

Komparativna statistička analiza parametara isplativosti na primjeru energetski neovisnih objekata

Želežnjak, Jan

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:167502>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-12**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Završni rad

**KOMPARATIVNA STATISTIČKA ANALIZA PARAMETARA
ISPLATIVOSTI NA PRIMJERU ENERGETSKI NEOVISNIH
OBJEKATA**

Rijeka, rujan 2024.

Jan Želežnjak
0069091680

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Završni rad

**KOMPARATIVNA STATISTIČKA ANALIZA PARAMETARA
ISPLATIVOSTI NA PRIMJERU ENERGETSKI NEOVISNIH
OBJEKATA**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Ivan Dražić

Rijeka, rujan 2024.

Jan Železnjak
0069091680

Rijeka, 14.03.2024.

Zavod: Zavod za matematiku, fiziku i strane jezike
Predmet: Inženjerska matematika ET

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Jan Želežnjak (0069091680)**
Studij: Sveučilišni prijediplomski studij elektrotehnike (1030)
Zadatak: **Komparativna statistička analiza parametara isplativosti na primjeru energetske neovisnih objekata / Comparative statistical analysis of profitability parameters on the example of energy-independent buildings**

Opis zadatka:

U radu je potrebno opisati tehnike deskriptivne statistike koje se primjenjuju kod komparativne statističke analize, pri čemu posebnu pažnju treba posvetiti izračunima različitih pokazatelja centralne tendencije i rasapa te grafičkom prikazu podataka. Nadalje, potrebno je opisati temeljne statističke testove koji se koriste u komparativnoj analizi s ciljem utvrđivanja statistički značajnih razlika. U završnom dijelu rada, koristeći adekvatnu softversku podršku, potrebno je provesti komparativnu statističku analizu isplativosti različitih parametara koji se koriste pri planiranju energetske neovisnih objekata, pri čemu je navedene parametre potrebno objasniti i u kontekstu praktične primjene te izvesti odgovarajuće zaključke.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanja diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Zadatak uručen pristupniku: 20.03.2024.

Mentor:
izv. prof. dr. sc. Ivan Dražić

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:
prof. dr. sc. Dubravko Franković

IZJAVA

Sukladno članku 7. Stavku 1. Pravilnika o završnom radu, završnom ispitu i završetku sveučilišnih prijediplomskih studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci od 4. travnja 2023., izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad prema zadatku preuzetom dana 20. ožujka 2024.

Rijeka, 9. rujna 2024

Jan Želežnjak

Ovaj završni rad ne bi bio moguć bez podrške i pomoći mnogih ljudi kojima sam neizmjerano zahvalan. Prije svega, želim izraziti duboku zahvalnost svojoj obitelji, a posebno svojim roditeljima, čija je ljubav, podrška i razumijevanje bila neizmjerana. Njihova vjera u mene i nesebična podrška tijekom cijelog obrazovanja omogućili su mi da postignem svoje ciljeve. Veliko hvala ide i mojim prijateljima koji su uvijek bili uz mene, dijelili svoje znanje i poticali me na svakom koraku. Zajednički trenuci i motivacija koju smo dijelili bili su neprocjenjivi. Posebnu zahvalu upućujem svojoj djevojci, čija su prisutnost i ohrabrenje bili neizostavan dio ovog putovanja. Njeno razumijevanje i strpljenje, kao i sposobnost da me nasmije i podrži u trenucima stresa, bili su od velike važnosti. Zahvaljujem i svojoj braći, čiji su me također smijeh i radost uveseljavali u stresnim trenucima, njihova prisutnost pružila mi je motivaciju kada mi je bilo najpotrebnije. Veliku zahvalnost dugujem i svim svojim profesorima, koji su mi tijekom obrazovanja prenosili znanje. Njihova predanost pomogla mi je da razvijem svoje vještine i proširim svoje horizonte. Posebno bih želio zahvaliti svom mentoru, profesoru Ivanu Dražiću, za njegovu stalnu dostupnost, sveobuhvatne informacije i prijateljski odnos. Njegovo vodstvo i stručnost bili su ključni za uspjeh ovog rada. Hvala svima koji su na bilo koji način doprinijeli ostvarenju mojih ciljeva. Vaša podrška i vjera u mene neizmjerano su mi značile.

Sadržaj

1. Uvod	3
2. Deskriptivna statistika	4
2.1. Tehnike deskriptivne statistike	5
2.2. Mjere centralne tendencije	5
2.3. Mjere varijabilnosti	7
3. Interferencijalna statistika	12
3.1. Studentov T-test	12
4. Energetski neovisni objekti	14
4.1. Obnovljivi izvori energije	14
5. Geografski kontekst analiziranih podataka	16
5.1. Međimurska županija	16
5.2. Istarska županija	16
6. Statistička analiza solarnog i vjetroenergetskog potencijala	18
6.1. Poreč	18
6.2. Pleškovec	21
6.3. Komparativna analiza	23
7. Solarni paneli i fotonaponski sustav	24
7.1. Izračun električne energije	25
7.2. Proračun za veljaču 2013. godine	27
7.2.1. Proračun za Pleškovec	28
7.2.2. Proračun za Poreč	28
7.3. Proračun za srpanj 2013. godine	29
7.3.1. Proračun za Pleškovec	30
7.3.2. Proračun za Poreč	30
7.4. Proračun za listopad 2013. godine	30
7.4.1. Proračun za Pleškovec	31
7.4.2. Proračun za Poreč	32
7.5. Komparativna analiza	32

7.6. Proračun za 2020. godina	33
8. Zaključak	35
Literatura	36
Sažetak i ključne riječi	37
Summary and key words	38

1. Uvod

Obnovljivi izvori energije igraju ključnu ulogu u ostvarivanju ciljeva održivog razvoja, osobito u smanjenju emisija stakleničkih plinova i prelasku na ekološki prihvatljivije oblike energije. Njihova uspješna implementacija zahtijeva detaljnu analizu vremenskih i geoloških podataka kako bi se optimalno iskoristili prirodni resursi.

U ovom se radu analiziraju vremenski i geotermalni podaci za Istarsku i Međimursku županiju kako bi se procijenio njihov potencijal za razvoj korištenja sunčeve energije. Ove županije predstavljaju zanimljive primjere zbog svojih različitih klimatskih uvjeta i geografskih karakteristika, što može rezultirati specifičnim mogućnostima i izazovima.

Glavna analiza fokusira se na prikupljanje i interpretaciju podataka o sunčevom zračenju, kao ključnom faktoru za procjenu potencijala proizvodnje električne energije. Temeljem tih podataka, identificiraju se optimalne lokacije za njen razvoj. Također se istražuju ograničenja i izazovi u primjeni tih podataka te mogućnosti daljnjeg istraživanja.

Cilj rada je korištenjem statističkih metoda provesti komparativnu analizu sunčevog zračenja kako bi se procijenila isplativost korištenja sunčeve energije u Istarskoj i Međimurskoj županiji.

U radu se primjenjuju deskriptivne statističke tehnike za izračun pokazatelja centralne tendencije i rasapa sunčevog zračenja, uz grafičke prikaze rezultata, s ciljem donošenja informiranih zaključaka o isplativosti korištenja. Metode rada temelje se na pouzdanoj literaturi i izvorima, čime se osigurava valjanost i točnost rezultata.

