjetlost. Sunčeva svjetlost je besplatna i ima je u izobilju. Intenzitet sunčeve svjetlosti na površini zemlje je oko  $1000\text{W/m}^2$ , te se razlikuje od mjesta do mjesta. Stoga površina koju zauzimaju ćelije u fotonaponskom elektroenergetskom sustavu može biti relativno



velika, a njezin se trošak mora uzeti u obzir pri izračunu troškova proizvedene električne energije. Primarni čimbenik koji određuje hoće li se solarne ćelije koristiti za opskrbu električnom energijom je trošak po jedinici izlazne snage, u odnosu na alternativne izvore energije, nabave, instaliranja i rada fotonaponskog sustava [29].

Fotonaponske ćelije izgrađene su od poluvodičkih materijala osjetljivih na svjetlost koji koriste fotone za pomicanje elektrona kako bi proizveli električnu energiju. Postoje dvije široke kategorije tehnologija koje se koriste za fotonaponske ćelije, a to su kristalni silicij koji se najčešće koristi i tanki film koji je noviji i postaje sve popularniji. Na slici 4.1.1.1. prikazan je pregled svih tehnologija koje su dostupne, a slika 4.1.1.2. ilustrira neke od tih tehnologija.

Kristalne ćelije izgrađene su od ultra čistog sirovog silicija poput onih koji se koriste u poluvodičkim čipovima. Oni koriste silikonske pločice koje su obično 150-200 mikrona debljine. Tanki film nastaje taloženjem slojeva poluvodičkog materijala od 0,3 do 2 mikrometara debljine na podlozi od stakla ili nehrđajućeg čelika. Pošto su poluvodički slojevi jako tanki, troškovi sirovina su mnogo niži od glavne opreme i troškova obrade.



Slika 4.1.1.1 Obiteljsko stablo FN tehnologija [30].



Slika 4.1.1.2 Glavne tehnologije FN modula [30].

### Učinkovitost FN ćelije

Rekordna učinkovitost laboratorijske ćelije je 26,7% za monokristalnu i 24,4% za multikristalnu tehnologiju temeljenoj na silicijskoj pločici. Najveća laboratorijska učinkovitost u tehnologiji tankog filma je 23,4% za CIGS i 21,0% za CdTe solarne ćelije. Rekordna učinkovitost laboratorijske ćelije za perovskit je 25,5%. U posljednjih 10 godina učinkovitost prosječnih komercijalnih silicijskih modula porasla je s oko 15% na 20% i više. U isto vrijeme učinkovitost CdTe modula porasla je s 9% na 19%. U laboratoriju, moduli s najboljom izvedbom temelje se na monokristalnom siliciju s učinkovitošću od 24,4%. Rekordne učinkovitosti pokazuju potencijal za daljnja povećanja učinkovitosti na razini proizvodnje. U laboratoriju, višespojne solarne ćelije visoke koncentracije postižu učinkovitost do 47,1%. S tehnologijom koncentratora postignuta je učinkovitost modula od 38,9% [31].

Učinkovitost solarne ćelije je omjer izlazne električne energije i upada sunčeve energije. Glavni čimbenici učinkovitosti solarnih ćelija su:

- Lokacija, nagib i orijentacija - Upadno sunčevo zračenje značajno varira sa zemljopisnom dužinom i orijentacijom. Unutar određene zemljopisne dužine i orijentacije, maksimalno sunčevo zračenje je pod određenim kutom nagiba na temelju sunčeve putanje.
- Prekomjerno zasjenjenje – Karakteristike mjesta kao što su geografski položaj, susjedne zgrade, samozasjenjenje, utjecaj oblaka itd. Utječu na korisno sunčevo zračenje koje pada na FN panele. Dizajn sustava bi trebao biti napravljen tako da se minimalizira područje panela na koje utječe sjenčanje.
- Temperatura – Povećanjem temperature panela zbog sunčevog zračenja može utjecati na izvedbu FN modula, posebno kod modula od kristalnog silicija. Procjenjuje se da za svakih



1°C porasta temperature okoline iznad 25 °C, učinkovitost modula opada u rasponu od 0,4-0,5%. Posebna se razmatranja pridaju projektiranju protoka zraka preko stražnjih strana FN modula kako bi se izbjegla viša temperatura zbog prekomjernih toplinskih dobitaka [27].

- Učinkovitost panela – učinkovitost panela je procjena uspješne pretvorbe upadnog sunčevog zračenja u električnu energiju. Učinkovitost panela ovisi o tehnologiji FN modula, tehnikama proizvodnje i dizajnu sustava.

#### 4.1.2. FN paneli

Nekoliko FN ćelija spojeno zajedno čine FN modul. Tanki listovi EVA (etil vinil acetata) ili PVB (polivinil butirala) koriste se za međusobno povezivanje ćelija i pruža zaštitu od vremenskih uvjeta. Moduli su obično zatvoreni prozirnim poklopcem i imaju podlogu koja je otporna na vremenske uvjete ( obično izgrađena od tankog polimera ili stakla). Moduli se mogu uokviriti za dodatnu čvrstoću i izdržljivost. Moduli su različitih veličina od nekoliko stotina cm<sup>2</sup> do nekoliko m<sup>2</sup>. U zgradama se najčešće koriste moduli veličine do 1m x 1,6m (slika 3.1.2.1) [32].



Slika 4.1.2.1 FN modul od monokristalnog silicija [33].

#### Učinkovitost FN modula

Električna snaga svakog modula deklarirana je kao „vršna električna snaga (Wp)“. To je električna snaga izmjerena u idealnim uvjetima: pri sunčevom zračenju spektralnog rasporeda AM 1,5 i gustoće 1000W/m<sup>2</sup> i temperature modula (ćelije) 25°C. Učinkovitost FN modula na optimalnoj razini definirana je jednadžbom:

$$\eta_{PV,p} = \frac{U_{MP} \cdot I_{MP}}{A_{PV} \cdot G_{PV}} \quad (3-1)$$

$$\eta_{PV,p} = \frac{FF_{(T)} \cdot U_{OC(T)} \cdot I_{SC}}{A_{PV} \cdot G_{glob,PV}} \quad (3-2)$$

$U_{MP}$  -Napon pri maksimalnoj snazi

$I_{MP}$  -Struja pri maksimalnoj snazi

$A_{PV}$  -Površina ćelije ( $m^2$ )

$G_{PV}$  – Sunčevo zračenje ( $1000W/m^2$ )

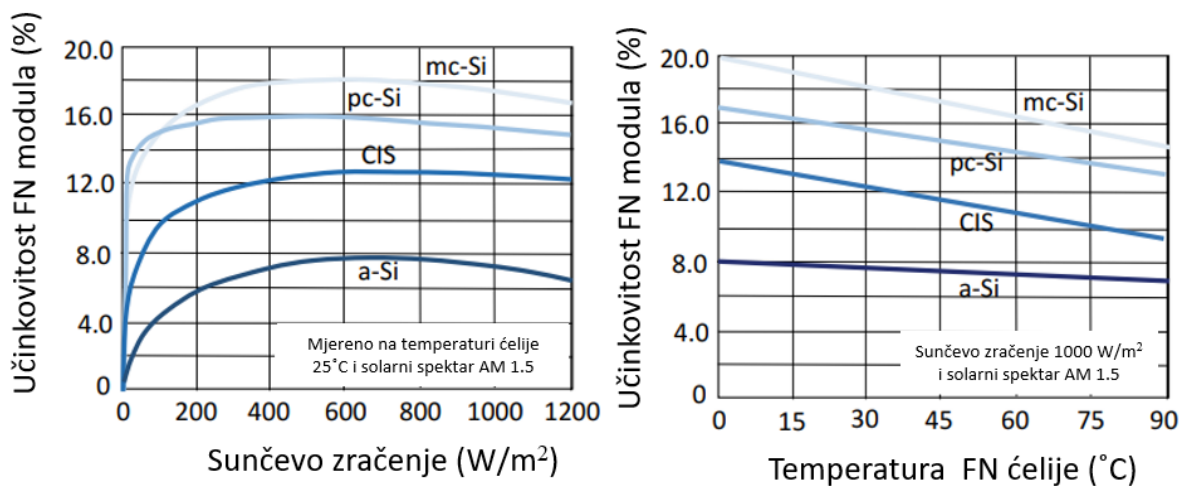
$FF_{(T)}$  – Faktor ovisan o promjeni temperature

$U_{OC(T)}$  – Ovisnost napona otvorenog kruga o temperaturi

$I_{SC}$  -Struja kratkog spoja

$G_{glob,PV}$  – Globalno sunčevo zračenje na površinu FN modula ( $W/m^2$ )

Prikazana je učinkovitost fotonaponskih modula izgrađenih od različitih tipova fotonaponskih ćelija. Na slici 4.1.2.2. može se vidjeti da se učinkovitost značajno smanjuje ako je zračenje manje od  $200W/m^2$ , bez obzira na tip PV ćelije. Također se na slici desno može vidjeti učinak povećanja temperature na učinkovitost fotonaponske ćelije, posebno u slučaju kristalne ćelije [15].



Slika 4.1.2.2 Učinkovitost BAT FN ćelija dostupnih na tržištu. [15].

### 4.1.3. Zgrade s integriranim FN sustavima

Zahtjevi za zgrade s gotovo nultom potrošnjom energije (nZEB) uključuju zahtjev da visok udio energije koja je potrebna za rad građevine se proizvodi na licu mjesta korištenjem obnovljivih izvora energije. FN sustavi jedni su od najviše obećavajućih tehnologija za ispunjenje ovog zahtjeva, posebno ako fotonaponski moduli koji su spojeni na fotonaponski sustav integrirani u ovojnicu zgrade. Takvi FN sustavi imaju prednosti u usporedbi sa samostalnim FN sustavima, kao što su:

- FN moduli mogu zamijeniti fasade i krovne konstrukcije i tako smanjiti troškove zgrade,
- FN moduli su vrlo otporni na vremenske uvjete; dakle održavanje zgrade biti će jeftinije,
- FN moduli mogu poboljšati svojstva ovojnice zgrade, smanjujući koeficijent prijenosa topline (U) i prožanje zasjenjenja velikih staklenih površina,
- FN sustavi jamče dugoročne koristi za vlasnika zbog smanjenja troškova električne energije,
- FN sustavi naglašavaju „zeleni pogled“ na zgrade,
- Izgradnja integriranih FN sustava smanjuje korištenje zemljišta potrebnog za instalaciju samostalnih FN sustava.

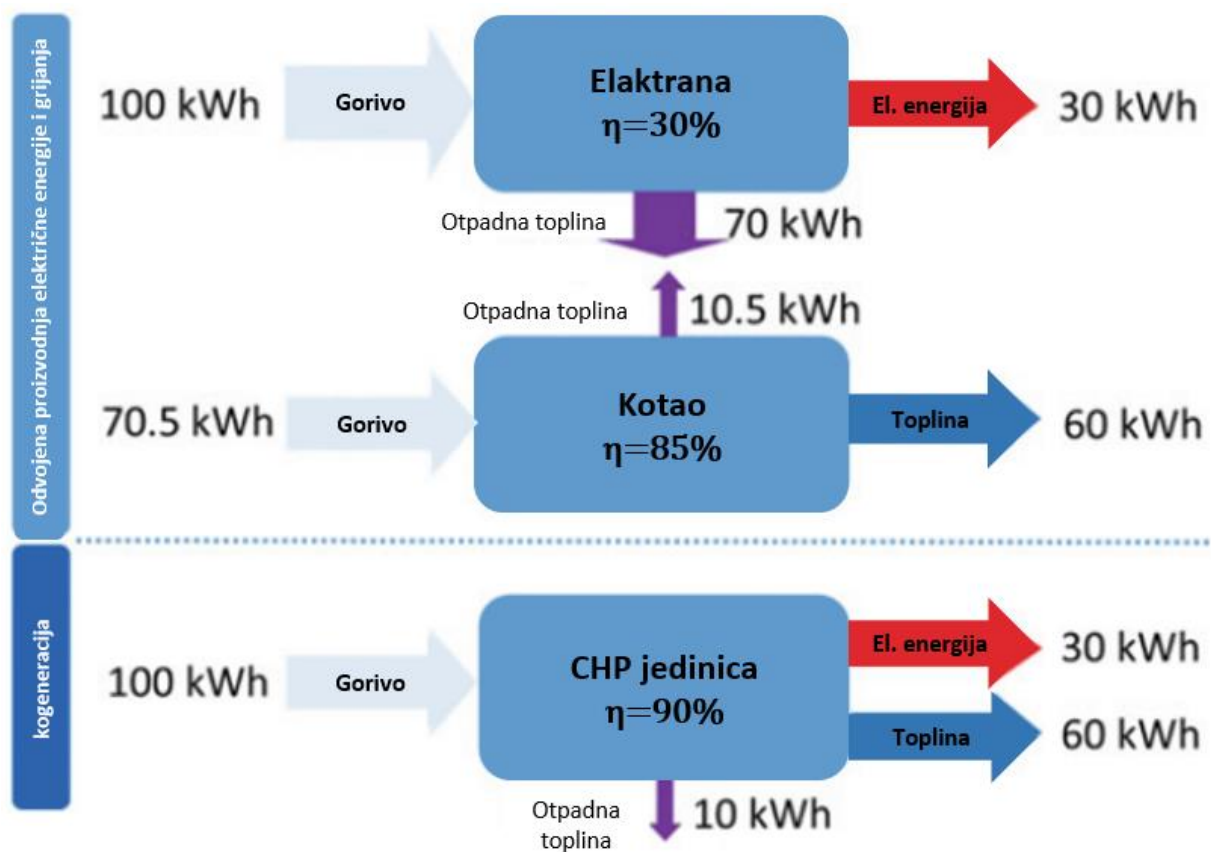
Proizvođači FN modula razvili su rješenja koja privlače dizajnere i investitore. Na primjer, FN moduli mogu biti neprozirni ili poluprozirni, a gustoća solarnih ćelija u fotonaponskim modulima može se izgraditi po želji i prilagoditi vizualni učinak, prirodno osvjetljenje ili zasjenjenje (Slika 4.1.3.1) [15].



Slika 4.1.3.1. Prikaz različitih rješenja integracije FN modula [15].

## 4.2. Male kogeneracije

U termoelektranama se velike količine topline moraju otpustiti u okoliš, a posljedično tome i učinkovitost proizvodnje električne energije u takvim elektranama je niska. Ukupna učinkovitost može se poboljšati ako se koristi otpadna toplina, na primjeni za sustave daljinskog grijanja. Takva se elektrana naziva kogeneracijsko postrojenje, te proces kombinira proizvodnju topline i električne energije (engl. Combined Heat and Power ili CHP). CHP radi učinkovito u sustavima daljinskog grijanja, gdje se proizvodnja električne energije prilagođava zahtjevima za toplinom tijekom godine. Nažalost, opskrba toplinom tijekom ljeta uzrokuje visoke (50% ili više) gubitke topline u distribucijskom sustavu. Ukupna učinkovitost kogeneracije se može poboljšati u slučaju decentralizirane blokovske kogeneracije ili mikro kombinirane toplinske ili energetske jedinice instalirane u stambenim zgradama (mCHP). U većini slučajeva, mCHP sustavi imaju snagu od nekoliko kWe do 50kWe ( Slika 4.2.1.) [15].