2. Deskriptivna statistika

Statistika je ključna grana matematike koja se bavi prikupljanjem, analizom, interpretacijom i prezentacijom podataka. Kroz statističke metode moguće je donositi informirane odluke, identificirati trendove te razumjeti odnose između različitih varijabli.

Povijest statistike seže do ranih civilizacija, poput Sumerije i Egipta, gdje su prikupljeni podaci o populaciji i resursima omogućili bolje upravljanje državnim resursima. Rimsko carstvo je dalje razvilo statistiku, koristeći popise stanovništva za upravljanje zemljom i organiziranje vojne službe.

Razvoj statistike u znanstvenom smislu dogodio se u modernom dobu, kada su se počeli prikupljati podaci o demografskim i zdravstvenim aspektima populacije.

Prve moderne statističke tablice stvorili su John Graunt i William Petty, dok su kasnije ličnosti poput Pascala, Bernoullija i Laplacea pridonijele razvoju statistike kroz teoriju vjerojatnosti.

Statistika je također odigrala ključnu ulogu u razvoju meteorologije. Drevne civilizacije poput Babilonaca i Kineza pratile su vremenske obrasce i bilježile podatke o vremenskim uvjetima u svrhu poljoprivrednog planiranja. Početak modernog mjerenja vremenskih uvjeta može se pripisati Galileu Galileiju i Evangelisti Torricelliju, čiji su izumi termometra i barometra omogućili precizno praćenje temperature i tlaka.

Danas, zahvaljujući naprednim statističkim modelima i računalnim simulacijama, moguće je precizno predvidjeti vremenske prilike na temelju podataka prikupljenih putem satelita i senzora. Globalna suradnja, kroz organizacije poput Svjetske meteorološke organizacije, omogućuje učinkovitije prikupljanje i razmjenu podataka, čime se dodatno unapređuje točnost vremenskih prognoza.

Deskriptivna statistika je skup postupaka kojima se sažimaju informacije sadržane u podacima i utvrđuju glavna obilježja, odnosno činjenice o pojavi ili skupini pojava predočenih tim podacima.

Obuhvaća metode uređivanja, grupiranja podataka, njihovo tablično i grafičko prikazivanje te utvrđivanje različitih statističko analitičkih pokazatelja relativnih brojeva, razlika između najveće i najmanje vrijednosti, prosječnih vrijednosti i mjera disperzije.

Ukratko, deskriptivna statistika bavi se organiziranjem prikupljenih podataka iz uzorka te njihovim opisom pomoću numeričkih i grafičkih prikaza.

Tijekom renesanse i ranog modernog perioda, znanstvenici poput Johna Graunta počeli su formalno analizirati podatke, postavljajući temelje za današnju statistiku. Danas se deskriptivna statistika koristi u gotovo svim znanstvenim i stručnim disciplinama, uključujući ekonomiju, medicinu, društvene znanosti i meteorologiju, omogućujući analizu, sažimanje i vizualizaciju podataka

kako bi se donijele informirane odluke i razumjele složene pojave. U nastavku ćemo objasniti osnovne tehnike deskriptivne statistike, uključujući mjere centralne tendencije, mjere raspršenosti, grafičke prikaze podataka i njihove primjene u različitim područjima, s posebnim naglaskom na meteorologiju.

Ove tehnike omogućuju bolje razumijevanje i interpretaciju podataka, čineći ih ključnima za analizu i donošenje odluka u mnogim znanstvenim i praktičnim kontekstima.

2.1. Tehnike deskriptivne statistike

Deskriptivna statistika obuhvaća niz tehnika koje se koriste za sažimanje, opisivanje i prikazivanje podataka na informativan način. Ove tehnike omogućuju istraživačima da razumiju osnovne karakteristike skupa podataka bez potrebe za daljnjim statističkim testiranjem. Glavne tehnike deskriptivne statistike uključuju mjere centralne tendencije, mjere raspršenosti, mjere oblika distribucije, grafičke prikaze podataka, tablične prikaze i ostale specifične tehnike.

2.2. Mjere centralne tendencije

Mjere centralne tendencije su statistički pokazatelji koji opisuju središnju vrijednost skupa podataka. One pružaju informacije o prosječnoj ili tipičnoj vrijednosti unutar skupa podataka. Postoje tri glavne mjere centralne tendencije: aritmetička sredina, medijan i mod. Svaku mjeru centralne tendencije objasniti ćemo u nastavku, na izmišljenim primjerima.

Aritmetička sredina, često nazivana prosjek, jedna je od najvažnijih i najčešće korištenih mjera centralne tendencije u statistici. Aritmetička sredina se izračunava zbrajanjem svih vrijednosti u skupu podataka, a zatim dijeljenjem tog zbroja s brojem vrijednosti, što se može prikazati sljedećom formulom:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (2.1)$$

gdje \bar{x} predstavlja aritmetičku sredinu skupa podataka, x_i su vrijednosti, a n je broj vrijednosti u skupu.

Primjer 2.1. *Marija vodi uspješnu tvrtku za računovodstvo u kojoj je zaposleno osam osoba. Tvrtka se bavi pružanjem računovodstvenih usluga malim i srednjim poduzećima. Marija želi analizirati prosječnu mjesečnu plaću svojih zaposlenika kako bi imala bolji uvid u troškove plaća i mogla planirati buduće zapošljavanje.*

Iduća tablica jasno prikazuje raspodjelu plaća zaposlenika u Marijinoj tvrtki za računovodstvo, kao i njihove trenutne pozicije unutar same tvrtke.

Iz tablice možemo vidjeti da je ukupan broj zaposlenika u tvrtki 8, pa primjenom formule za aritmetičku sredinu slijedi:

$$\bar{X} = \frac{800 + 850 + 1200 + 1300 + 1500 + 1600 + 1800 + 2100}{8} = 1393.75 \text{ €} \quad (2.2)$$

Tablica 2.1. Prikaz prihoda zaposlenika.

Zaposlenik	Pozicija	Mjesečna plaća (EUR)
Ana	Pripravnica	800
Ivan	Pripravnik	850
Petra	Računovodstveni asistent	1200
Marko	Računovodstveni asistent	1300
Luka	Računovođa	1500
Klara	Računovođa	1600
Maja	Viši računovođa	1800
Marija	Direktorica	2100

Ovaj izračun pomaže Mariji da bolje razumije raspodjelu plaća unutar svoje tvrtke, te joj omogućuje donošenje informiranih odluka o budućim zapošljavanjima i prilagodbi plaća kako bi održala zadovoljstvo i motivaciju svojih zaposlenika.

Medijan je mjera centralne tendencije koja predstavlja položaju srednju vrijednost skupa podataka, odnosno to je broj od kojeg je pola podatak veće, a pola podataka manje. Ako skup podataka ima neparan broj vrijednosti, medijan je srednja vrijednost, ako pak ima paran broj, medijan je prosjek dviju srednjih vrijednosti.

Primjer 2.2. Ivana vodi tvrtku za proizvodnju etiketa koja se bavi izradom različitih vrsta etiketa za prehrambene proizvode, pića i kozmetiku. U njezinoj tvrtki rade zaposlenici koji svakodnevno proizvode različite količine etiketa. Ivana želi analizirati koliko etiketa njezini zaposlenici proizvedu dnevno kako bi utvrdila koja je tipična dnevna proizvodnja etiketa i da li postoje značajne varijacije. Pripadni podaci navedeni su u sljedećoj tablici.

Tablica 2.2. Količina proizvedenih etiketa po danu

Dan	Količina bala etiketa
Ponedjeljak	800
Utorak	1300
Srijeda	1800
Četvrtak	950
Petak	1000
Subota	1100
Nedjelja	500

Kako bi mogli odrediti medijan, dane podatke najprije treba poredati po veličini:

500, 800, 950, 1000, 1100, 1300, 1800

Medijan je srednja vrijednost podataka u poredanom skupu, što je ovdje četvrti podatak, odnosno 1000.

Ivana je pomoću medijana uspjela dobiti bolji uvid u raspodjelu dnevne proizvodnje etiketa unutar svoje tvrtke. Dok aritmetička sredina može biti korisna za dobivanje prosječne vrijednosti, medijan pruža jasniju sliku o tome kako je proizvodnja raspodijeljena i pomaže u identifikaciji eventualnih nejednakosti ili izuzetaka. Naime, za razliku od aritmetičke sredine medijan je neosjetljiv na ekstreme i ispade u podacima.

Mod je mjera koja predstavlja vrijednost koja se najčešće pojavljuje u skupu podataka. Mod ne mora postojati, a može ih biti i nekoliko. Ekstremne vrijednosti ne utječu na mod kao što ne utječu ni na medijan.

Primjer 2.3. Marko vodi malu tvrtku koja se bavi proizvodnjom slatkiša. Tvrtka proizvodi nekoliko različitih vrsta bombona, a Marko želi analizirati koje vrste bombona su najpopularnije među kupcima kako bi mogao optimizirati proizvodnju. Na temelju podataka o prodaji u posljednjem tjednu, Marko želi saznati koji je bombon najviše prodavan, a taj podatak je upravo mod. Markovi podaci prikazani su u sljedećoj tablici.

Tablica 2.3. Vrsta i broj prodanih bombona

Vrsta bombona	Broj prodanih
Čokoladni	150
Voćni	200
Karamel	200
Bomboni s mentom	50
Gumeni bomboni	250

Iz dane tablice možemo vidjeti da su se najviše prodavali gumeni bomboni te su upravo oni mod danog skupa podataka.

U slučaju Markove tvrtke, mod je pomogao u identifikaciji najprodavanije količine bombona, što mu omogućuje optimizaciju proizvodnje kako bi se fokusirao na najtraženije proizvode.

2.3. Mjere varijabilnosti

Mjere varijabilnosti su statistički pokazatelji koji kvantificiraju širinu ili raspršenost podataka unutar skupa. To su raspon, interkvartilni raspon, varijanca, standardna devijacija i koeficijent varijacije. Oni pružaju informacije o tome koliko podaci odstupaju od središnje vrijednosti, poput aritmetičke sredine.

Raspon predstavlja razliku između najveće i najmanje vrijednosti u skupu podataka, pa se može izraziti formulom

$$R = X_{\max} - X_{\min}. \quad (2.3)$$

Primjer 2.4. Pretpostavimo da Marko ima set podataka koji predstavlja visine učenika u razredu:

150 cm, 160 cm, 165 cm, 170 cm, 175 cm, 180 cm, 185 cm.

Najmanja vrijednost X_{min} je 150 cm, a najveća vrijednost X_{max} je 185 cm. Primjenom formule za raspon slijedi

$$R = 185 - 150 = 35 \text{ cm.} \quad (2.4)$$

Raspon visina učenika u Markovom razredu iznosi 35 cm. To znači da je razlika između najvišeg i najnižeg učenika 35 cm.

Interkvartilni raspon je statistička mjera koja se koristi za opisivanje širine sredine skupa podataka. On mjeri razliku između trećeg kvartila (Q_3) i prvog kvartila (Q_1), čime se izračunava koliko su podaci raspršeni oko medijana. Kvartili dijele skup podataka na četiri jednaka dijela, pri čemu:

- Prvi kvartil (Q_1) označava donju granicu najnižih 25% podataka.
- Treći kvartil (Q_3) označava donju granicu najviših 75% podataka.

Interkvartilni raspon (IQR) se računa prema formuli:

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (2.5)$$

Interkvartilni raspon pokazuje se korisnijim od ukupnog raspona koji uzima u obzir samo najnižu i najvišu vrijednost, budući se fokusira na središnju polovicu podataka i time je manje osjetljiv na ekstremne vrijednosti. Na taj način, IQR daje pouzdaniju sliku o raspršenosti podataka kada postoji velika razlika između pojedinih vrijednosti u skupu podataka.

Pojam kvartila dodatno je ilustriran na sljedećoj slici.



Slika 2.1. Podjela kvartila. Izvor: izrada autora

Primjer 2.5. U skupu potaka zadanom s

10, 12, 14, 18, 21, 22, 24

Prvi kvartil (Q_1) je 12 (25% podataka je ispod te vrijednosti), dok je treći kvartil (Q_3) 22 (75% podataka je ispod te vrijednosti).

Interkvartilni rang bi bio:

$$IQR = 22 - 12 = 10. \quad (2.6)$$

To znači da je srednja polovica podataka raspršena unutar 10 jedinica u ovom primjeru.

Varijanca je mjera koja kvantificira raspršenost podataka unutar skupa. Može se izračunati kao varijanca cijele populacije ili kao varijanca uzorka, a izračunava se kao prosječna kvadratna udaljenost svih vrijednosti od aritmetičke sredine. Zbog kvadriranja razlika, varijanca uvijek ima pozitivan iznos, osim kada su sve vrijednosti u skupu jednake, tada je varijanca 0.

Varijanca populacije radi procjenu varijance obilježja temeljem čitave populacije, dok varijanca uzorka to radi temeljem uzorka izvučenog iz populacije.

Varijanca populacije (σ^2) računa se pomoću sljedeće formule:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}, \quad (2.7)$$

gdje je:

- σ^2 varijanca populacije,
- N broj podataka u populaciji,
- x_i pojedinačne vrijednosti podataka,
- μ aritmetička sredina promatranog obilježja populacije.

Varijanca uzorka (s^2) se računa pomoću formule:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}, \quad (2.8)$$

gdje je:

- s^2 varijanca uzorka,
- n broj podataka u uzorku,
- x_i pojedinačne vrijednosti podataka,
- \bar{x} aritmetička sredina uzorka.

Primjer 2.6. *Vozač Formule 1 postigao je sljedeće brzine na pet različitih krugova:*

220 km/h, 225 km/h, 218 km/h, 230 km/h, 228 km/h.

Odredimo varijancu brzine temeljem ovog uzorka. Najprije računamo \bar{x} . Dobivamo

$$\bar{x} = \frac{220 + 225 + 218 + 230 + 228}{5} = \frac{1121}{5} = 224.2 \text{ km/h}. \quad (2.9)$$

Sada možemo izračunati i varijancu.

$$s^2 = \frac{(220 - 224.2)^2 + (225 - 224.2)^2 + \dots}{5 - 1}, \quad (2.10)$$

pa je

$$s^2 = \frac{(-4.2)^2 + (0.8)^2 + (-6.2)^2 + (5.8)^2 + (3.8)^2}{4} = \frac{104.8}{4} = 26.2 \text{ km/h}^2. \quad (2.11)$$

Varijanca brzine vozača u ovih pet krugova iznosi 26.2 km/h^2 , što pokazuje raspršenost podataka oko aritmetičke sredine.