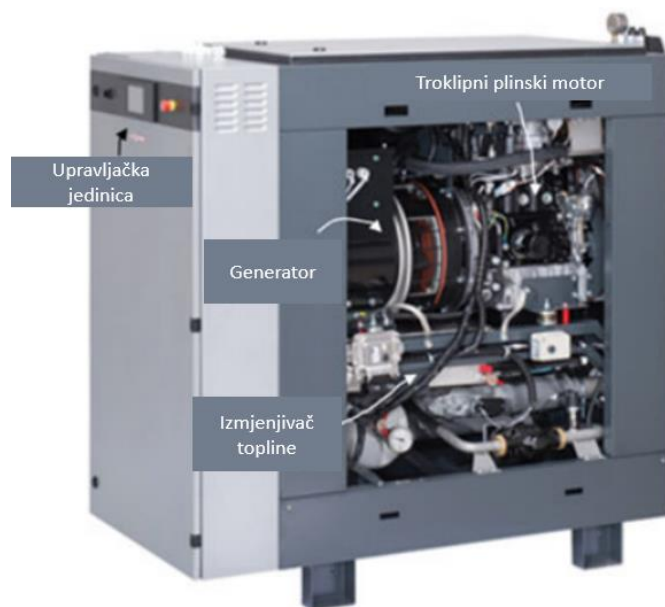


Slika 4.2.1. Prikaz učinkovitosti kogeneracije i odvojene proizvodnje [15].

Čak i ako je izvezena električna energija subvencionirana, isplativost mCHP uvelike ovisi o potrebi za toplinom iz sata u sat. U stambenim zgradama toplina je potrebna za grijanje prostora gdje se boravi, za grijanje potrošne tople vode, ali i za hlađenje kod apsorpcijskog hlađenja. U tom

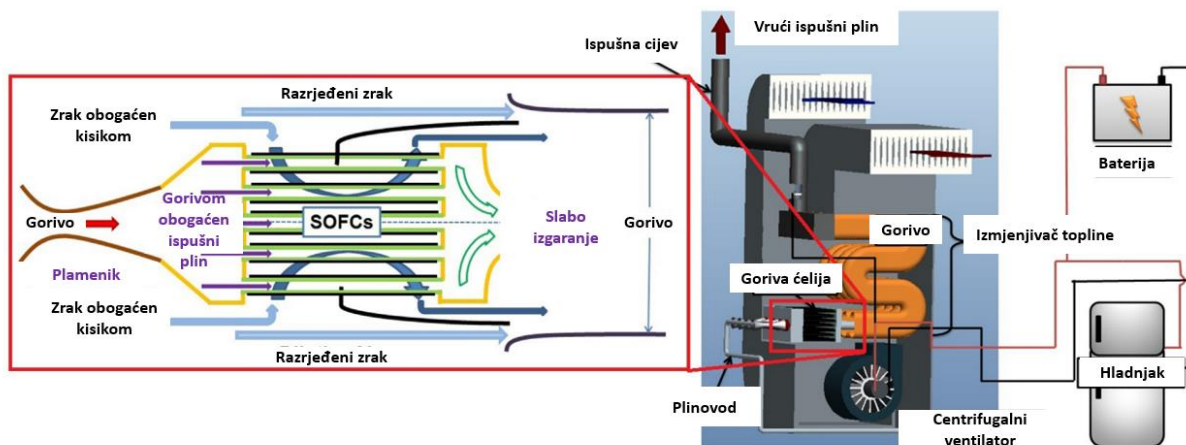
slučaju potrošnja topline tijekom godine je puno ujednačenija. Unatoč tome, mCHP jedinica treba biti u pogonu najmanje 4000h godišnje kako bi bila isplativa s toplinskom potrebom od najmanje 20.000 kWh i električnom energijom višom od 3000kWh godišnje. Nekoliko jedinica može se kombinirati kako bi se izbjegao rad kada je manja učinkovitost pri djelomičnim opterećenjima. mCHP najčešće za proizvodnju električne energije koristi prirodni plin ili biomasu kao gorivo u procesu koji se sastoji od proizvodnje topline izgaranjem i mehaničkog rada koji je potreban za pokretanje generatora električne energije. mCHP tehnologije se razlikuju uglavnom prema procesu proizvodnje mehaničkog rada pomoću:

- Motora s unutarnjim izgaranjem (ICE; Otto ili Diesel motor); prirodni plin ili LG, bioplin, biogoriva mogu se koristiti kao gorivo za pogon; ova tehnologija ima visoku učinkovitost (od 25% do 30% proizvodnje električne energije, ukupno od 85% do 95%, ako se koristi kondenzacijska tehnologija) (slika 4.2.2).



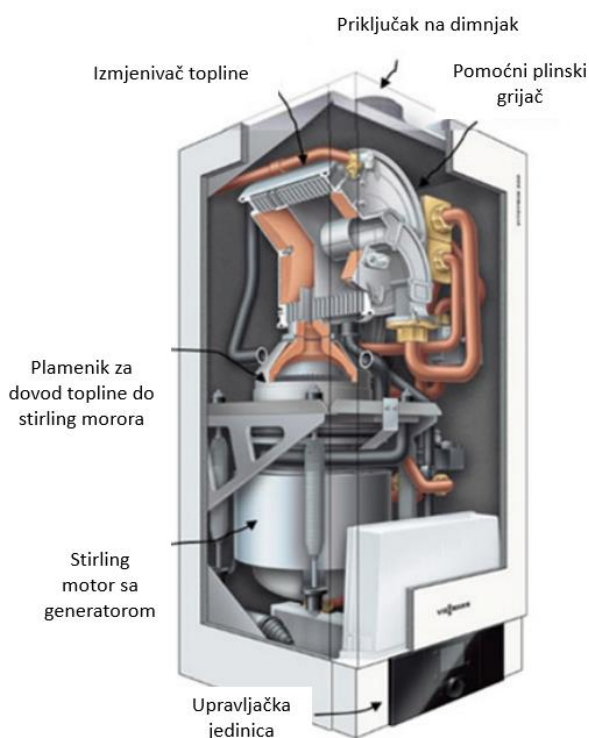
Slika 4.2.2 mCHP jedinica sa plinskim motorom [15].

- Kogeneracija pogonjena gorivim ćelijama koristi vodik za proizvodnju električne energije i topline; budući da vodikova infrastruktura još nije razvijena, reformatori koji „izvlače“ vodik iz prirodnog plina (CH<sub>4</sub>) sastavni su dio mCHP jedinica.(slika 4.2.3).



Slika 4.2.3. mCHP jedinica pogonjena sa gorivom ćelijom [34].

- Stirlingov motor; motor koji pretvara toplinu proizvedenu izgaranjem ili sunčevim zračenjem u mehanički rad; mehanički rad nastaje periodičkim širenjem i skupljanjem plina (helija) zatvorenog unutar motora; mogu se koristiti različiti izvori topline uključujući i mnoge obnovljive izvore energije (npr. biomasa, solarna energija i geotermalna energija); učinkovitost proizvodnje električne energije je od 10% do 30% i ukupna učinkovitost do 80%. (slika 4.2.4).



Slika 4.2.4. mCHP jedinica sa Stirling motorom [15].

- Mikro turbine su plinski motori električne snage 30-500kW; mikro turbine imaju manju učinkovitost u usporedbi ICE ( 25-30% za proizvodnu električne energije, ukupno do 70%), ali imaju bolju učinkovitost kod djelomičnog opterećenja, niži troškovi održavanja i manje emisije NOx, CO i ugljikovodika; CHP pokretana mikro turbinama sastoji se od generatora visoke brzine, kompresora i rotora turbine koji se nalaze na istoj rotirajućoj osovini, jedinom pokretnom dijelu u motoru; to omogućuje kompaktnu veličinu i dugotrajnu pouzdanost; jedinice s nazivnom snagom od nekoliko 100 kWe dostupne su za industrijske primjene i velike zgrade.

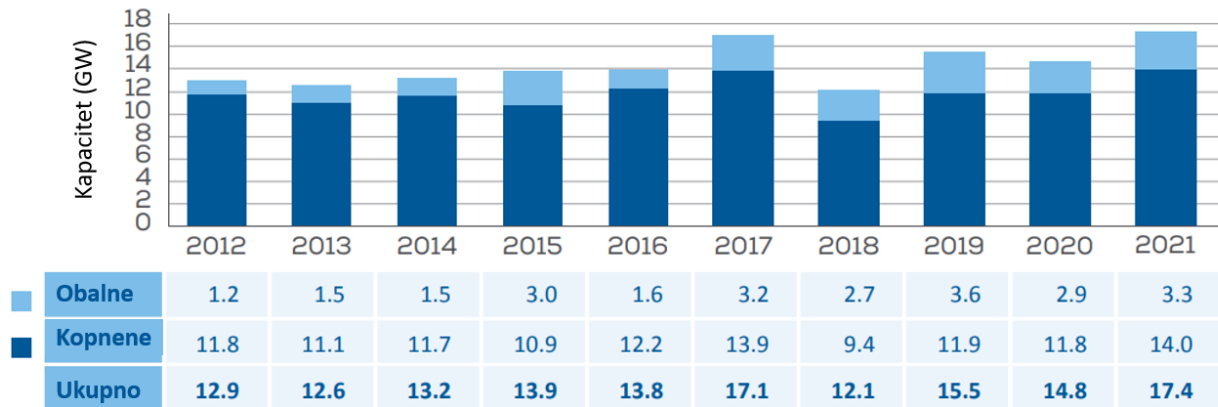
Zbog visoke ukupne učinkovitosti, mCHP proizvodi dosta niže emisije u usporedbi s običnim elektranama na fosilna goriva: najmanje četiri puta manje emisije CO<sub>2</sub> u odnosu na elektrane na ugljen i dvostruko niže emisije u usporedbi s elektranama na prirodni plin [15].

### **4.3. Vjetroturbine**

Za razliku od vjetrenjača koje se izravno koriste za obavljanje poslova poput crpljenja vode ili mljevenja žitarica, vjetro turbine se koriste za pretvaranje energije vjetra u električnu energiju. Prvu automatsku upravljaju vjetroturbinu u svijetu projektirao je i izgradio Charles Brush 1888. godine. Ova vjetroturbina bila je opremljena sa 144 lopatice od cedra s promjerom od 17 m. Generirala je vršnu snagu od 12kW za punjenje baterije koja istosmjernom strujom opskrbljuje svjetiljke i elektromotore. Kao pionirski dizajn za moderne vjetroturbine, Gadeserova vjetroturbina bila je izgrađena u Danskoj sredinom 1950-ih. Danas moderne vjetroturbine obično imaju tri lopatice koje rade pri relativno velikim brzinama vjetra s izlaznom snagom do nekoliko megavata [35].

Europa je instalirala 17,4 GW novih vjetroelektrana u 2021. godini. To je 18% više nego u 2020. godini. 11GW novih vjetroelektrana instalirano je od strane EU-27. Kopnene vjetroelektrane čine 81% sa 14 GW. Obalnih vjetroelektrana instalirano je 3,4 GW. Europske vjetroelektrane proizvele su 437 TWh električne energije u 2021. Pokrili su 15 % potrebe za električnom energijom u EU-27+UK. Ukupni instalirani kapacitet vjetroelektrana u Europi je 236GW [36].





Slika 4.3.1 Godišnje nove instalacije vjetroelektrana u Europi, 2012-21 [36].

U posljednja tri desetljeća postignut je značajan napredak u dizajnu vjetroturbina zahvaljujući napretku i razboju moderne tehnologije. Procijenjeno je da napredak u aerodinamici, strukturnoj dinamici i mikro meteorologiji može doprinijeti godišnjem povećanju od 5% kod prinosa energije vjetroturbina. Za maksimiziranje proizvodnje energije izgrađeni su različiti koncepti vjetroturbina, smanjeni su troškovi turbine, te je povećana učinkovitost i pouzdanost turbine [35].

#### 4.3.1. Učinkovitost vjetroturbine

Vjetroturbine pretvaraju kinetičku energiju zračne mase u električnu energiju. Ako je jednadžba kinetičke energije podijeljena s vremenskim diferencijalom (dt), ako je masa zraka zamijenjena s masenim protokom, uvodi se jednadžba kontinuiteta i relacija za teorijsku snagu vjetroturbine se može razviti:

$$E_{th} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \rightarrow \frac{1}{dt} \rightarrow \frac{E_{th}}{dt} = P_{th} = \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{dt} \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 (W) \quad (3-3)$$

$\frac{m}{dt}$  – protok mase zraka (kg/s)

$\rho \cdot A \cdot v$  – protok volumena zraka (m<sup>3</sup>/s)

$A$  – površina presjeka vjetroturbine (m<sup>2</sup>)

$\rho$  – gustoća zraka (kg/m<sup>3</sup>)

$v^3$  - brzina vjetra (m/s)

Može se vidjeti da će vjetroturbina isporučiti više energije na razini mora (gustoća zraka je 1225 (kg/m<sup>3</sup>)) nego na višim nadmorskim visinama (gustoća zraka pri istim uvjetima na visini od 600m

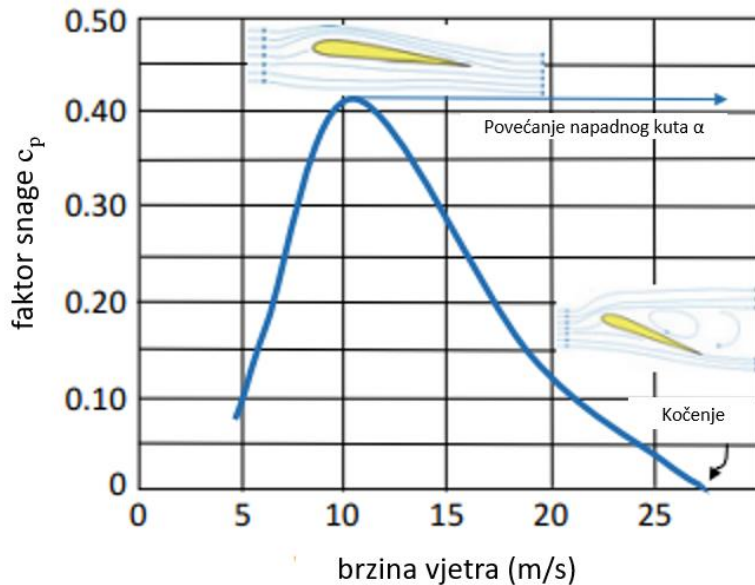


iznosi 1184 (kg/m<sup>3</sup>). U oba slučaja, snaga ovisi o kubnoj vrijednosti brzine, koji je dominantan faktor utjecaja. Sva energija vjetra se ne može transformirati u mehanički rad jer bi to značilo da bi brzina vjetra iza turbine bila nula. Minimalna teorijska vrijednost omjera kinetičke energije izlaznog zraka i ulaznog definira teoretsku maksimalnu učinkovitost vjetroturbine na otvorenom prostoru i naziva se „Betz-ov koeficijent“. Ovaj koeficijent ima vrijednost 0,597 (59,7%). U radu, učinkovitost vjetroturbine je niža zbog turbulentnog strujanja zraka i vrtloga koji se pojavljuju duž oštrica i na njihovom vrhu. BAT vjetroturbine imaju koeficijent snage  $c_p$  u rasponu između 38 i 42%, a snaga vjetroturbine definirana je jednadžbom:

$$E = \frac{1}{2} c_p \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 (W) \quad (3-4)$$

$c_p$ - koeficijent snage

Brzina vjetra mijenja se u vremenu, a time i relativna brzina  $v_r$  i napadni kut, kao što je prikazano na slici 4.3.1.1. Kako koeficijent snage  $c_p$  ovisi o trenutnom napadnom kutu, povećanje brzine zraka uzrokovat će značajno povećanje napadnog kuta i istovremeno smanjenje koeficijenta snage  $c_p$ . Pri malim brzinama vjetra,  $c_p$  je nula i samo pri brzinama većim od „cut-in brzine“ (2-4m/s) vjetroturbina počinje proizvoditi električnu energiju koja se sinkronizira sa priključnom mrežom. Kako se brzina vjetra povećava, sila uzgona koja djeluje na lopatice turbine sve je dominantnija nad silom otpora i snaga vjetroturbine se povećava kao kubna funkcija brzine vjetra dok se ne postigne nazivna snaga (pri 10-12 m/s). U tim uvjetima koeficijent snage je maksimalan. Aerodinamički profil lopatica razvijen je na način da vjetroturbina radi na nazivnoj snazi unatoč povećanoj brzini vjetra jer se smanjuje koeficijent snage  $c_p$ . Pri brzini „cut-off (25-40 m/s) vjetroturbina se zaustavlja zbog povećanog mehaničkog opterećenja i sinkronizacije s mrežom [15].