Standardna devijacija je mjera raspršenosti skupa podataka koja opisuje koliko su pojedinačne vrijednosti različite od prosjeka, odnosno koliko podaci odstupaju od aritmetičke sredine. Standardna devijacija nije ništa drugo nego kvadratni korijen varijance, pa je isto tako možemo računati temeljem populacije i uzorak.

Vrijede formule:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}}, \quad (2.12)$$

za standardna devijaciju populacije, te

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}, \quad (2.13)$$

za standardnu devijaciju uzorka, uz iste oznake kao i kod formula za varijancu.

Primjer 2.7. Popis startera Arsenal protiv Chelsea u FA Cup-u ima sljedeće brojeve stopala:

42, 44, 43, 45, 44, 46, 43, 42, 44, 45, 43

Određimo standardu devijaciju tog obilježja.

Najprije imamo:

$$\bar{x} = \frac{42 + 44 + 43 \dots}{11} = \frac{481}{11} \approx 43.73. \quad (2.14)$$

Sada je

$$\sum_{i=1}^{11} (x_i - 43.73)^2 \quad (2.15)$$

i konačno

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{11} (x_i - 43.73)^2}{11 - 1}} = \sqrt{\frac{15.15}{10}} = \sqrt{1.515} \approx 1.23. \quad (2.16)$$

Standardna devijacija brojeva nogu nogometaša Arsenal u ovom primjeru iznosi približno 1.23. To znači da se brojevi nogu većine igrača razlikuju od aritmetičke sredine za oko 1.23.

Koeficijent varijacije oznake V je statistička mjera koja izražava relativnu varijabilnost podataka. Izračunava se tako da se standardna devijacija uzorka podijeli s aritmetičkom sredinom tog uzorka, a rezultat se pomnoži sa 100. Omogućuje usporedbu raspršenosti podataka u različitim skupovima, bez obzira na njihove apsolutne vrijednosti.

Koeficijent varijacije izražava se formulom na sljedeći način:

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100, \quad (2.17)$$

gdje je:

- V koeficijent varijacije,
- s standardna devijacija uzorka,
- \bar{x} aritmetička sredina uzorka.

Napomenimo da se koeficijent varijacije može odrediti i temeljem populacije, a ne samo uzorka.

Primjer 2.8. *Uzmemo li podatke od aritmetičkoj sredini i standardnoj devijaciji iz prethodnog primjera, koeficijent varijacije bi iznosio:*

$$V = \frac{1.23}{43.73} \cdot 100 = 2.81\%. \quad (2.18)$$

Niska vrijednost koeficijenta varijacije ukazuje na to da su podaci relativno konzistentni i homogeni u odnosu na svoju aritmetičku sredinu, dok visoka vrijednost ukazuje na veću varijabilnost podataka. Iz pokazatelja u ovom primjeru možemo zaključiti da su podaci homogeni.

3. Interferencijalna statistika

Inferencijalna statistika koristi metode koje omogućuju donošenje zaključaka o populaciji na temelju analize uzorka, koji predstavlja manji skup slučajno odabranih elemenata te populacije. Temelji se na teoriji vjerojatnosti, konkretnije slučajnim varijablama.

Podaci za primjenu inferencijalne statistike dolaze iz statističkih pokusa, mjerenja ili opažanja uzorka. Postoje dva glavna područja inferencijalne statistike: procjena parametara i testiranje hipoteza.

Parametri su karakteristike populacije, poput broja elemenata, koeficijenta korelacije ili standardne devijacije. Procjena se vrši na temelju uzorka i teorijskih modela, primjerice normalne raspodjele, te donosi zaključke uz određenu razinu pouzdanosti.

Testiranje hipoteza provjerava tvrdnje o parametrima populacije ili odnosima među varijablama. Proces počinje postavljanjem nulte i alternativne hipoteze, koje su međusobno suprotstavljene. Odluka se donosi na temelju uzorka, uz mogućnost greške – odbacivanja istinite nulte hipoteze ili prihvatanja lažne. Zaključci se temelje na primjeni odgovarajućeg statističkog testa

U ovom radu koristimo statistički test kojim uspoređujemo srednje vrijednosti dvaju populacija, a to je Studentov t-test.

3.1. Studentov T-test

T-test je statistički postupak za testiranje značajnosti razlike srednje vrijednosti dvaju populacija koji se temelji na podacima dvaju uzoraka iz tih populacija. Njime možemo ispitati postoji li primjerice statistički značajna razlika između, muškaraca i žena u preferenciji fizikalne terapije ili između zadovoljstva poslom na različitim odjelima.

Ako t-test pokaže da razlika među aritmetičkim sredinama nije statistički značajna, kažemo da potvrđujemo nul-hipotezu. Ako je razlika značajna, nul-hipoteza se odbacuje. Nul-hipoteza pretpostavlja da nema značajne razlike u podacima, odnosno da su uočene razlike posljedica slučajnosti. Drugim riječima, cilj testiranja je utvrditi postoji li dovoljno dokaza za odbacivanje nul-hipoteze u korist alternativne hipoteze, koja sugerira da postoji značajna razlika. Ako se nul-hipoteza odbaci, to znači da je uočena razlika vjerojatno stvarna, a ne slučajna.

T-test se bazira na sljedećem izrazu:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (3.1)$$

gdje je:

- t test statistika,
- \bar{x} aritmetička sredina uzorka,
- μ_0 hipotetska srednja vrijednost populacije,
- s standardna devijacija uzorka,
- n broj podataka u uzorku.

Ovaj izraz koristimo ako želimo utvrditi razlikuje li se srednja vrijednost od nekog unaprijed definiranog broja μ_0 . Ukoliko je vrijednost testne statistike dovoljno utvrdit ćemo da razlike nema, odnosno potvrdit ćemo nul-hipotezu. Ako je vrijednost testne statistike dovoljno velika odbacujemo nul-hipotezu i tvrdimo da razlika postoji. Granične vrijednosti temeljem kojih nul-hipotezu potvrđujemo ili odbacujemo dane su u statističkim tablicama.

Ako želimo utvrditi postoji li razlika u srednjoj vrijednosti između srednje vrijednosti dviju populacija temeljem dva nezavisna uzorka, koristimo sljedeći izraz:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}, \quad (3.2)$$

gdje je

- t test statistika,
- \bar{X}_1 i \bar{X}_2 su aritmetičke sredine dvaju nezavisnih uzoraka,
- s_1^2 i s_2^2 su varijance dvaju uzoraka,
- n_1 i n_2 su veličine (broj podataka) uzoraka.

Napomenimo da se u današnje vrijeme ovi testovi rijetko provode ručno, već se uglavnom rade putem različitih softverskih rješenja. Također svaki test ima određene pretpostavke za primjenu koje softveri automatski provjeravaju, u što zbog kompleksnosti područja ovdje nećemo ulaziti. U ovom radu t-test provodimo putem aplikacije MS Excel.

4. Energetski neovisni objekti

Energetski neovisan objekt proizvodi dovoljnu količinu energije potrebne za svoje funkcioniranje, neovisno o vanjskim izvorima energije koristeći obnovljive izvore energije poput solarne, vjetroelektrane ili geotermalne energije. Upravo to korištenje mu omogućuje minimalan utjecaj na okoliš i smanjenje troškova energije.

Energetska neovisnost često podrazumijeva integraciju sustava za skladištenje energije, kao što su baterije, te visoku razinu energetske učinkovitosti kako bi se optimizirala potrošnja energije unutar objekta. Vanjski izvori energije odnose se na energiju koja se dobiva izvan objekta, najčešće kroz distribucijske mreže koje opskrbljuju zgrade električnom energijom, plinom, toplinskom energijom ili drugim oblicima energije.



Slika 4.1. Energetski neovisan objekt. Izvor: www.pgn-tree.com

4.1. Obnovljivi izvori energije

Obnovljivi izvori energije su oni izvori koji se prirodno obnavljaju i neiscrpni su u ljudskom vremenskom okviru. Uključuju sunčevu energiju, vjetroenergiju, biomasu, geotermalnu energiju i hidroenergiju.

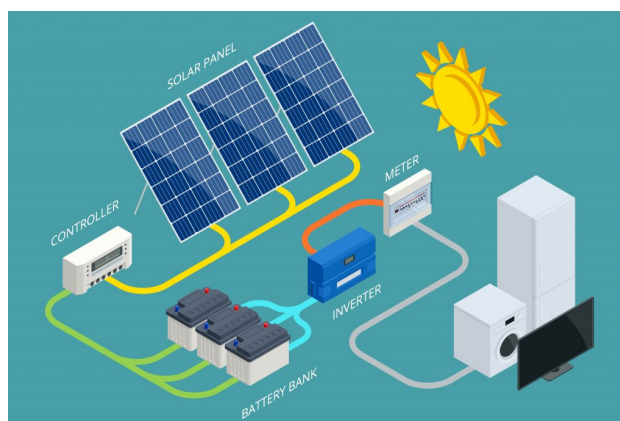
Korištenje obnovljivih izvora energije donosi brojne prednosti, poput smanjenja emisija stakleničkih plinova, što doprinosi ublažavanju klimatskih promjena, te smanjenja ovisnosti o fosilnim gorivima, čime se povećava energetska sigurnost.

Povijest korištenja obnovljivih izvora seže daleko u prošlost, kada su drevne civilizacije koristile sunčevu energiju za grijanje, vjetar za pogon brodova i vjetrenjače, a biomasu za kuhanje i grijanje. Ipak, tek posljednjih desetljeća, uz napredak tehnologije, obnovljivi izvori energije postali su ozbiljan kandidat za zamjenu fosilnih goriva u proizvodnji električne energije, grijanju i transportu.

Prema hrvatskom Zakonu o energiji, obnovljivi izvori definiraju se kao izvori energije koji se obnavljaju u cijelosti ili djelomično, poput energije vodotoka, vjetra, sunčeve energije, biodizela, biomase, bioplina i geotermalne energije. Kao članica EU-a, Hrvatska je prihvatila klimatsko-energetski paket, uključujući Direktivu 2009/28/EZ o poticanju uporabe obnovljivih izvora energije. U okviru toga, Hrvatska se obvezala povećati udio energije iz obnovljivih izvora na najmanje 20% bruto neposredne potrošnje do 2020. godine, sukladno ciljevima EU-a.

Sunčeva energija jedan je od najčišćih i najdostupnijih oblika obnovljive energije, koju Zemlja prima u obliku solarne radijacije. Sunčeva energija je sigurna, neprekidna i ekološki prihvatljiva, a njen značaj za život na Zemlji poznat je od davnina. Posljednjih nekoliko godina s razvojem tehnologije postala je ozbiljna alternativa fosilnim gorivima u proizvodnji električne energije, grijanju i transportu.

Prvi solarni paneli razvijeni su 1954. godine u Bell Laboratories, a danas su fotonaponski paneli i solarni termalni sustavi ključne komponente modernih energetskih sustava. Hrvatska, s više od 2.500 sunčanih sati godišnje, posebno u južnim i obalnim područjima, ima značajan potencijal za razvoj solarnih elektrana. Ovaj potencijal može značajno doprinijeti energetskej neovisnosti zemlje i smanjenju emisija stakleničkih plinova.



Slika 4.2. Sustav solarne elektrane. Izvor: www.esdsolar.com

5. Geografski kontekst analiziranih podataka

U ovom radu koristimo se podacima prikupljenima u dvije županije - Međimurskoj županiji i Istarskoj županiji. U ovom poglavlju opisujemo geografski kontekst tih županija neophodan za razumijevanje tematike rada.

5.1. Međimurska županija

Međimurska županija smještena je na sjeveru Hrvatske, između rijeka Mure na sjeveru i Drave na jugu. Graniči s Republikom Slovenijom na zapadu i Mađarskom na istoku. Glavni grad županije je Čakovec, koji je također administrativno, kulturno i gospodarsko središte regije.

Županija je poznata po svojoj plodnoj ravnici, koja je izuzetno pogodna za poljoprivredu. Reljef je uglavnom ravničarski s blagim brežuljcima, što omogućuje učinkovitu uporabu različitih vrsta obnovljivih izvora energije. Međimurje kao najmanja županija u Republici Hrvatskoj ima potencijal za korištenje nekoliko vrsta obnovljivih izvora energije, uključujući sunčevu energiju, biomasu, geotermalnu energiju i vjetroenergiju.



Slika 5.1. Međimurska županija. Izvor: www.wikipedia.com

5.2. Istarska županija

Istarska županija smještena je na zapadnom dijelu Hrvatske i obuhvaća najveći poluotok Jadranskog mora. Graniči s Republikom Slovenijom na sjeveru, dok ju Jadransko more okružuje s jugozapada. Glavni grad županije je Pazin, dok su najveći gradovi Pula, Rovinj, Poreč i Umag.

Poznata po svojoj raznolikoj prirodi, od obalne linije s brojnim zaljevima i uvalama do unutrašnjih brežuljaka i plodnih dolina. Mediteranska klima s blagim zimama i toplim ljetima čini Istru

pogodnom za različite oblike poljoprivrede, turizma i, što je posebno važno, obnovljivih izvora energije. Ima veliki potencijal za korištenje nekoliko vrsta obnovljivih izvora energije, uključujući sunčevu energiju, vjetroenergiju, biomasu, energiju valova i geotermalnu energiju.



Slika 5.2. Istarska županija. Izvor: www.karta.com.hr

6. Statistička analiza solarnog i vjetroenergetskog potencijala

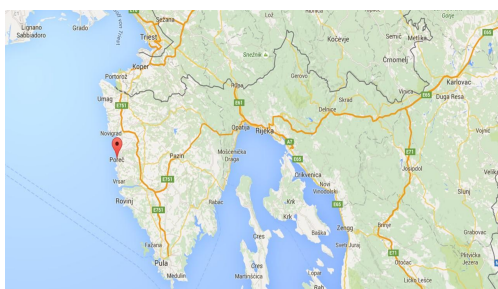
U ovom poglavlju analizirat ćemo sunčev i vjetroenergetski potencijal Istarske i Međimurske županije, s posebnim fokusom na Poreč u Istri i Pleškovec kraj Čakovca u Međimurju, budući su to dvije regije s različitim klimatskim i geografskim uvjetima.

Na temelju prikupljenih podataka izračunat ćemo mjere centralne tendencije, poput aritmetičke sredine, medijana i standardne devijacije, te ćemo rezultate prikazati grafički putem boxplot dijagrama kako bismo dobili bolji uvid u raspon i distribuciju podataka. Provest ćemo t-test kako bismo statistički testirali razlike između dvaju skupova podataka i procijenili potencijal za proizvodnju električne energije.