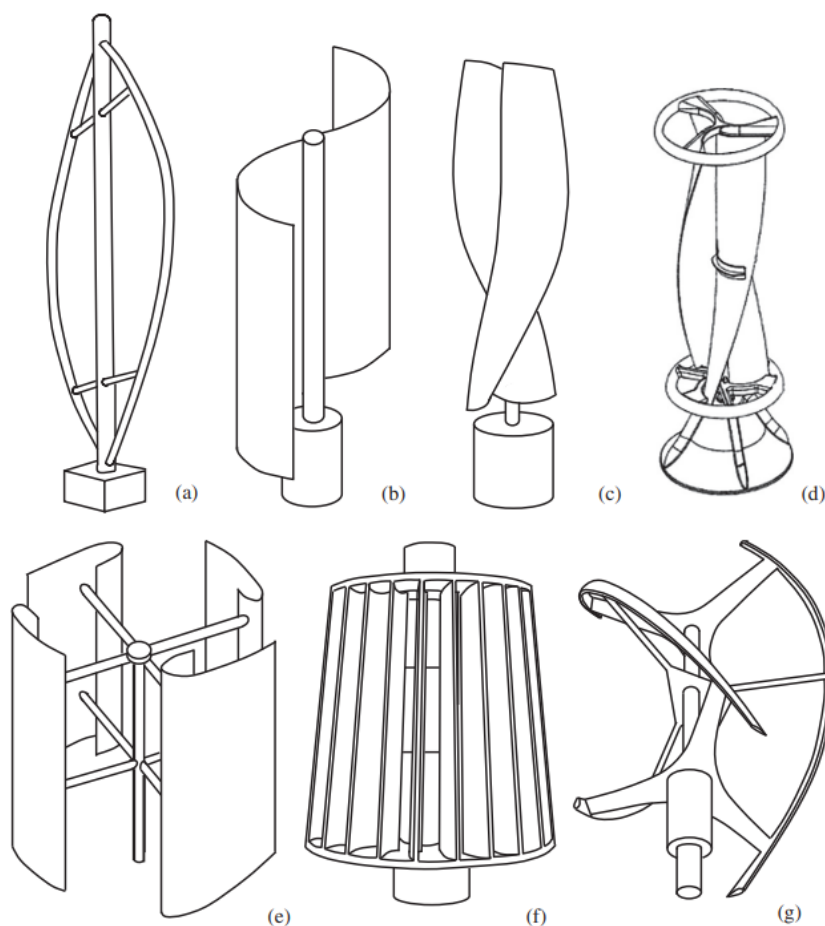


Slika 4.3.1.1. Promjena faktora snage u odnosu na povećanje brzine vjetra [15].

#### 4.3.2. Vrste vjetroturbina

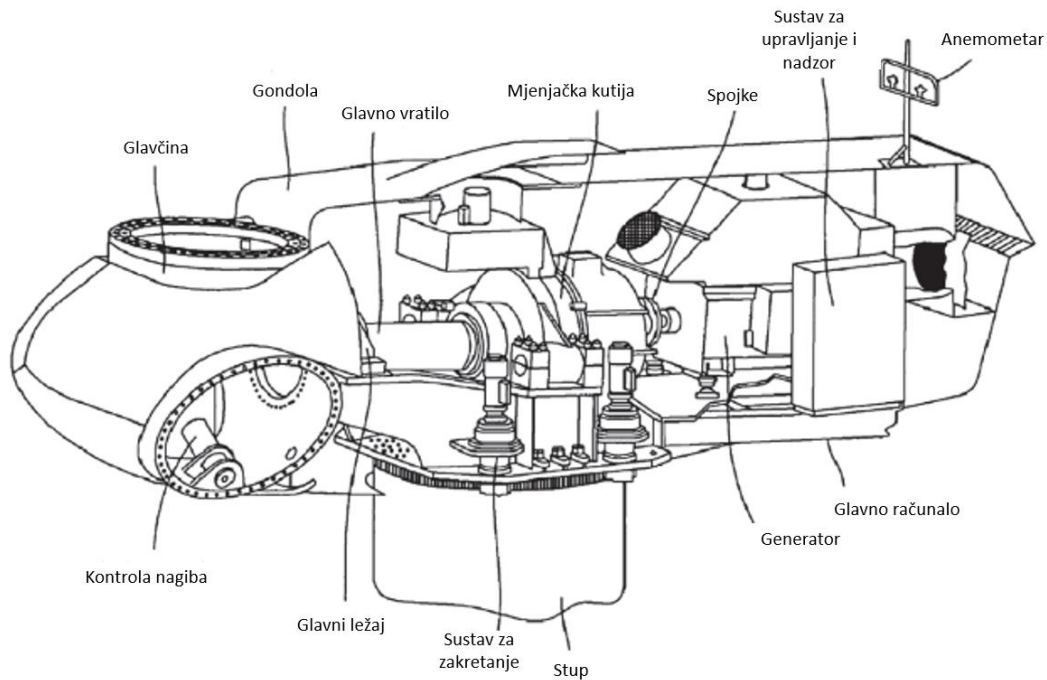
Vjetroturbine mogu se klasificirati prema konfiguraciji generatora turbine, putu strujanja zraka u odnosu na rotor turbine, kapacitetu turbine, načinu napajanja i mjestu postavljanja turbine.

Kada se razmatra konfiguracija rotacijske osi lopatice rotora, moderne vjetroturbine mogu se podijeliti na turbine s horizontalnom i vertikalnom osi. Većina komercijalnih vjetroturbina danas pripada tipu s horizontalnom osi, u kojem rotacijska os lopatica je paralelna sa strujom vjetra. Prednosti ove vrste vjetroturbine uključuje visoku učinkovitost turbine, visoku gustoću snage, niske prekidne brzine vjetra i niske cijena po jedinici izlazne snage. Nekoliko tipičnih vjetroturbina s vertikalnom osi prikazane su na slici 4.3.2.1. Vjetroturbine s vertikalnom osi rotiraju se okomito na tlo. Značajna prednost vjetroturbine s vertikalnom osi je ta da turbina može prihvatiti vjetar iz bilo kojeg smjera i stoga nije potrebna kontrola skretanja. Budući da se vjetrogenerator, mjenjačka kutija i druge glavne komponente turbine mogu postaviti na tlo, uvelike pojednostavljaju dizajn i konstrukciju tornja, te uvelike smanjuju trošak turbine. Međutim, vjetroturbina s vertikalnom osi mora koristiti vanjski izvor energije za okretanje lopatica tijekom pokretanja. Budući da je os vjetroturbine jednim krajem oslonjena na tlo, to znači da je time i njegova najveća praktična visina ograničena. Zbog niže učinkovitosti, vjetroturbine s vertikalnom osi čine samo mali postotak instaliranih vjetroturbina [35].



Slika 4.3.2.1. Nekoliko tipičnih vjetroturbin s vertikalnom osi: (a) Darrius; (b) Savonius; (c) Solarwind; (d) Helical; (e) Noguchi; (f) Maglev; (g) Cochrane [35].

Većina suvremenih velikih vjetroturbin su turbine s horizontalnom osi i tipično su s tri lopatice. Kao što je prikazano na slici 4.3.2.2, vjetroturbina se sastoji od gondole, koja je postavljena na vrhu tornja i u kojoj se nalazi većina komponenti turbine. Tri lopatice (nisu prikazane) montirane su na glavčinu rotora, koja je povezana preko glavne osovine do mjenjačke kutije. Rotor vjetrogeneratora je spojen izravno na vratilo mjenjačke kutije. Dakle, mala brzina rotacije glavčine rotora je povećana na željenu visoku brzinu vrtnje rotora generatora. Koristeći sustav kontrole nagiba, svaka lopatica se naginje pojedinačno radi optimizacije napadnog kuta za omogućavanje maksimalnog iskorištavanja energije vjetra u normalnom radnom stanju i za zaštitu komponenti turbine od oštećenja u izvanrednim situacijama. S povratnim informacijama kao što su izmjereni trenutni smjer vjetra i brzina vjetra pomoću anemometra, sustav kontrole skretanja osigurava kontrolu orijentacije kako bi se turbina stalno suprotstavljala vjetru [35].



Slika 4.3.2.2. Konfiguracija vjetroturbine s horizontalnom osi [35].

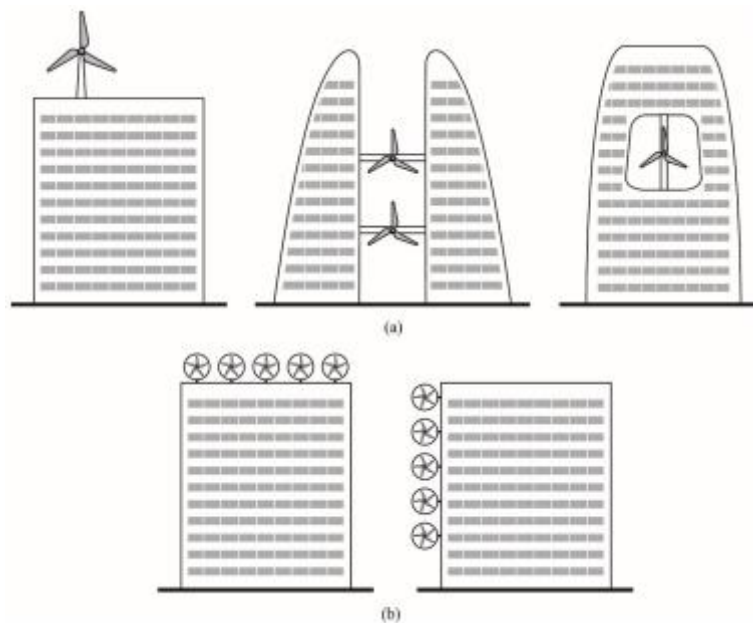
### 4.3.3. Zgrade s integriranim vjetroturbinama

Većina malih vjetroturbina proizvodi istosmjernu struju i zahtjeva izmjenjivač za pretvaranje istosmjerne struje u izmjeničnu. Kod sustava koji nisu priključeni na mrežu potrebna je baterija kako bi se mogla skladištiti energija za kasniju upotrebu. Takve tehnologije dostupne su u rasponu snaga od nekoliko stotina vata do nekoliko desetaka kilovata. Potencijal integracije vjetroturbine u zgradu mora se ocijeniti detaljnim promatranjem strujanja zraka uzimajući u obzir sve detalje oblika zgrade i postojećih prepreka. Računalni softver za dinamiku fluida se uglavnom koristi kod procjene potencijalne integracije. U pravilu male su vjetroturbine dosta manje isplative u usporedbi s onima velikih razmjera [15].



Slika 4.3.3.1 Primjer malih vjetroturbina integriranih u zgrade [15].

Kao što je prikazano na slici 4.3.3.2a, postoje tri moguće lokacije za velike vjetroturbine; (i) na krovu; (ii) između dvije susjedne zgrade; i (iii) unutar rupe u zgradi koja je posebno dizajnirana za tu svrhu. Drugi način primjene vjetroturbina integriranih na zgrade je ugradnja velikog broja malih vjetroturbina umjesto nekoliko velikih vjetroturbina. Slika 3.3.3.2b predstavlja shemu tog pristupa. Ovakva vrsta vjetroturbina integriranih na zgrade smatra se prikladnom i ekonomičnom metodom [37].



Slika 4.3.3.2 Vjetroturbine integrirane na zgrade: (a) 3 moguća mjesta postavljanja velikih vjetroturbina i (b) dva moguća mjesta ugradnje malih vjetroturbina [37].

Prednost ovakve integracije je ta što električna energija se proizvodi upravo tamo gdje je potrebna, eliminirajući problem prijenosa. Vjetar je besplatan, omogućuje povećanje energetske neovisnosti, smanjuje opterećenje elektroenergetske mreže, smanjuje osjetljivost na nestabilne cijene energije i smanjuje potrebu za energijom iz elektrana na fosilna goriva koja onečišćuju zrak. Proizvodnja električne energije iz vjetroturbina raste brzo diljem svijeta i takav rast će se nastaviti u doglednoj budućnosti.

#### 4.4. Gorive ćelije

Razvoj koji vodi do operativne gorive ćelije počinje 1800-ih sa Sir Williamom Groveom koji je priznat kao otkrivač 1839. godine. Tijekom ostatka stoljeća znanstvenici su pokušavali razviti gorive ćelije korištenjem raznih goriva i elektrolita. Daljnji rad je u prvoj polovici 20. stoljeća poslužio kao temelj za sustave koji su se na kraju koristili u svemirskim letovima Gemini i Apollo.

Međutim tek je 1959-e godine Francis T.Bacon uspješno demonstrirao prvu potpuno operativnu gorivu ćeliju [38].

### **Prednosti gorive ćelije:**

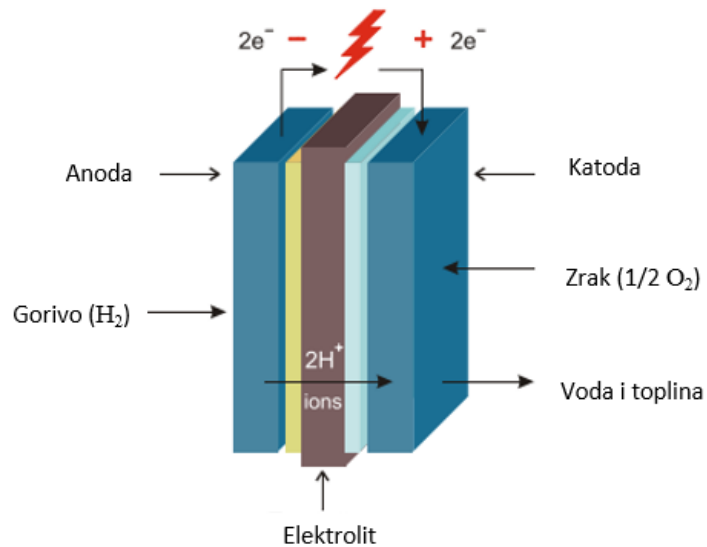
- Sustavi gorivih ćelija ne zagađuju okoliš kada za rad koriste čisti vodik, jedini nusproizvodi su čista voda i toplina.
- Sustavi gorivih ćelija imaju veću termodinamičku učinkovitost od toplinskih strojeva.
- Gorive ćelije također pokazuju veću učinkovitost pri djelomičnom opterećenju.
- Gorive ćelije pokazuju dobre karakteristike praćenja opterećenja.
- Kada se koriste kao uređaj za proizvodnju električne energije gorive ćelije zahtijevaju manje energetske transformacije u odnosu na toplinske strojeve.
- Sustavi gorivih ćelija su prikladni za korištenje u automobilskoj industriji zbog rada na niskim temperaturama (obično manje od 100°C)
- Sustavi gorivih ćelija mogu se koristiti i za kogeneraciju.
- Sustavi gorivih ćelija ne zahtijevaju podešavanje.