Na kraju ćemo izračunati godišnju proizvodnju električne energije iz sunčeve i vjetroenergije za hipotetski energetska neovisan objekt smješten u svakoj županiji, čime ćemo procijeniti održivost i potencijal tih obnovljivih izvora u stvaranju energetska neovisnih objekata.

6.1. Poreč

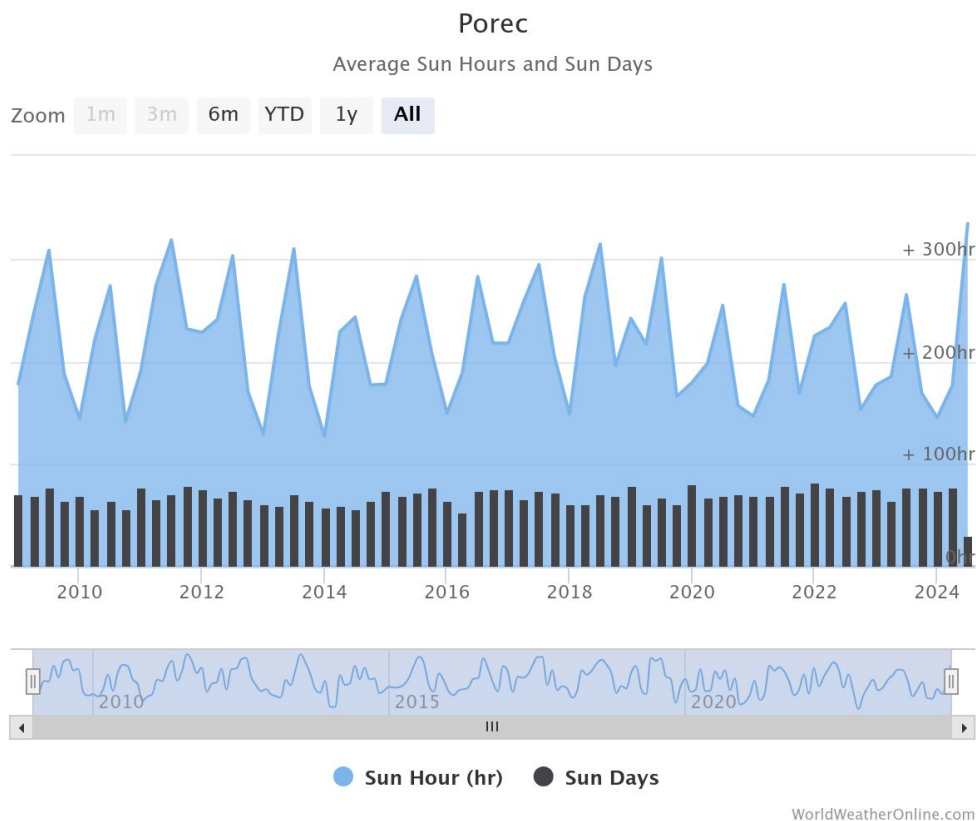
Poreč je grad na zapadu Hrvatske smješten na zapadnoj obali poluotoka Istre. Star je gotovo dvije tisuće godina, nalazi se u luci koju od mora štiti otočić Sveti Nikola. U samom gradu prema popisu stanovništva 2011. godine obitava 9790 stanovnika, većina živi u predgrađima. Istarsko priobalje najbliži je dio toplog Sredozemnog mora srcu Europe. Mediteranska se klima duž obale postupno mijenja prema unutrašnjosti Istre. Blage i ugodne zime, zaista su kratke naprema toplim i suhim ljetima. [11]



Slika 6.1. Poreč na karti. Izvor: www.Wikipedia.com

Solarni potencijal za grad Poreč predstavlja količinu sunčeve energije koja se može pretvoriti u električnu, a ovisi o nekoliko faktora, uključujući lokaciju, orijentaciju krova, nagib krova i lokalne vremenske uvjete te broj sunčanih dana. Također, krov koji je okrenut prema jugu i ima nagib od oko 30 stupnjeva smatra se idealnim za instalaciju solarnih panela. Hrvatska je inače jedna od članica EU s najvećim solarnim potencijalom, a najsunčaniji dijelovi su uz sjevernu i južnu obalu Jadrana

Idući graf prikazuje prosječan broj sunčanih sati i sunčanih dana za Poreč u razdoblju od 2009. do 2024. godine. Ovi podaci su ključni za procjenu solarne potencijalnosti u ovom području. Iako graf obuhvaća vremenski period do 2024. godine, za potrebe daljnjih proračuna koristit ćemo podatke zaključno s 2023. godinom. [12]



Slika 6.2. Prikaz broja sunčanih sati i sunčanih dana. Izvor: www.WorldWeatheronline.com

Graf je izvorno podijeljen u četiri segmenta unutar godine, koji prikazuju broj sunčanih sati za sljedeće vremenske intervale:

- Siječanj - Ožujak
- Travanj - Lipanj
- Srpanj - Rujan
- Listopad - Prosinac

Ovakva podjela omogućava detaljnu analizu sezonskih varijacija u sunčevom zračenju, što je ključno za precizne procjene u energetski neovisnim projektima. Segmentacija po kvartalima također pruža uvid u to koje doba godine pruža najviše sunčanih sati, što je značajno za optimizaciju postavljanja i rada solarnih panela.

Tablica 6.1. Broj sunčanih sati po razdoblju i godinama za naselje Poreč.

Razdoblje	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Siječanj - Ožujak	129	127	176	149	217	149	242	180	146	225	177
Travanj - Lipanj	227	229	241	189	258	263	217	198	181	233	185
Srpanj - Rujan	309	243	283	282	294	314	300	254	275	256	276
Listopad - Prosinac	176	177	208	218	205	196	166	157	169	153	169

Iz dobivenih podataka, prema formulama navedeni u prethodnoj tablici možemo izračunati godišnji prosječni broj sunčanih sati. Tako za 2016. imamo sljedeći izračun:

$$\bar{x} = \frac{149 + 189 + 282 + 218}{4} = \frac{838}{4} = 209.5. \quad (6.1)$$

Na temelju izračuna možemo zaključiti da je prosječan broj sunčanih sati za razdoblje unutar cijele godine približno jednak 209.5.

U našem skupu od 4 podatka za razdoblje 2016. godine, medijan će biti prosjek dviju srednjih vrijednosti:

$$\text{Medijan} = \frac{189 + 218}{2} = \frac{407}{2} = 203.5. \quad (6.2)$$

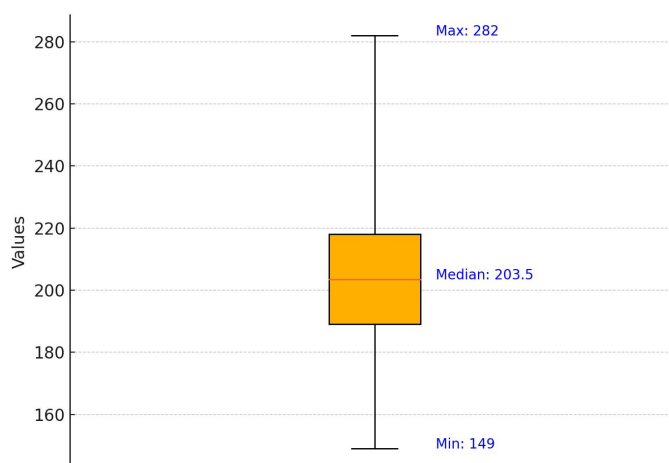
U našem se skupu nalaze četiri različita podatka što znači da mod nije moguće odrediti.