### **Nedostaci gorive ćelije:**

- Ironično, vodik je koristan za okoliš kada se koristi u gorivim ćelijama, ali s druge strane ga je teško proizvoditi i skladištiti.
- Gorive ćelije zahtijevaju relativno čisto gorivo, bez određenih kontaminata.
- Gorive ćelije koje su prikladne za automobilsku primjenu zahtijevaju upotrebu katalizatora od platine za ubrzavanje reakcije proizvodnje električne energije.
- Ne smije doći do zamrzavanja kada je voda unutar ćelije
- Gorive ćelije koje koriste membrane za izmjenu protona ne smiju isušiti tijekom uporabe i moraju ostati vlažne tijekom skladištenja.
- Gorive ćelije zahtijevaju složene sustave nadzora i upravljanja.
- Sustavi gorivih ćelija su teški.

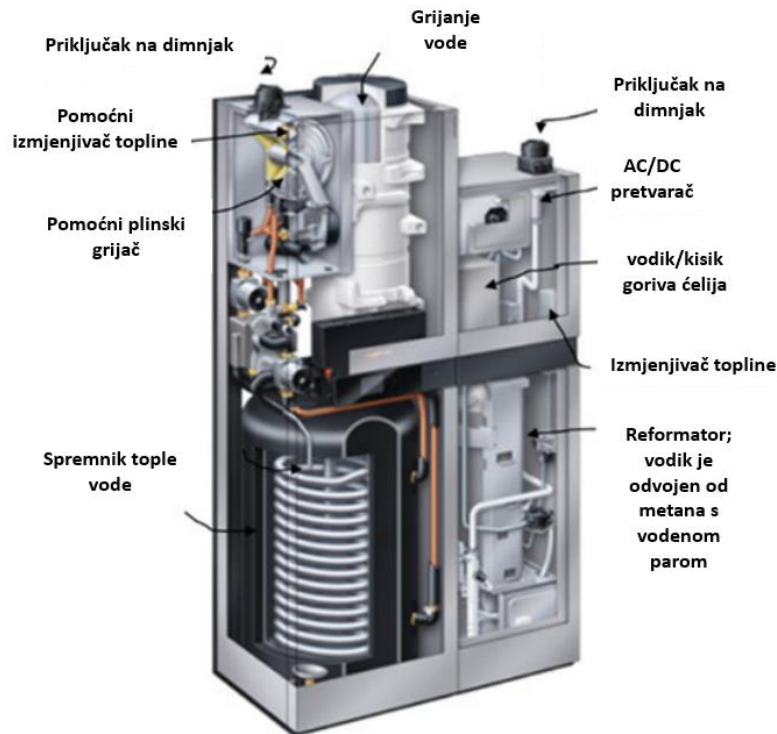
Goriva ćelija je uređaj za pretvorbu kemijske energije goriva izravno u električnu energiju bez ikakvog toplinskog ili mehaničkog procesa. Energija se oslobađa kad god gorivo kemijski reagira s kisikom u zraku. U motoru s unutarnjim izgaranjem, reakcija se odvija sagorijevanjem i energija se oslobađa u obliku topline koja se kasnije može pretvarati u mehaničku energiju. U gorivoj ćeliji dolazi do elektrokemijske reakcije i energija se oslobađa kao kombinacija niskonaponske istosmjernje električne energije i topline. Električna energija se može izravno koristiti za obavljanje

korisnog rada, dok toplina ili se disipira u zrak ili se koristi u druge svrhe. Elektrokemijska reakcija nastaje u galvanskom (ili „naponskom“) članku. Goriva ćelija bilo koje vrste je galvanski članak, kao i baterija. Nasuprot tome, u elektrolitičkim ćelijama električna energija se pretvara u kemijsku, kao npr. u elektrolizeru. Osnovna značajka gorivih ćelija je ta da opterećenje određuje brzinu potrošnje vodika i kisika. U stvarnim primjenama različite vrste električnih opterećenja se mogu primijeniti na gorivu ćeliju [38].



Slika 4.4.1 Princip rada vodikove gorive ćelije [38].

Slika 4.4.2 prikazuje mCHP jedinicu sa gorivom ćelijom nazivne snage 750We i snagom grijanja 1kWt sa ukupnom učinkovitosti od 90%. Također ima pomoćni grijač nazivne snage 19kW sa učinkovitošću od 109%; Većinu vremena tijekom godine gorive ćelije osiguravaju odgovarajuće količine električne i toplinske energije za rad jedno obiteljskih ili više obiteljskih kuća [15].



Slika 3.4.2. mCHP jedinica sa gorivom ćelijom. [15].

#### 4.4.1. Vrste gorivih ćelija

Trenutno se istražuje dosta vrsta gorivih ćelija. Šest primarnih vrste se razlikuju jedna od druge na temelju elektrolita i/ili goriva koje koriste. Radna temperatura i veličina gorivih ćelija često su odlučujući faktor pri odabiru vrste gorivih ćelija za određene primjene [39].

Vrste gorivih ćelija su:

- Goriva ćelija od polimerne elektrolitne membrane (PEMFCs)- Koriste se kao mobilne i stacionarne jedinice. Rade na niskim temperaturama (50-100°C). U PEMFC-u polimerna membrana provodi ione vodika (H<sup>+</sup>), ali ne i elektrone (e<sup>-</sup>).
- Alkalne gorive ćelije(AFCs)- NASA ih je koristila za svemirske misije, mogu postići učinkovitost proizvodnje do 70%. Radna temperatura ovih stanica je u rasponu od 150°C do 200°C.
- Gorive ćelije s fosfornom kiselinom (PAFCs)- Većina postrojenja s PAFC izgrađena su u rasponu kapaciteta od 50kW do 200kW. Proizvode električnu energiju s više od 40% učinkovitosti. Radna temperatura je u rasponu od 150°C do 200°C.
- Gorive ćelije s krutim oksidom (SOFCs)- Sustavi s čvrstim oksidom su obično izgrađeni od tvrdog keramičkog materijala koji se sastoji od čvrstog cirkonijevog oksida i male količine itrija umjesto tekućeg elektrolita. Radna temperatura može doseći do 1000°C.



Učinkovitost proizvodnje električne energije može doseći od 60 do 85% s kogeneracijom i kada je snaga gorive ćelije do 100kW.

- Gorive ćelije s otopljenim karbonatom (MCFCs)- Elektrolit u gorivoj ćeliji s otopljenim karbonatom je tekuća otopina litija, natrija i/ili kalijevog karbonata, koja je natopljena u matrici. Imaju visoku učinkovitost omjera potrošenog goriva i proizvedene električne energije u rasponu od 60 do 85% s kogeneracijom, a rade na oko 650°C.
- Gorive ćelije s direktnim metanolom (DMFCs)- Koriste istu polimernu elektrolitsku membranu kao PEM goriva ćelija. Međutim, gorivo za DMFC je metanol umjesto vodika. Metanol prolazi kroz anodu kao gorivo i razdvaja se na protone, elektrone, vodu i ugljikov dioksid.



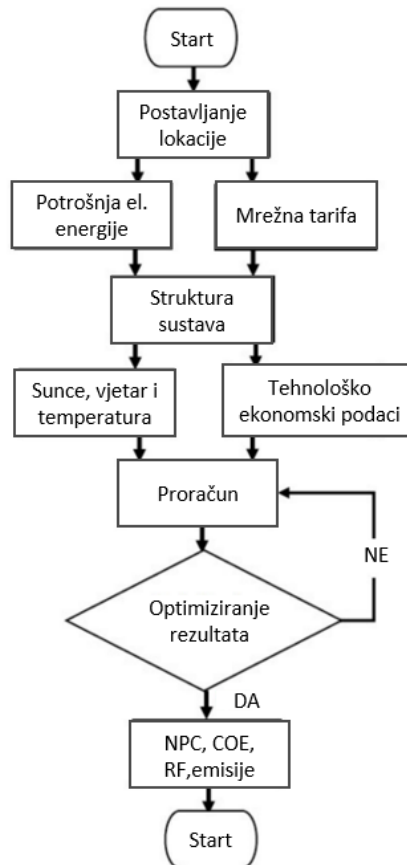
Slika 4.4.3.Kogeneracijske jedinice s različitim vrstama gorivih ćelija [15].

## **5. SIMULACIJA U PROGRAMSKOM PAKETU HOMER Grid**

Glavni cilj ovog dijela rada je dizajn i optimizacija obnovljivog izvora energije koji bi zadovoljio potražnju za električnom energijom na određenoj lokaciji pomoću HOMER Grid-a. U ovom slučaju kao obnovljiv izvor energije na licu mjesta korišten je fotonaponski sustav koji je spojen na mrežu. Korištenjem fotonaponskog sustava smanjuju se troškovi električne energije, a uz to je i ekološki prihvatljivo. U HOMER Grid-u postoji proces optimizacije s dvije strategije upravljanja; praćenje opterećenja i ciklus punjenja. U nekim slučajevima solarna energija ne zadovoljava potražnju sustava, pa se energija uzima iz mreže kako bi se zadovoljilo opterećenje.

### **5.1. Programski paket HOMER Grid**

HOMER Grid razvijen je 2018. godina kao učinkovitiji način za modeliranje hibridnih energetske sustava i analiziranje rješenja za smanjenje troškova električne energije za sustav spojen na mrežu. Koristi se za tehnološko-ekonomsku analizu obnovljivih izvora energije za samostalne sustave. To je moćan alat koji integrira inženjerske i ekonomske podatke u jedan model, omogućujući komplicirane izračune za brzu procjenu vrijednosti vlastite potrošnje, smanjenje potrošnje i energetske arbitražu. Korisnici mogu analizirati nekoliko komponenti i dizajnirati izlazne rezultate, pronaći najbolje isplative alternativne tehnologije, ispitati strategije za smanjenje rizika projekta i pronaći najisplativiji način provođenja projekta. Također replicira stvarne uvijete kako bi pomogao projektantima prilikom donošenja važnih odluka. Na slici 5.1.1 prikazan je dijagram toka metodologije [40].



Slika 5.1.1 Dijagram metodologije HOMER Grid-a [40].

Za izračun tehnološko-ekonomske analize nužni su neki ekonomski podaci sustava. Ti podaci uključuju diskontnu stopu, očekivanu stopu inflacije i životni vijek projekta, to su samo neki od podataka.

### 5.1.1. Kamatna stopa

Godišnja kamatna stopa ili jednostavno kamatna stopa, jedan je od HOMER-ovih inputa. To je diskontna stopa koja se koristi za pretvorbu jednokratnih troškova u godišnje troškove. Sljedeća jednadžba povezuje godišnju realnu kamatnu stopu s nominalnom kamatnom stopom [41].

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} [\%] \quad (4-1)$$

$i$  – realna diskontna stopa

$i'$  - nominalna diskontna stopa

$f$  – očekivana stopa inflacije

### 5.1.2. Nivelirani trošak

Obično se procjena isplativosti odabira elektrane koja će se izgraditi, temelji na niveliranom trošku. Prosječni trošak (n.j)/kWh korisne električne energije proizvedene sustavom, prema HOMER-u se definira kao nivelirani trošak električne energije (eng. levelised cost of energy (LCOE)). HOMER dijeli godišnje troškove za proizvodnju električne energije (ukupni godišnji trošak minus trošak napajanja tereta) sa ukupnim izlazom korisne električne energije. LCOE se računa na sljedeći način [40].

$$LCOE = \frac{C_{ann,tot}}{E_{prim,AC} + E_{prim,DC} + E_{grid,sales}} [n.j/kWh] \quad (4-2)$$

$C_{ann,tot}$  - ukupni godišnji trošak sustava [n.j/god.]

$E_{prim,AC}$  - izmjenično primarno opterećenje [kWh/god.]

$E_{prim,DC}$  - istosmjerno primarno opterećenje [kWh/god.]

$E_{grid,sales}$  – energija prodana u mrežu [kWh/god.]

Ukupni godišnji trošak sustava je zbroj godišnjih troškova svake komponente sustava i ostalih godišnjih troškova. To je značajan broj jer ga HOMER koristi za izračunavanje niveliranog i ukupnog neto sadašnjeg troška.

### 5.1.3. Neto sadašnji trošak

Ukupni neto sadašnji trošak (eng. Total net present cost (NPC)) sustava jednak je sadašnjoj vrijednosti svih rashoda koji su nastali tijekom životnog vijeka sustava minus sadašnja vrijednost svih prihoda zarađenih tijekom životnog vijeka sustava. Kapitalni troškovi, troškovi zamjene dijelova, troškovi rada i održavanja, troškovi goriva, kazne za onečišćenje i troškovi nabave električne energije iz mreže uključeni su u te troškove. Ukupni NPC računa se zbrajanjem ukupnih diskontnih novčanih tokova svake godine za vrijeme životnog ciklusa projekta [41].

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i, R_{proj})} [n.j./god.] \quad (4-3)$$

$i$  – godišnja realna diskontna stopa [%]

$R_{proj}$  – životni vijek projekta [god]

CRF() – faktor povrata kapitala

Faktor povrata kapitala je omjer koji se koristi za izračun sadašnje vrijednosti anuiteta (niz jednakih novčanih godišnjih uplata ili isplata). Jednadžba za faktor povrata kapitala je:

$$\text{CRF}(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (4-4)$$

$i$  – godišnja realna diskontna stopa [%]

$N$  – broj godina

#### 5.1.4. Povratna vrijednost

Povratna vrijednost (eng. Salvage value) je vrijednost komponenti elektroenergetskog sustava na kraju životnog vijeka projekta. HOMER pretpostavlja linearnu amortizaciju komponenti, što znači da je ponovna vrijednost komponente izravno proporcionalna njenom preostalom životnom vijeku. Također pretpostavlja da vrijednost povrata ovisi o trošku zamjene, a ne o početnom kapitalnom trošku i uključuje proporcionalne troškove održavanja do kraja trajanja projekta. HOMER računa povratnu vrijednost pomoću sljedeće jednadžbe [41]:

$$S = C_{\text{rep}} \cdot \frac{R_{\text{rem}}}{R_{\text{comp}}} \quad (4-5)$$

$C_{\text{rep}}$  – trošak zamjene [n.j]

$R_{\text{comp}}$  – životni vijek komponente [god.]

$R_{\text{rem}}$  – životni vijek projekta [god.]

### 5.1.5. Unutarnja stopa povrata

Unutarnja stopa povrata (eng. Internal rate of return (IRR)) je diskontna stopa po kojoj referentni slučaj i optimizirani sustav imaju isti neto sadašnji trošak. HOMER računa IRR određivanjem diskontne stope koju čini sadašnja vrijednost čija je razlika dvaju nizova novčanog toka jednaka nuli [41].

### 5.1.6. Povrat ulaganja

Povrat ulaganja (eng. Return on Investment (ROI)) je godišnja ušteda u odnosu na početno ulaganje. ROI je prosječna godišnja razlika u nominalnim novčanim tokovima tijekom životnog vijeka projekta podijeljena razlikom u trošku kapitala. HOMER računa povrat ulaganja sljedećom jednadžbom [41].

$$ROI = \frac{\sum_{i=0}^{R_{proj}} C_{i,ref} - C_i}{R_{proj}(C_{cap} - C_{cap,ref})} [\%] \quad (4-5)$$

$C_{i,ref}$  - nominalni godišnji novčani tok za osnovni (referentni) sustav

$C_i$  - nominalni godišnji novčani tok za trenutni sustav

$R_{proj}$  - životni vijek projekta [god]

$C_{cap}$  - kapitalni trošak trenutnog sustava

$C_{cap,ref}$  - kapitalni trošak osnovnog (referentnog) sustava

### 5.1.7. Jednostavno razdoblje povrata

Jednostavno razdoblje povrata je broj godina u kojima kumulativni novčani tok razlike između trenutnog sustava i osnovnog sustava prelazi iz negativnog u pozitivan. Povrat je pokazatelj koliko bi vremena trebalo da se povрати razlika u troškovima ulaganja između trenutnog sustava i referentnog slučaja [41]

### 5.1.8. Ukupni godišnji trošak

Ukupni godišnji trošak je godišnja vrijednost ukupnog neto sadašnjeg troška. Godišnji trošak izračunava se množenjem neto sadašnjeg troška sa faktorom povrata kapitala. HOMER računa ukupni godišnji trošak pomoću sljedeće jednadžbe [41]:

$$C_{\text{ann,tot}} = \text{CRF}(i, R_{\text{proj}}) \cdot C_{\text{NPC,tot}} \text{ [n.j/god.]} \quad (4-5)$$

$C_{\text{NPC,tot}}$  – ukupni neto sadašnji trošak

$i$ - godišnja realna diskontna stopa

$R_{\text{proj}}$  – životni vijek projekta

$\text{CRF}()$ - faktor povrata kapitala

### 5.1.9. Fotonapon

HOMER koristi sljedeću jednadžbu za izračunavanje izlazne snage FN polja[41]:

$$P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} \left( \frac{\bar{G}_T}{\bar{G}_{T,STC}} \right) [1 + \alpha_P (T_c - T_{c,STC})] \text{ [kW]} \quad (4-5)$$

$Y_{PV}$  - nazivni kapacitet FN polja, što znači njegovu izlaznu snagu u standardnim uvjetima ispitivanja [kW]

$f_{PV}$  – faktor gubitaka [%]

$\bar{G}_T$ -sunčevo zračenje koje pada na FN polje u trenutnom vremenskom koraku [kW/m<sup>2</sup>]

$\bar{G}_{T,STC}$ - upadno zračenje pri standardnim uvjetima ispitivanja [1kW/m<sup>2</sup>]

$\alpha_P$ - temperaturni koeficijent koji prikazuje kako utječe promjena temperature FN ćelije na izlaznu snagu FN sustava. [%/°C]

$T_c$ - temperatura FN ćelije u trenutnom vremenskom koraku [°C]

$T_{c,STC}$  -temperatura FN ćelije u standardnim uvjetima ispitivanja [25°C]

### 5.1.10. Baterija

Nazivni kapacitet komponente za pohranu je količina energije koja se može iz nje izvući pri određenoj konstantnoj struji, počevši od potpuno napunjenog stanja. Baterija se razlikuje od proizvođača do proizvođača, ali gledano po brzini pražnjenja uz konstantnu struju obično je 10-satna, 20-satna ili 100-satna. 10 -satna brzina (C10) prazni bateriju nakon 10 sati. Maksimalni kapacitet (ili teoretski kapacitet) komponente za pohranu je ukupna količina energije koju sadrži kada je potpuno napunjena. Nije moguće izvući svu tu energiju pri bilo kojoj konačnoj struji pražnjenja, tako da se veličine komponenti ne daju u smislu maksimalnog kapaciteta. HOMER

koristi model kinetičke baterije (Manwell and McGowan, 1993) za određivanje količine energije koju može pohraniti ili predati u svakom vremenskom koraku [41].

$$Q_{1,end} = Q_1 e^{-k\Delta t} + \frac{(Qkc-P)(1-e^{-k\Delta t})}{k} + \frac{Pc(k\Delta t-1+e^{-k\Delta t})}{k} \text{ [kWh]} \quad (4-5)$$

$$Q_{2end} = Q_2 e^{-k\Delta t} + Q(1-c)(1-e^{-k\Delta t}) + \frac{P(1-c)(k\Delta t-1+e^{-k\Delta t})}{k} \text{ [kWh]} \quad (4-5)$$

$Q_1$ - raspoloživa energija [kWh] na početku vremenskog koraka

$Q_2$ - granična energija [kWh] na početku vremenskog koraka

$Q_{1,end}$ -raspoloživa energija [kWh] na kraju vremenskog koraka

$Q_{2end}$  – granična energija na kraju [kWh] vremenskog koraka

$P$ - Snaga [kW] koja se sprema (pozitivna) ili predaje (negativna) u spremnik

$\Delta t$  – trajanje vremenskog koraka [h]

HOMER računa vijek trajanja baterije u godinama na sljedeći način:

$$R_{batt} = MIN \left( \frac{N_{batt} \times Q_{lifetime}}{Q_{thrpt}}, R_{batt, f} \right) [\text{god.}] \quad (4-5)$$

$R_{batt}$  – vijek trajanja baterije [god]

$N_{batt}$  – broj baterija u spremniku

$Q_{lifetime}$  – ukupni kapacitet skladištenja kroz cijeli vijek baterije.

$Q_{thrpt}$  - godišnji kapacitet skladištenja

$R_{batt, f}$  - životni vijek spremnika

Cijena kruženja energije kroz spremnik za pohranu električne energije poznata je kao trošenje baterije. HOMER koristi sljedeću jednadžbu za računanje cijene trošenja baterije:

$$c_{bw} = \frac{C_{rep,batt}}{N_{batt} \cdot Q_{lifetime} \cdot \sqrt{\eta_{nt}}} \text{ [n.j/kWh]} \quad (4-5)$$

$C_{rep,batt}$  - zamjenski trošak spremnika baterije

$N_{batt}$  - broj baterija u spremniku



$\eta_{nt}$ - učinkovitost kruženja energije

### **5.1.11. Izmjenjivač**

Izmjenjivači pretvaraju istosmjernu struju koju proizvode solarni paneli u izmjeničnu struju. Koristeći HOMER Grid, možemo izračunati optimalnu veličinu solarnog panela i njegovog pretvarača. Izlaz solarnog panela je istosmjerna snaga, a izlaz pretvarača je izmjenična snaga. Omjer istosmjernog kapaciteta (solarni paneli) i izmjenične snage pretvarača je omjer istosmjerne struje i izmjenične struje. Solarni niz od 120 kW DC s pretvaračem od 100 kW AC ima omjer istosmjerne i izmjenične struje od 1,2. Tipična vrijednost omjera za DC-AC je  $>1$  (obično oko 1,2) [41].

HOMER Grid nudi dvije mogućnosti unosa kod dimenzioniranja izmjenjivača:

1. Unos DC-AC omjera
2. Unos snage izmjenjivača

Izmjenjivač može raditi paralelno s drugim izvorima izmjenične struje kao što je generator ili mreža. Ekonomske značajke pretvarača su kapitalni trošak, troškovi održavanja i troškovi zamjene koje se prikazuju u odabranoj novčanoj jedinici godišnje, a predviđeni životni vijek izmjenjivača je u godinama [40].

### **5.1.12. Smanjenje štetnih emisija**

HOMER izračunava emisije sljedećih šest onečišćujućih tvari: ugljični dioksid ( $\text{CO}_2$ ), ugljični monoksid (CO), ne izgoreni ugljikovodik (UHC), čestice (PM), sumporov dioksid ( $\text{SO}_2$ ) i dušikovi oksidi ( $\text{NO}_x$ ). Emisije ovih onečišćujućih tvari proizlaze iz:

- Proizvodnje električne energije generatorima
- Proizvodnje toplinske energije pomoću kotla
- Potrošnja električne energije iz mreže

HOMER modelira emisije generatora i kotla na sličan način jer oba troše gorivo poznatih svojstava, dok mrežu modelira malo drugačije. Također HOMER izračunava smanjenje emisije štetnih plinova kada imamo prijelaz sa izvora energije koji koristi fosilna goriva na obnovljivi izvor energije. To se izražava u emisiji po jedinici potrošene energije [41].

## 5.2. Tehnološko-ekonomska analiza i optimizacija obiteljske kuće

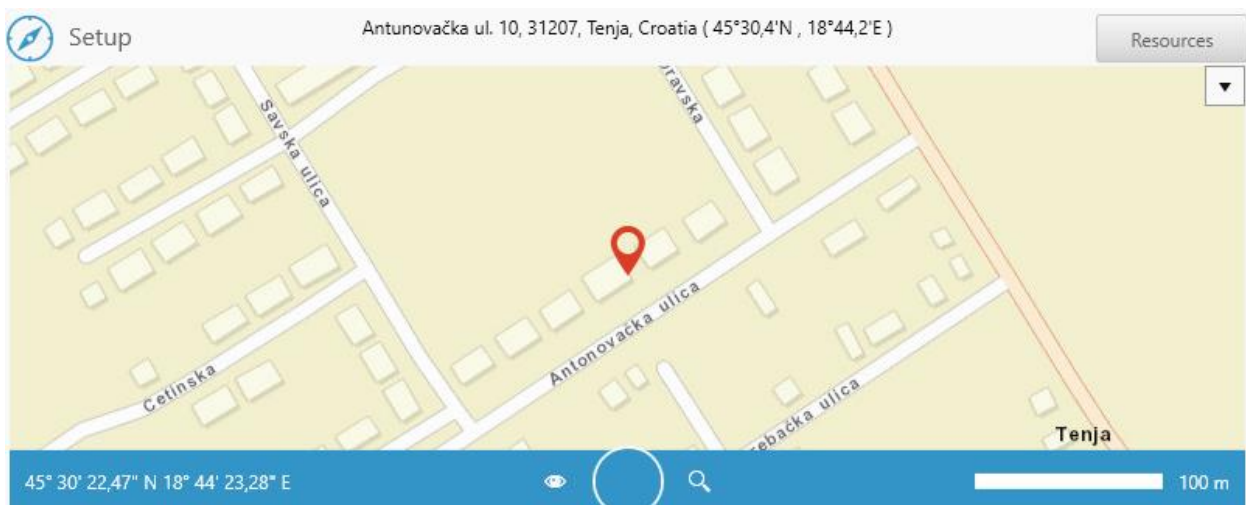
Zgrada gotovo nulte energije jest zgrada koja ima vrlo visoka energetska svojstva. Ovu gotovo nultu ili vrlo malu energiju treba velikim dijelom pokriti obnovljivim izvorima energije, koja se proizvodi na licu mjesta ili u blizini zgrade, a čiji su zahtjevi utvrđeni tehničkim propisima. Točnije, godišnja opskrba Energijom za potrebe grijanja i godišnja primarna energija ne smije prelaziti zadanu najveću dopuštenu vrijednost, a najmanje 30% energije mora biti zadovoljeno obnovljivom energijom [42].

Ovaj dio rada se svodi na provođenje tehnološko-ekonomske analize i optimizaciju fotonaponskog sustava, baterije i izmjenjivača spojenih na mrežu za obiteljsku kuću u Tenji. Za analizu i optimizaciju koristi se programski paket HOMER Grid. Metodologija započinje određivanjem lokacije, prosječnog električnog opterećenja, dnevnog zračenja, indeksa čistoće i prosječne dnevne temperature na lokaciji. Zbog ograničene mogućnosti unošenja tehnologija sustava za grijanje, ovaj rad se fokusira na isplativost fotonaponskog sustava te na davanje detaljne tehnološko-ekonomske analize optimiziranih fotonaponskih sustava koje HOMER Grid sam predlaže.

Kao osnovni sustav koristi se obiteljska kuća prosječne potrošnje električne energije. Osnovni sustav sastoji se samo od električne mreže i potrošača. Trenutna energetska učinkovitost gledano od strane potrošnje električne energije je B razred. Cilj je dodavanjem fotonaponskog sustava i baterije podići energetska razred što je više moguće.

### 5.2.1. Lokacija

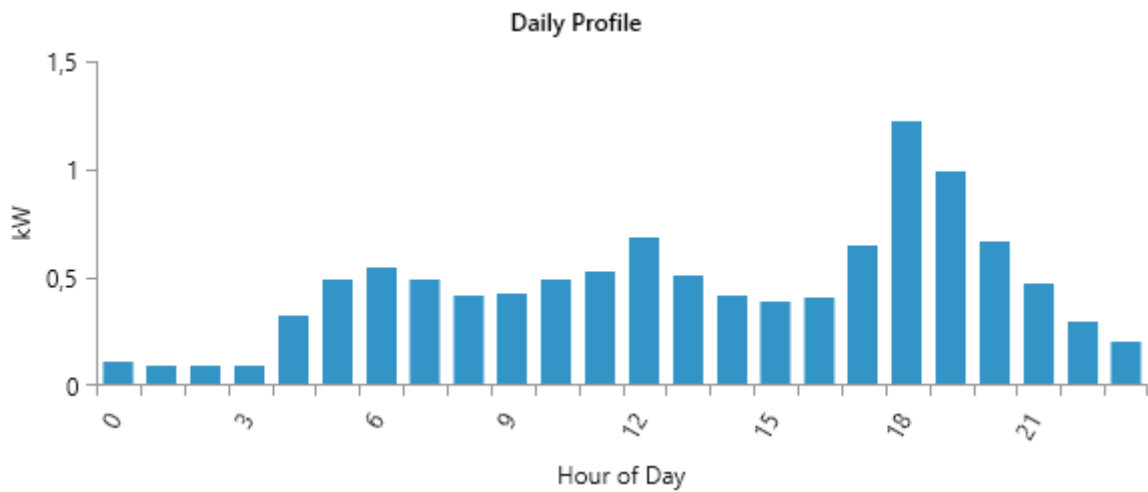
Kao što je prikazano na slici 5.2.1 HOMER Grid omogućuje unos lokacije. Lokacija obiteljske kuće je Antunovačka ulica 10, Tenja.