Što se pokazatelja rasapa tiče dobivamo da je raspon $282 - 149 = 133$, dok za interkvartilni raspon dobivamo:

$$\text{IQR} = 218 - 189 = 29. \quad (6.3)$$

Izračuni pokazuju da su vrijednosti u sredini skupa relativno blizu jedne drugima, unutar raspona od 29 sunčanih sati.

Prikažimo sada dobivene rezultate grafički, koristeći box plot dijagram.

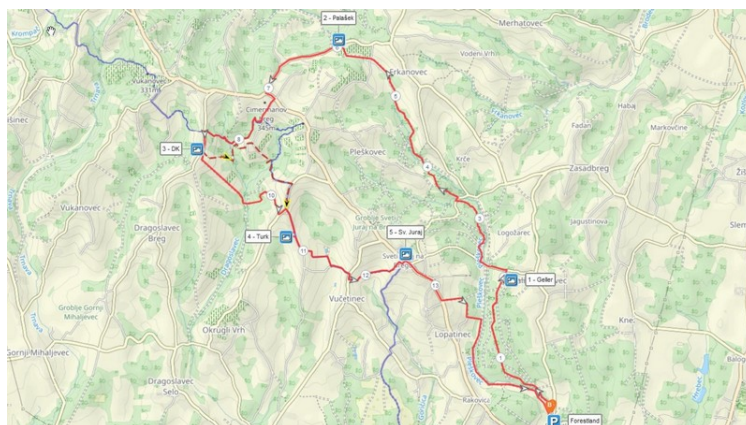


Slika 6.3. Boxplot dijagram za 2016. godinu. Izvor: izrada autora

Ovaj grafikon prikazuje odnos minimuma, maksimuma, donjega i gornjega kvartila te medijana podataka.

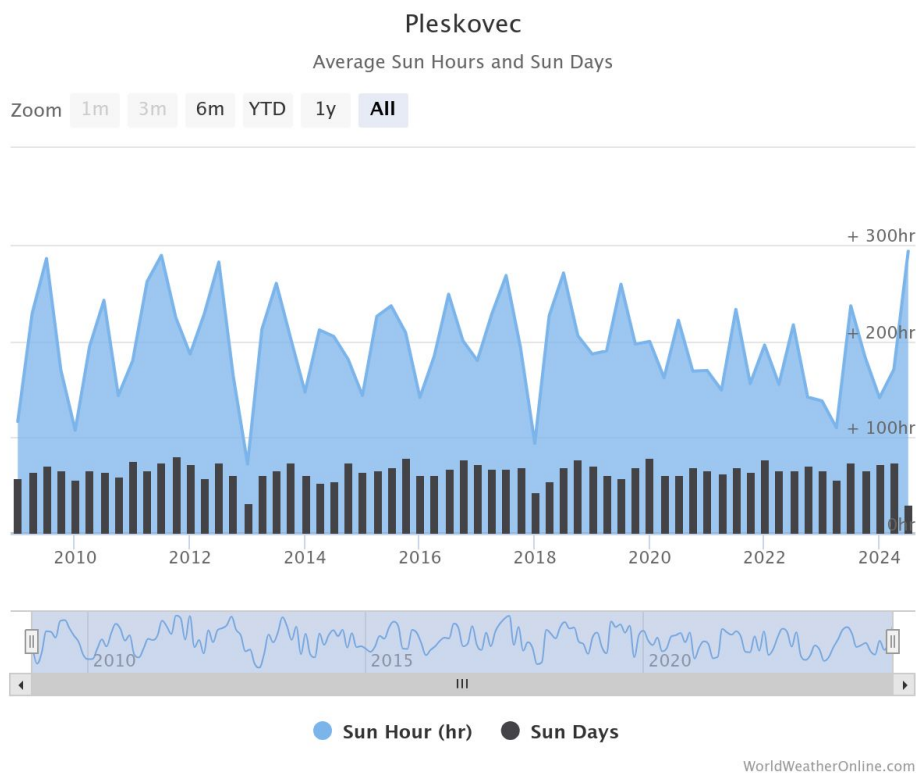
6.2. Pleškovec

Pleškovec je naselje u Republici Hrvatskoj, pripada Općini Sveti Juraj na Bregu, Međimurska županija. Prema popisu stanovništva iz 2001. godine, naselje je imalo 451 stanovnika te 137 obiteljskih kućanstava. [13]



Slika 6.4. Pleškovec na karti. Izvor: www.Wikipedia.com

Naselje predstavlja interesantno područje za istraživanje solarnog potencijala. Ovo naselje, kao i cijela regija, bit će predmet detaljnije analize u narednim dijelovima rada. Kroz statističku obradu podataka, procijenit ćemo mogućnosti za primjenu solarne energije i istražiti koliko je ovaj potencijal iskoristiv u lokalnim uvjetima. Kao i kod Poreča najprije prikazujemo broj sunčanih sati.



Slika 6.5. Dijagram broja sunčanih sati i sunčanih dana. Izvor: www.WorldWeatheronline.com

Broj sunčanih sati tabelarno je prikazan u sljedećoj tablici.

Tablica 6.2. Broj sunčanih sati po razdoblju i godinama za naselje Pleškovec.

Razdoblje	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Siječanj - Ožujak	72	147	143	141	180	94	186	199	169	196	138
Travanj - Lipanj	212	211	225	184	193	226	190	162	149	155	110
Srpanj - Rujan	260	205	236	248	268	270	259	221	233	217	236
Listopad - Prosinac	203	181	209	200	193	205	197	169	156	142	183

Na isti način kao i za Poreč dobivamo pokazatelje centralne tendencije za 2016. godinu

$$\bar{x} = \frac{141 + 184 + 248 + 200}{4} = \frac{773}{4} = 193.25 \text{ Sun/h} \quad (6.4)$$

Na temelju izračuna možemo zaključiti da je prosječan broj sunčanih sati za razdoblje unutar cijele godine približno jednak 193.25. Ovaj rezultat predstavlja prosjek sunčanih sati za sva četiri promatrana kvartalna razdoblja zajedno.

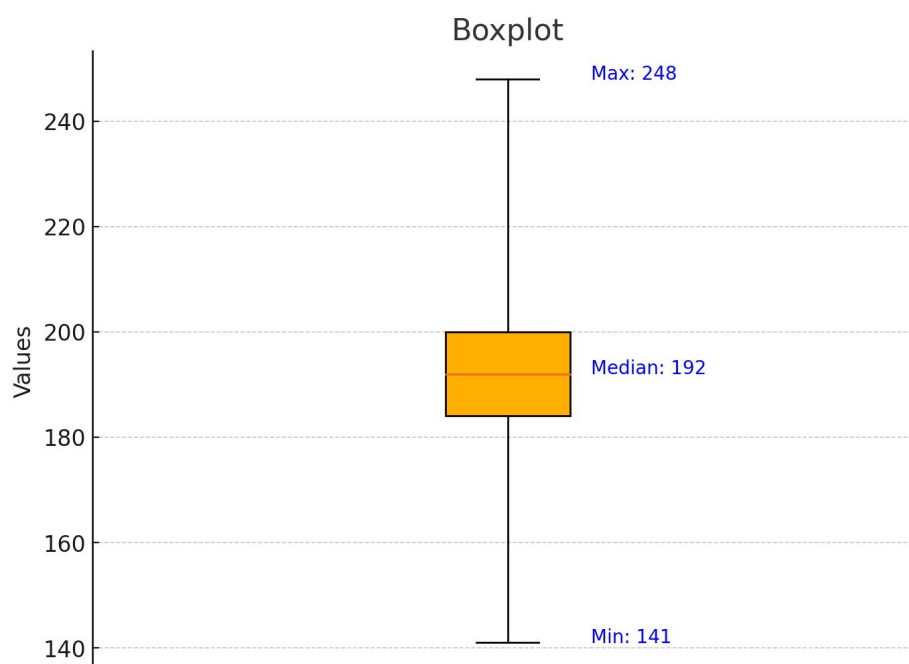
Medijan će biti jednak:

$$\frac{184 + 200}{2} = \frac{384}{2} = 192, \quad (6.5)$$

dok kao i kod Poreča možemo zaključiti da ne postoji mod.