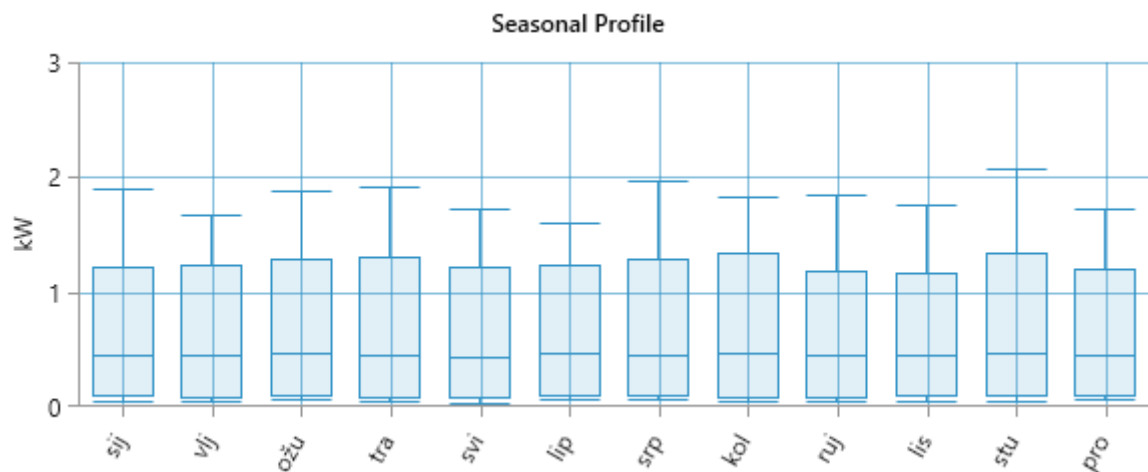
Slika 5.2.1 Lokacija obiteljske kuće.

### 5.2.2. Električno opterećenje

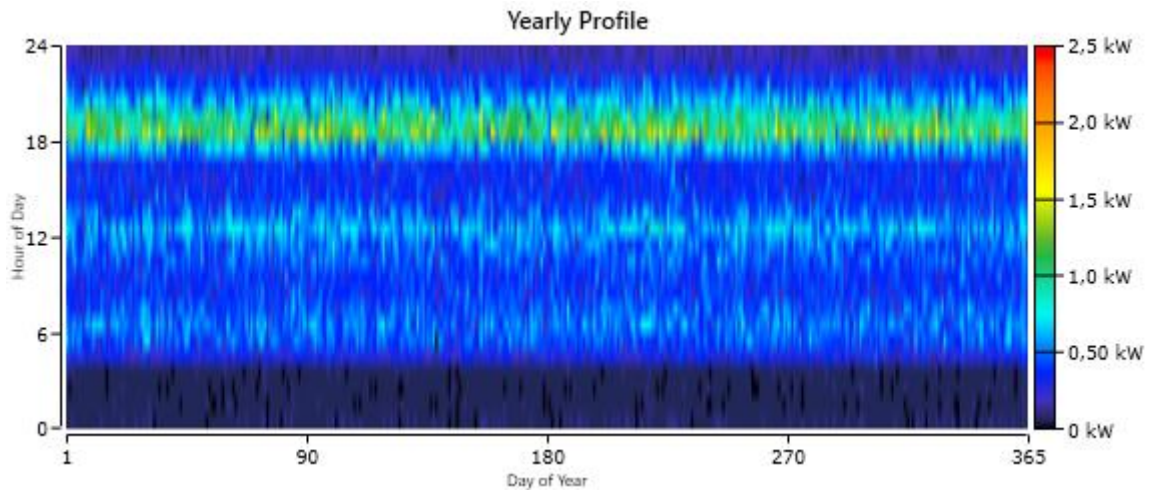
Električno opterećenje iznosi prosječno 11,14 kWh/dnevno za cijelu godinu, što je oko 4000kWh godišnje. Računi električne energije za obiteljsku kuću nisu dati na mjesečnoj bazi, nego samo kada je brojilo očitano. Iz tog razloga nema točne potrošnje električne energije za svaki mjesec nego se godišnja potrošnja električne energije dijeli sa brojem mjeseci, kako bi se dobilo prosječno godišnje opterećenje po mjesecima uz odstupanje od 10%. Na slici 5.2.2.1 prikazan je raspored dnevnog opterećenja, na slici 5.2.2.2 mjesečnog opterećenja i na slici 5.2.2.3 godišnjeg opterećenja za obiteljsku kuću.



Slika 5.2.2.1 Dnevno opterećenje za obiteljsku kuću.



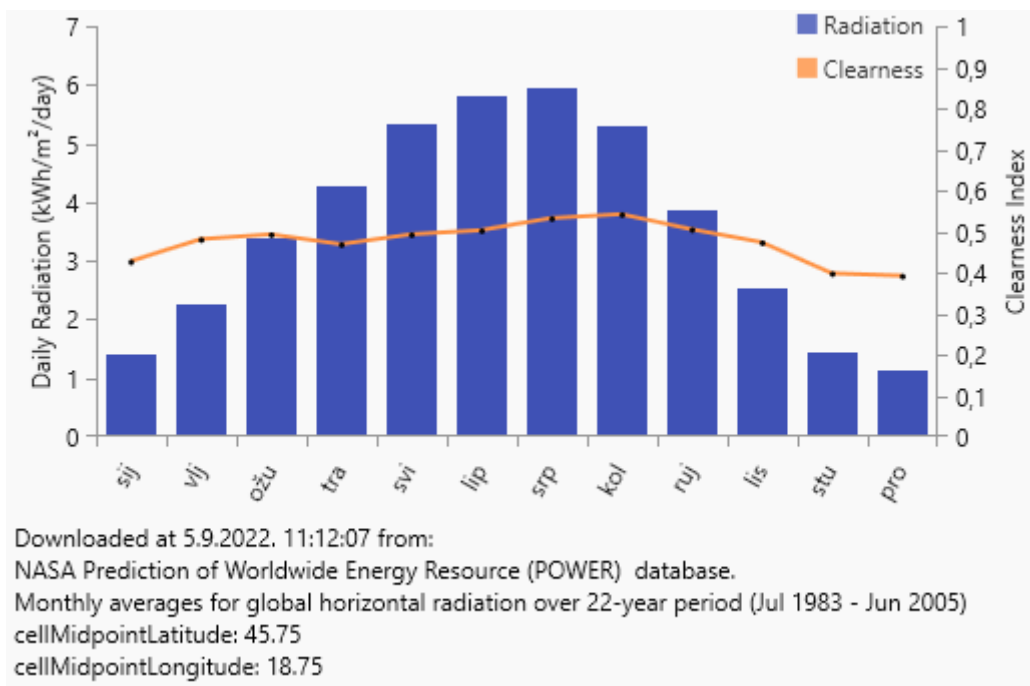
Slika 5.2.2.2 Mjesečno opterećenje za obiteljsku kuću.



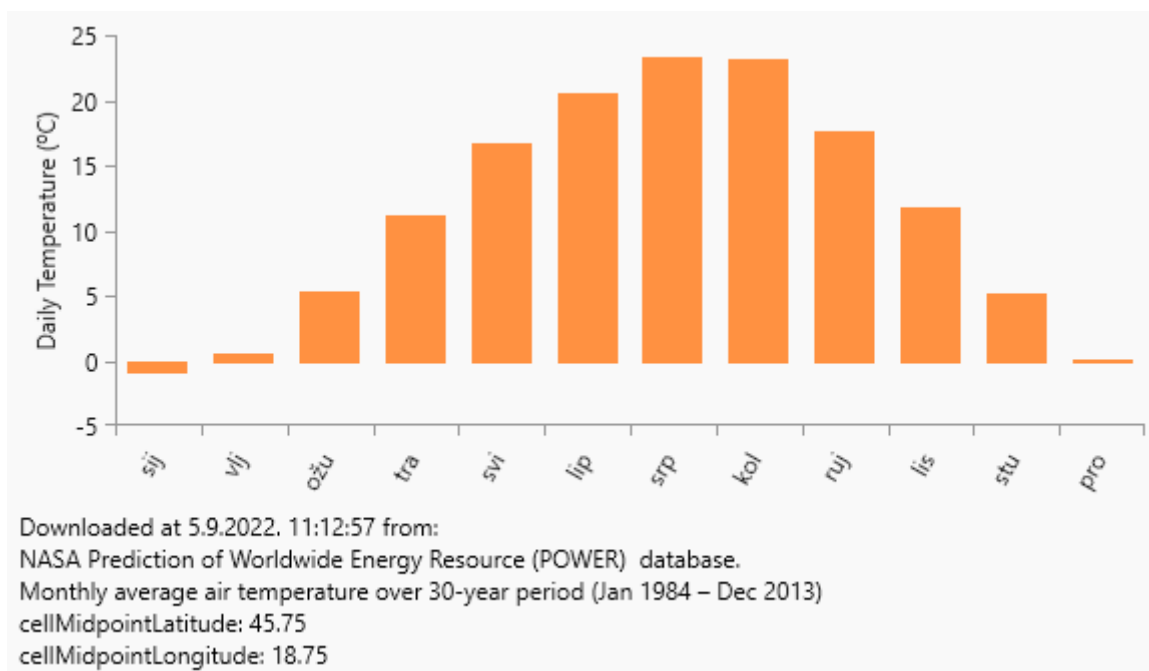
Slika 5.2.2.3 Godišnje opterećenje za obiteljsku kuću.

### 5.2.3. Temperatura i sunčevo zračenje

HOMER Grid omogućuje određivanje globalnog horizontalnog zračenja (GHI) za svaki vremenski korak. GHI (eng. global horizontal radiation) je ukupna količina sunčevog zračenja koja pada na horizontalnu površinu zemlje. Količina sunčevog zračenja je potrebna za izračun izlazne snage fotonaponskog sustava. Također HOMER Grid omogućuje unos okolne temperature koju koristi za izračun temperature FN ćelije. Temperatura ćelije je bitna, zato što izlazna snaga FN sustava ovisi o temperaturi. Što je temperatura ćelije veća smanjit će se napon praznog hoda ćelije, a samim time i izlazna snaga. HOMER Grid preuzima vrijednosti sunčevog zračenja i okolne topline za navedenu lokaciju iz baze podataka NASA Predviđanje Svjetskih Energetskih Resursa (eng. NASA Prediction of Worldwide Energy Resources). Na slici 5.2.3.1 prikazano je prosječno dnevno sunčevo zračenje za navedenu lokaciju, dok na slici 5.2.3.1 prikazana je prosječna dnevna temperatura po mjesecima.



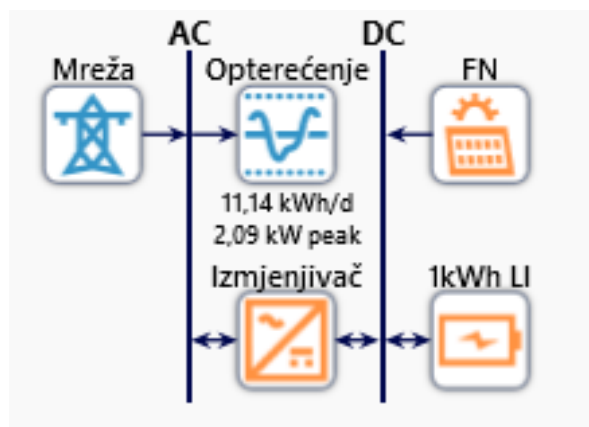
Slika 5.2.3.1 Prosječno dnevno sunčevo zračenje.



Slika 5.2.3.1 Prosječna dnevna temperatura.

## 5.2.4. Predložena struktura sustava

U ovom slučaju, struktura sustava sastoji se od izvora napajanja iz mreže, fotonaponskog sustava, litijske baterije, izmjenjivača i opterećenja. Shema predložene strukture prikazana je na slici 5.2.4.1.

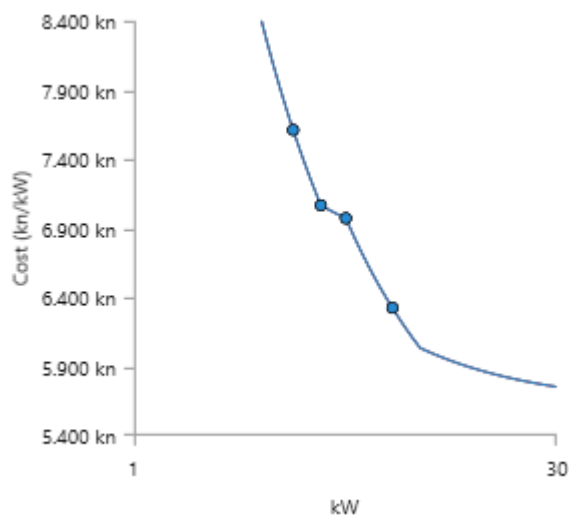


Slika 5.2.4.1 Struktura sustava.

Troškovi instalacije FN elektrane uzeti su sa internetske stranice [43]. Na stranici su prikazani troškovi fotonaponske elektrane od 3,6 kW, 4,5kW, 5,5 kW, 8,kW, 10 kW i 30 kW. U troškove su uračunati sva oprema sa dostavom, montažom i puštanjem u pogon. Od tih troškova su oduzeti samo trošak izmjenjivača. Troškovi instalacije fotonapona prikazani su na slici 5.2.4.2, a na slici 5.2.4.3 prikazano je smanjenje troškova 1kW-a instalirane snage povećanjem instaliranog kapaciteta FN elektrane u kW.

Capacity (kW)	Capital (kn)	Replacem€ (kn)	O&M (kn/year)	
5.5	38350	38350	100	✘
10	60350	60350	180	✘
30	172600	172600	1620	✘
3.6	27400	27400	76.0	✘
8	50600	50600	148.0	✘
4.5	31800	31800	87.37	✘

Slika 5.2.4.2 Prikaz troškova instalacije fotonapona.



Slika 5.2.4.3 Ovisnost cijene 1kW instalirane snage o ukupnom instaliranom kapacitetu FN elektrane.

Na sljedećoj slici 5.2.4.4 prikazana je cijena 1kW Li-Ion baterije. Troškovi baterije su preuzeti sa Međunarodne agencije za obnovljivu energiju (eng. International Renewable Energy Agency (IRENA)) [44].

Quantity	Capital (kn)	Replaceme (kn)	O&M (kn/year)	
1	3600	3600	10	✘

Slika 5.2.4.4 Cijena 1kW Li-Ion baterije.

Na kraju potrebno je odrediti cijenu izmjenjivača. Troškovi izmjenjivača preuzeti su sa stranice SolarShop, te su prikazani na slici 5.2.4.5.

Capacity (kW)	Capital (kn)	Replacement (kn)	O&M (kn/year)	
3.6	4.600,00 kn	4.600,00 kn	0,0 kn	✘
5	9.650,00 kn	9.650,00 kn	0,0 kn	✘
6	11.140,00 kn	11.140,00 kn	0,0 kn	✘
8	16.400,00 kn	16.400,00 kn	0,0 kn	✘
10	18.650,00 kn	18.650,00 kn	0,0 kn	✘
33	22.400,00 kn	22.400,00 kn	0,0 kn	✘

Slika 5.2.4.5 Cijene izmjenjivača.

### 5.2.5. Usporedba optimizacije sustava

Snaga instaliranih fotonaponskih sustava određena je prema snagama najčešće instaliranih elektrana za obiteljsku kuću. Kao što je prikazano na slici 5.2.4.2 snage sustava su u rasponu od 3,6kW do 30kW. Zbog veličine površine krova instalirana snaga fotonapona ograničena je do 7,7 kW. Optimizirani sustavi koje je HOMER Grid predložio imali su instaliranu snagu od 3,6kW, 4,5kW, 5,5kW i 7,7kW. Fotonaponska elektrana od 3,6kW je najmanja elektrana koja bi zadovoljavala nZEB standarde pošto sve elektrane manje od toga, uzimaju više energije iz mreže nego što predaju u mrežu.

Prilikom određivanja najisplativijeg sustava glavni parametar koji utječe na isplativost elektrane je cijena prodaje električne energije u mrežu. Ovisno o tome koliko energije predajemo u mrežu unutar obračunskog razdoblja o tome će ovisiti i cijena predane električne energije. Sljedeća jednadžba prikazuje ovisnost cijene predane električne energije u mrežu o predanoj i preuzetoj energiji iz mreže.

$$C_i = 0,9 * PKC_i * \frac{E_{pi}}{E_{ii}} \text{ [kn/kWh]} \quad (4-5)$$

$E_{pi}$  – ukupna električna energija preuzeta iz mreže od strane kupca unutar obračunskog razdoblja  $i$ , izražena u kn/kWh;

$E_{ii}$  – ukupna električna energija isporučena u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu kupca, unutar obračunskog razdoblja  $i$ , izražena u kn/kWh;

$PKC_i$  – prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču za prodanu električnu energiju, bez naknada za korištenje mreže te drugih naknada i poreza, unutar obračunskog razdoblja  $i$ , izražena u kn/kWh. [ <https://www.hep.hr/ods/korisnici/kupac-s-vlastitom-proizvodnjom/29>]

U tablici 5.2.5.1 prikazana je usporedba optimiziranih sustava za različite instalirane snage fotonapona. Iz tablice možemo vidjeti kako povećanjem instalirane snage smanjuje se cijena prodaje električne energije zbog povećane predane energije u mrežu. Samim time se i jednostavni povrat povećava.



Tablica 5.2.5.1 Usporedba optimiziranih sustava

Instalirana snaga	Cijena prodaje el. en. (kn/kWh)	Neto trenutni trošak (kn)	Nivelirani trošak (kn/kWh)	CAPEX (kn)	CO <sub>2</sub> (kg/god)	Jednostavni povrat (god.)	Godišnja ušteda na računima (kn/god)	Udio energije iz obnovljivog izvora (%)
3.6 kW	0,835	16.964	0,199	32.000	1,553	6,6	1.362	62,7
4,5 kW	0,59	27.368	0,281	41.450	1,503	8,4	1.434	68,5
5,5 kW	0,45	35.582	0,319	49.490	1,460	10	1.473	73,2
7,7 kW	0,273	46.417	0,388	65.530	1,394	14	1.368	80

CAPEX- Ukupni instalirani trošak svih komponenti na početku projekt.

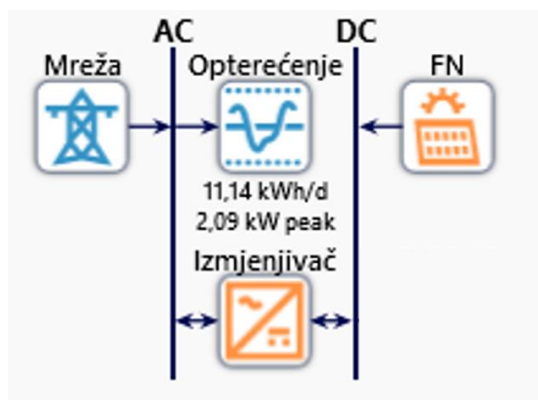
### 5.2.6. Rezultati optimizacije najisplativijeg sustava

U ovom dijelu prikazani su rezultati tehnološko-ekonomske analize i optimizacije fotonapona spojenog na mrežu korištenjem HOMER Grid-a za obiteljsku kuću na navedenoj lokaciji.

Rezultati optimizacije za navedenu lokaciju pokazuju da je litijska baterija uklonjena iz strukture sustava zbog svojeg visokom investicijskog troška. Baterije su i dalje tehnologija koja se razvija i koja će s vremenom postajati cjenovno dostupnija, no zbog trenutne cijene električne energije baterije nisu isplative kod manjih sustava kao što su obiteljske kuće koje nemaju veliku potrošnju i koje su pritom spojeni na mrežu. Baterije su isplativije kod većih sustava i kod sustava koji nisu spojeni na mrežu zbog boljeg praćenja opterećenja. HOMER Grid procjenjuje trošak različitih konfiguracija sustava i njihovih kapaciteta te odabire sustav temeljen na najnižem trošku električne energije (eng. Cost of Electricity (CoE)) i udjelu obnovljive energije. Nakon simulacije po satu, generiraju se različite konfiguracije, gdje je referentni sustav prikazan svijetlosivom bojom. U ovom radu bilo je 4 različita scenarija koji su prikazani na slici 5.2.5.1. Ta 4 različita scenarija su prošla kroz brojne konfiguracije kako bi se pronašao optimiziran sustav koji najviše ispunjava zahtjev za opterećenjem obiteljske kuće. Najoptimiziraniji sustav prikazan je na slici 5.2.5.2, a detalji sustava navedeni su u tablici 5.2.5.1.

Architecture				Cost							
				FN (kW)	1kWh LI (#)	Mreža	Izmjenjivač (kW)	NPC (kn)	LCOE (kn/kWh)	Operating cost (kn/yr)	CAPEX (kn)
				3,60		1	3,60	16.964 kn	0,199 kn	-1.163 kn	32.000 kn
				3,60	2	1	3,60	31.193 kn	0,381 kn	-619,34 kn	39.200 kn
						1		46.417 kn	0,883 kn	3.591 kn	0,00 kn
					2	1	3,60	62.562 kn	1,19 kn	3.927 kn	11.800 kn

Slika 5.2.5.1. Rezultati optimizacije predloženog sustava.



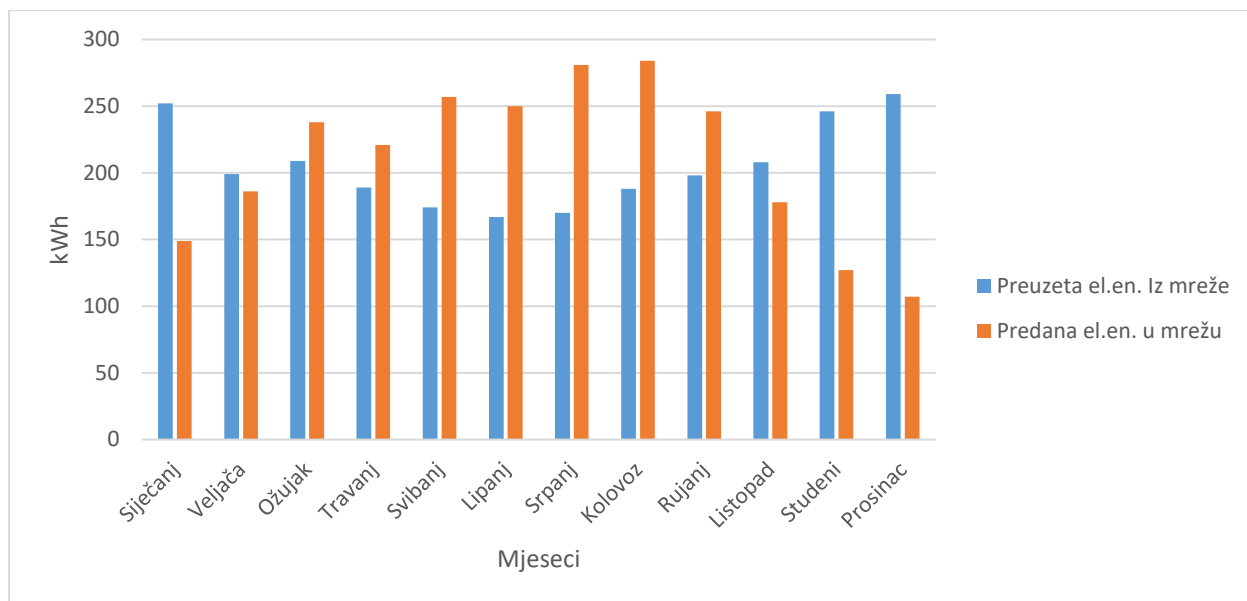
Slika 5.2.5.2. Optimizirana struktura sustava.

Tablica 5.2.5.1. Detalji najoptimiziranijeg sustava.

Dijelovi	Naziv	Snaga	Proizvodnja el. Energije (kWh/god.)
Fotonapon	Generic flat-plate PV	3,6kW	4351 kWh/god.
Mreža	Simple Tariff	VT: 0,9535 kn/kWh NT: 0,4465 kn/kWh	2457 kWh/god.
Izmjenjivač	System Converter	3,6kW	-

Potrošnja električne energije ove ustanove iznosi 11,14 kWh/dnevno s vršnim opterećenjem od 2,09 kW. Fotonapon od 3,6 kW ima najniži CoE ( 0,199 kn/kWh) s proizvodnjom iz obnovljivih izvora od 62,7% za razliku od referentnog scenarija koji se u potpunosti oslanja na energetske mrežu.

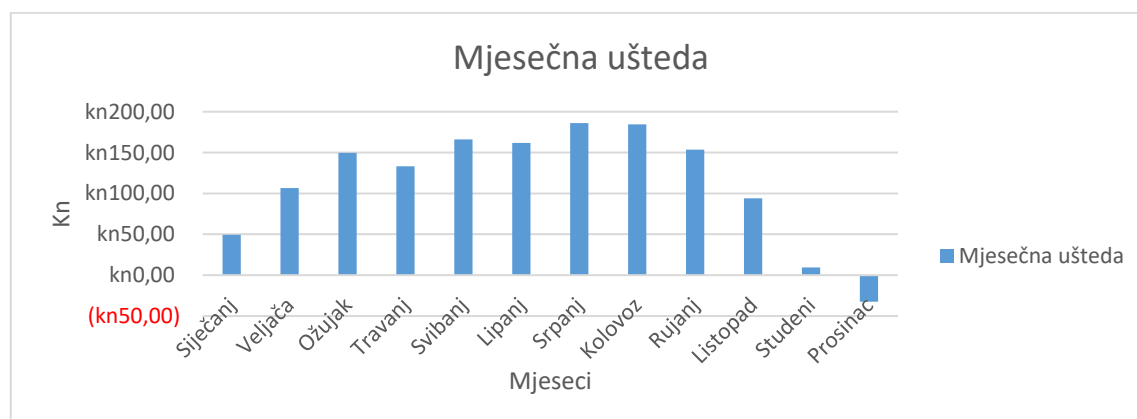
Fotonaponska elektrana od 3,6kW zadovoljava zahtjeve nZEB-a za ovu obiteljsku kuću, pošto da bi zgrada spadala u tu skupinu gledano sa strane potrošnje i proizvodnje električne energije mora predati u mrežu najmanje onoliko energije koliko je preuzela iz mreže. U ovom slučaju naša promatrana građevina predala je u mrežu 2524 kWh/god. dok je iz mreže preuzela 2475 kWh/god. Što znači da ispunjava nZEB uvijete. Na slici 5.2.5.3 prikazana je predana i preuzeta električna energija iz mreže za optimizirani sustav



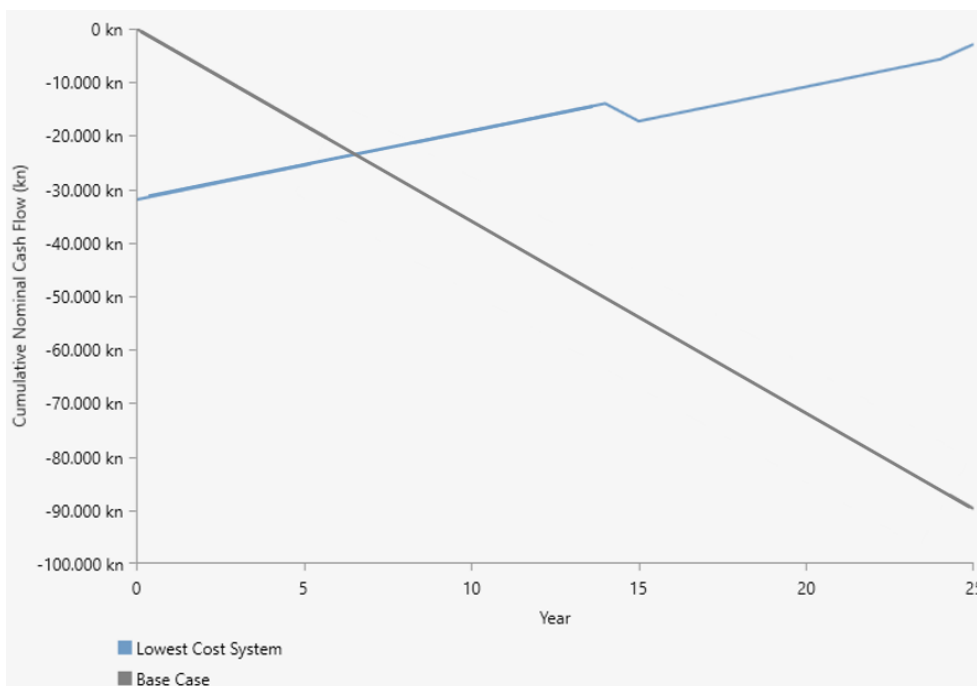
Slika 5.2.5.3. Preuzeta i predana električna energija iz mreže.

### 5.2.7. Rezultati ekonomske procjene

Ekonomski učinak navedenog sustava analiziran je pomoću tehnološko-ekonomske analize. Operativni troškovi sustava, izvorna investicija i troškovi zamjene uračunati su u izračun ekonomskih prednosti predloženog sustava. Za identifikaciju najkorisnijeg sustava HOMER Grid uspoređuje neto sadašnji trošak (NPC) svih scenarije i onaj scenarij sa najboljim neto sadašnjim troškom je najbolje optimizirani sustav. Mjesečna ušteda na računima za električnu energiju prikazana je na slici 5.2.6.1. NPC sustava iznosi 16.964 kn s CoE 0,199 kn/kWh. Na slici 5.2.6.2 prikazan je kumulativni nominalni novčani tok osnovnog slučaja i optimiziranog. Jednostavno razdoblje povrata iznosi 6,6 godina.



Slika 5.2.6.1. Mjesečna ušteda na računima za električnu energiju.



Slika 5.2.6.2. Kumulativni nominalni novčani tok.

Optimizirani sustav predlaže dodavanje fotonaponske elektrane instalirane snage 3,6kW što bi smanjilo nivelirani trošak s 0,883 kn/kWh na 0,199 kn/kWh. Proizvodnja iz obnovljivih izvora pridonosi smanjenju štetnih emisija. Emisije za ovaj slučaj su ugljični dioksid, sumporov dioksid i dušikovi oksidi, koji su najčešće emisije mreže. Ekonomski parametri i potencijalni rezultat smanjenja emisija prikazani su u tablici 5.2.6.1, a ekonomska usporedba između osnovnog i optimiziranog sustava prikazana je u tablici 5.2.6.2

Opis	Vrijednost
Unutarnja stopa povrata	14%
Povrat ulaganja	11%
Jednostavno razdoblje povrata	6,6 god.
Godišnja ušteda na računima za električnu energiju	1.362 kn/god.
Ugljični dioksid	1,553 kg/god
Sumporov dioksid	6,73 kg/god
Dušikovi oksidi	3,29 kg/god

Tablica 5.2.6.1. Ekonomski parametri i potencijalno smanjenje štetnih emisija.

Opis	Osnovni sustav	Predloženi sustav
Neto trenutni trošak	46.417 kn	16.964 kn
CAPEX	0.00 kn	32.000 kn
OPEX	3.591 kn	-1.286 kn
LCoE	0.883 kn/kWh	0.199 kn/kWh
Emisije CO <sub>2</sub> (kg/god.)	2,570 kg/god.	1,553 kg/god

Tablica 5.2.6.2. Ekonomska usporedba osnovnog i referentnog sustava.

CAPEX- Ukupni instalirani trošak svih komponenti na početku projekta

OPEX- ukupni godišnji troškovi rada i održavanja sustava

Usporedbom rezultata osnovnog sustava i predloženog optimiziranog sastava može se vidjeti kako instaliranje fotonapona utječe i na smanjenje emisije CO<sub>2</sub> što pomaže pri postizanju nZEB standarda. Emisije CO<sub>2</sub> su se smanjile sa 2,507 kg/god. na 1,553 kg/god. Također ako se želi još više iskoristiti učinak fotonapona, može se upariti s dizalicom topline. Tako bi se povećalo električno opterećenje koje možemo pokriti instaliranjem većeg fotonaponskog sustava, ali bi se uvelike smanjili troškovi za grijanje. Troškovi investicije bi bili veći, ali računi za toplinsku energiju bi bili puno manji. No da bi takav sustav funkcionirao podrazumijeva se da je ovojnica zgrade maksimalno izolirana, pošto dizalice topline ne mogu dati toliko toplinske energije kao na primjer kotlovi za izgaranje. Fotonaponski sustavi su idealno rješenje za postizanje nZEB standarda i za smanjenje emisija štetnih plinova.

## 6. ZAKLJUČAK

Gotovo nula energetske zgrade privukle su pozornost u akademskim i stručnim poljima kao učinkovito rješenje za rastuće energetske i ekološke probleme. Također omogućuju lakšu i ubranu implementaciju koncepta pametne mreže. Primjena nZEB koncepta i njegovo proširenje na zajednice, smanjit će potrošnju u građevinskom sektoru, koja predstavlja više od 30% ukupne konačne potrošnje energije, zahvaljujući optimiziranju pasivne i aktivne tehnike uštede energije, integraciji obnovljivih izvora energije i primjeni pametnih algoritama upravljanja energijom. Kroz prva tri poglavlja, rad stavlja naglasak na najbolje dostupne tehnologije za grijanje i proizvodnju električne energije na licu mjesta. Također su nabrojani osnovni elementi ovojnice zgrade, kao i utjecaj ventilacije i rasvjete na postizanje nZEB standarda. Trenutno za grijanje prostora se najčešće koriste kotlovi za izgaranje, no razvijanjem tehnologije toplinskih crpki sve veći broj zgrada se odlučuje na takav način grijanja zbog mogućnosti kombiniranja proizvodnje električne energije iz fotonapona sa toplinskim crpkama. Pošto nZEB mora imati podmireno najmanje 30% godišnje isporučene energije iz obnovljivih izvora, kao proizvodnja električne energije na licu mjesta najčešće se koristi fotonapon. Također razvijaju se i ostale tehnologije kao vodikove gorive ćelije, no trenutno, a i u skorijoj budućnosti zbog napretka tehnologije fotonaponskih modula i dalje će biti prvi izbor barem u ovom dijelu Europe. Također se govori o ciljevima Europske Unije za potpunu dekarbonizaciju do 2050. godine, gdje građevinski sektor ima veliku ulogu.

U zadnja dva poglavlja dat je opis programskog paketa HOMER Grid, te je provedena simulacija u istoimenom programskom paketu. HOMER Grid nudi najbolje optimizirani slučaj za navedeno električno opterećenje. HOMER je u ovom slučaju predložio 3,6 kW fotonaponsku elektranu za zadano opterećenje obiteljske kuće. Jedan od glavnog razloga odabira elektrane takve nazivne snage je cijena prodaje električne energije, čiji se iznos smanjuje sa većom količinom predane električne energije u mrežu. HOMER odabire najoptimiziraniji sustav prema LCoE koji je u ovom slučaju iznosio 0,199 kn/kWh. Prema ekonomskoj analizi koju HOMER nudi može se vidjeti kako jednostavni povrat iznosi 6,6 godina, što je manje od svih ostalih optimiziranih sustava. Iz optimizacije i ekonomske analize može se zaključiti kako fotonaponska elektrana od 3,6 kW je najbolji izbor za obiteljsku kuću sa ovakvim električnim opterećenjem.

## SAŽETAK

Cilj ovog rada je definirati pojam nula energetske zgrade, opisati trenutno stanje najbolje dostupnih tehnologija za postizanje nZEB standarda i simulacijom u programskom paketu HOMER Grid postići nZEB standard optimizacijom i tehnološko-ekonomskom analizom fotonaponskog sustava i baterijskog sklopa spojenih na mrežu za obiteljsku kuću na lokaciji Tenja. Rezultati simulacije su pokazali kako je sustav za pohranu električne energije u početku bio uključen, ali je kasnije uklonjen kako bi se ostvarile veće uštede i optimizirao udio obnovljive energije. Udio energije iz obnovljivih izvora se povećao na 62,7%, dok se nivelirani trošak (LCoE) smanjio sa 0,883 kn/kWh na 0,199 kn/kWh. U današnje vrijeme gotovo je nemoguće postići nZEB standard obiteljske kuće bez vlastite proizvodnje. Osim što fotonaponski sustavi smanjuju trošak električne energije, u korelaciji sa drugim sustavima grijanja kao na primjer sa toplinskom crpkom mogu uvelike smanjiti mjesečne troškove za grijanje.

**Ključne riječi:** nula energetske zgrade, obnovljivi izvori energije, HOMER Grid, tehnološko-ekonomska analiza

## **ABSTRACT**

The aim of this study is to define the concept of zero energy building, describe current state and best available technologies for achieving the nZEB standard and, conduct a techno-economic performance and optimisation analysis of grid-connected photovoltaic system and battery packs for residential house situated in Tenja. The simulation software HOMER Grid was used to analyse and optimise the renewable energy required by the institution. The simulation results showed that the energy storage system was initially included, but it was later removed to achieve greater savings and optimize the share of renewable energy. The renewable energy fraction increased to 62,7%, while local costs of energy (LCoE) decreased from HRK 0,883/kWh to HRK 0,199/kWh. Nowadays, it is almost impossible to achieve the nZEB standard of residential house without on-site electricity production. In addition to the fact that photovoltaic system reduce the cost of electricity, in combination with other heating systems, such as heat pump, they can greatly reduce monthly heating bills.

**Key words:** zero energy buildings, renewable energy sources, HOMER Grid, techno-economical analysis



## LITERATURA

- [1] Y. Xu, R. Bo, W. S. Chang, H. Guo, and Y. Shao, “The Use of Horizontal Shading Devices to Alleviate Overheating in Residential Buildings in the Severe Cold Region and Cold Region of China,” *Buildings*, vol. 12, no. 4, Apr. 2022, doi: 10.3390/buildings12040408.
- [2] G. Augenbroe, R. Gentry, and J. Brown, “PRACTICAL PATH TO A NET-ZERO HOMES,” 2011.
- [3] A. Amro, “BUILDING EUROPE’S NET-ZERO FUTURE WHY THE TRANSITION TO ENERGY EFFICIENT AND ELECTRIFIED BUILDINGS STRENGTHENS EUROPE’S ECONOMY WE ARE GRATEFUL TO THE FOLLOWING ORGANISATIONS FOR CONTRIBUTING THEIR EXPERTISE AND INSIGHT.”
- [4] “Definitions & Policies - NZEB.” <https://nzeb.in/definitions-policies/> (accessed Jun. 16, 2022).
- [5] S. Pless and P. Torcellini, “Net-Zero Energy Buildings: A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options,” 2010. [Online]. Available: <http://www.osti.gov/bridge>
- [6] S. Refaat, O. Ellabban, S. Bayhan, H. Abu-Rub, F. Blaabjerg, and M. M. Begovic, “Smart Grid and Enabling Technologies, First Edition. Shady,” 2021.
- [7] M. Shehadi, “Net-Zero Energy Buildings: Principles and Applications,” in *Zero-Energy Buildings - New Approaches and Technologies*, IntechOpen, 2020. doi: 10.5772/intechopen.92285.
- [8] “77 Energy Efficient Solutions For Built Environments.”
- [9] S. Attia *et al.*, “Overview and future challenges of nearly zero-energy building (nZEB) design in Eastern Europe,” *Energy Build*, vol. 267, p. 112165, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.enbuild.2022.112165.
- [10] B. Singh, S. K. Sharma, and P. Syal, “Net Zero Energy Building (NZEB) Design,” *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, vol. 102, no. 1, pp. 237–247, Mar. 2021, doi: 10.1007/s40030-020-00500-1.

- [11] “Kasparas Pajarskas Achieving a nearly zero-energy building (nZEB) status for a residential house in Finland.”
- [12] “Orijentacija kuće: Kako odabrati pravu stranu? - Neml.” <https://neml.ba/orijentacija-kuce-kako-odabrati-pravu-stranu/> (accessed Aug. 08, 2022).
- [13] A. M. Al-Ghaili, H. Kasim, N. M. Al-Hada, M. Othman, and M. A. Saleh, “A Review: Buildings Energy Savings - Lighting Systems Performance,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 76108–76119, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2989237.
- [14] M. E. Leinum and H. M. Mathisen, “Optimal combination of natural and mechanical ventilation in ZEB Laboratory Based on simulations performed with CONTAM.”
- [15] S. Medved, S. Domjan, and C. Arkar, “Springer Tracts in Civil Engineering Sustainable Technologies for Nearly Zero Energy Buildings Design and Evaluation Methods.” [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/15088>
- [16] E. Dorota and A. Krawczyk, “Buildings 2020+ Energy sources”, doi: 10.24427/978-83-65596-73-4.
- [17] “Home - GUNT Gerätebau.” <https://www.gunt.de/en/> (accessed Aug. 26, 2022).
- [18] “Heat Pumps-Technology Guide Heat Pumps Technology Guide SEAI Heat Pumps Technology Guide,” 2020.
- [19] “Steam boilers Heat pumps.”
- [20] S. A. Kalogirou, “Solar thermal collectors and applications,” *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 30, no. 3. pp. 231–295, 2004. doi: 10.1016/j.pecs.2004.02.001.
- [21] K. Hudon, “Solar Energy - Water Heating,” in *Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for our Planet*, Elsevier Inc., 2013, pp. 433–451. doi: 10.1016/B978-0-08-099424-6.00020-X.
- [22] H. Singh, “Basic Fundamentals of Parabolic Trough Collector Design of a Robot View project Practical Case Studies of Total Quality Management View project.” [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/336738146>
- [23] “Absolicon Solar Collector AB - Solar District Heating.” <https://www.solar-district-heating.eu/portfolio-items/absolicon-solar-collector-ab/> (accessed Aug. 26, 2022).

- [24] “Electricity production, consumption and market overview - Statistics Explained.” [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity\\_production,\\_consumption\\_and\\_market\\_overview#Electricity\\_generation](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_production,_consumption_and_market_overview#Electricity_generation) (accessed Aug. 26, 2022).
- [25] “European Union’s solar power fleet will double by 2025: SolarPower Europe - REGlobal - Mega Trends & Analysis.” <https://reglobal.co/eu-solar-market-outlook-till-2025/> (accessed Aug. 26, 2022).
- [26] M. Zeman, “PHOTOVOLTAIC SYSTEMS 9.1 Components of a PV system.”
- [27] “Solar Photovoltaics - NZEB.” <https://nzebnew.pivotaldesign.biz/knowledge-centre/renewable-energy/solar-photovoltaics/> (accessed Aug. 26, 2022).
- [28] “Ljubomir Majdandžić.” [Online]. Available: [www.ipa-oie.com](http://www.ipa-oie.com)
- [29] S. W. Director *et al.*, “McGraw-Hill Series in Electrical Engineering,” 1983.
- [30] “Handbook for Solar Photovoltaic (PV) Systems Contents.”
- [31] F. Ise and P. Projects GmbH, “Photovoltaics Report.” [Online]. Available: [www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)
- [32] A. Bhatia, “Design and Sizing of Solar Photovoltaic Systems Credit: 8 PDH.”
- [33] “Solar modules 250W - Solar module POLY SOLE 250W - Solar Webshop.” <https://www.solar-webshop.eu/en/katalog/proizvod/7/> (accessed Aug. 26, 2022).
- [34] R. J. Milcarek, K. Wang, R. L. Falkenstein-Smith, and J. Ahn, “Micro-tubular flame-assisted fuel cells for micro-combined heat and power systems,” *J Power Sources*, vol. 306, pp. 148–151, Feb. 2016, doi: 10.1016/j.jpowsour.2015.12.018.
- [35] W. Tong, “CHAPTER 1 Fundamentals of wind energy,” *WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering*, vol. 44, pp. 1755–8336, 2010, doi: 10.2495/978-1-84564-205-1.
- [36] “Subtittle if needed. If not MONTH 2018 Wind energy in Europe,” 2018.
- [37] J. Park, H. J. Jung, S. W. Lee, and J. Park, “A new building-integrated wind turbine system utilizing the building,” *Energies (Basel)*, vol. 8, no. 10, pp. 11846–11870, 2015, doi: 10.3390/en81011846.

- [38] “Hydrogen Fuel Cell Engines MODULE 4: FUEL CELL ENGINE TECHNOLOGY CONTENTS.”
- [39] M. Williams, “Science Education Manual.”
- [40] T. M. I. Riayatsyah, T. A. Geumpana, I. M. Rizwanul Fattah, S. Rizal, and T. M. Indra Mahlia, “Techno-Economic Analysis and Optimisation of Campus Grid-Connected Hybrid Renewable Energy System Using HOMER Grid,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 13, Jul. 2022, doi: 10.3390/su14137735.
- [41] “Welcome to HOMER Grid.”  
<https://www.homerenergy.com/products/grid/docs/latest/index.html> (accessed Sep. 11, 2022).
- [42] “SMJERNICE ZA ZGRADE GOTOVO NULTE ENERGIJE prvi dio.”
- [43] “Solarne elektrane 1- 10KW Fuji solar: Solar Shop.”  
<https://www.solarno.hr/katalog/proizvod/KLJUC10KW/solarne-elektrane-1-10kw-huawei-jinko> (accessed Sep. 12, 2022).
- [44] I. Renewable Energy Agency, *Renewable power generation costs in 2021*. 2022. [Online]. Available: [www.irena.org](http://www.irena.org)

## **ŽIVOTOPIS**

Josip Oreški rođen je 24. kolovoza 1997. godine u Našicama. Završio je Osnovnu školu „OŠ Ivan Brnjik Slovak“ u Jelisavcu. Nakon završetka Osnovne škole upisuje Srednju školu Isidora Kršnjavog Našice, smjer Tehničar za elektroniku, koju završava 2016. godine. Godinu dana nakon upisuje sveučilišni preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Upisani preddiplomski studij završava 2020. godine, te upisuje diplomski studij elektrotehnike, smjer održiva energetika.

---

Potpis autora