Raspon je $248 - 141 = 107$, dok za interkvartilni raspon dobivamo $248 - 184 = 64$.

Box plot dijagram za ove podatke dan je na sljedećoj slici.



Slika 6.6. Boxplot dijagram 2016. godina. Izvor: izrada autora

6.3. Komparativna analiza

Kako bi utvrdili postojanje razlika između ove dvije lokacije provodimo t-test unutra programskog paketa MS Excel. Rezultati testiranja prikazani su na sljedećoj slici.

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances			
	149	141	
Mean	229,6667	210,6667	
Variance	2264,333	1109,333	
Observations	3	3	
Hypothesized Mean Difference	0		
df	4		
t Stat	0,566582		
P(T<=t) one-tailed	0,300639		
t Critical one-tailed	2,131847		
P(T<=t) two-tailed	0,601277		
t Critical two-tailed	2,776445		

Slika 6.7. T-test. Izvor: Excel

t-test za dva uzorka uspoređuje srednje vrijednosti dviju skupina kako bi se utvrdilo postoji li statistički značajna razlika između njih, a rezultat testa interpretira se putem p -vrijednost. Ona predstavlja vjerojatnost da je uočena razlika rezultat slučajnosti. Ako je p -vrijednost manja od standardne razine značajnosti koja iznosi 0.05, tada se smatra da postoji statistički značajna razlika.

Zaključno, u ovom slučaju, p -vrijednosti su veće od 0.05, što znači da ne možemo zaključiti da postoji značajna razlika između uzoraka, iako je deskriptivno prosječan broj sunčanih sati u Poreču veći.

Napomenimo, da smo analizu ovdje proveli za svega tri podatka iz jedne godine i da bi uključivanje većeg broja podataka moglo promijeniti zaključak.

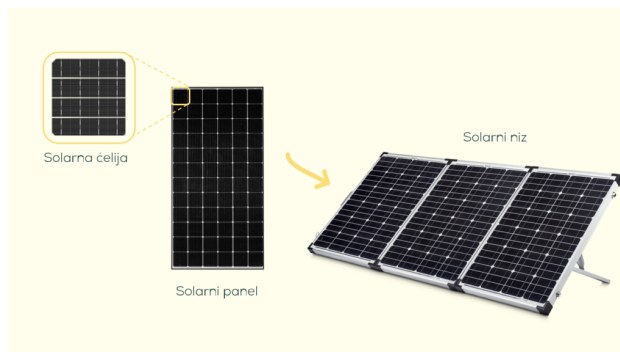
7. Solarni paneli i fotonaponski sustav

Solarni paneli proizvode električnu energiju iz sunčeve svjetlosti koristeći fotonaponske ćelije. Kada sunčeva zraka padne na fotonaponsku ćeliju, dolazi do interakcije sa silicijskim atomima unutar ćelije, što uzrokuje kretanje elektrona. Ovi elektroni prenose energiju do vodiča, čime se generira električna struja.

S obzirom na to da jedna ćelija proizvodi napon od samo oko 0,5 V, rijetko se koristi samostalno. Umjesto toga, više ćelija se električno povezuje i postavlja u zajedničko kućište otporno na vremenske uvjete, stvarajući tako osnovnu jedinicu solarnog sustava poznatu kao solarni ili fotonaponski modul.

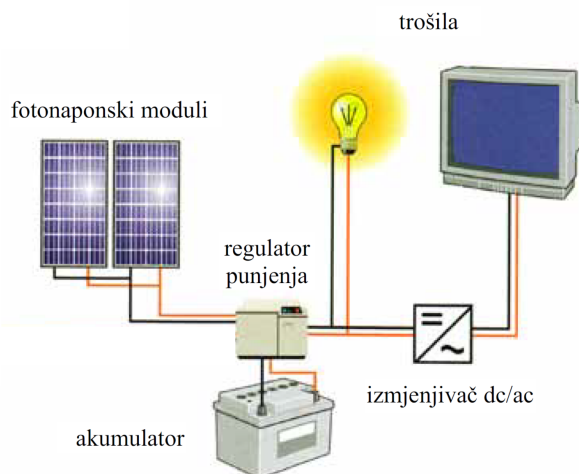
Solarni moduli obuhvaćaju fotonaponske ćelije i njihovo ožičenje unutar zaštitnog okvira koji ih štiti od vanjskih utjecaja. Kada se više modula međusobno poveže, oni tvore solarni ili fotonaponski panel.

Solarni paneli dodatno pojačavaju, štite i usmjeravaju energiju generiranu iz pojedinačnih modula fotonaponskih ćelija. Moduli se dalje mogu povezivati u veće skupine, stvarajući solarne ili fotonaponske nizove ili polja, koji omogućuju proizvodnju veće količine energije.



Slika 7.1. Solarni panel. Izvor: www.nasuncanjojstrani.hr

Fotonaponski sustav pretvara solarne energiju u električnu koristeći fotonaponske module, izmjenjivače, regulator punjenja i baterijski sustav. Solarne ćelije unutar modula spojene su serijski i paralelno kako bi postigle željenu snagu; serijskim spajanjem povećava se napon, a paralelnim struja. Fotonaponski sustavi mogu biti samostojeći, gdje opskrbljuju potrošače neovisno o mreži, uz pohranu energije, ili mrežni, gdje su povezani s električnom mrežom te višak proizvedene energije predaju u mrežu, dok se manjak nadoknađuje iz mreže.



Slika 7.2. Samostojeći fotonaponski sustav. Izvor: www.eko-sustav.hr

7.1. Izračun električne energije

Zamislimo sljedeću hipotetsku situaciju.

Obitelj Ružić iz mirnog Pleškovca već dugo razmišlja o prelasku na obnovljive izvore energije, s ciljem postizanja energetske neovisnosti i ekološke osviještenosti, te su sve više privučeni idejom postavljanja solarnih panela na krov svoje kuće. Slično tome, obitelj Ferenčin iz sunčanog Poreča, s pogledom na more, također planira uvesti promjene u svoj način života i zainteresirali su se za solarne panele zbog velikog broja sunčanih dana u svojoj regiji.

Jednog vikenda, na obiteljskom rođendanu, obitelji Ružić i Ferenčin razgovarale su o svojim planovima i istraživanjima te zaključile kako bi postavljanje solarnih panela bila mudra investicija u budućnost, ali su željele saznati koliko električne energije mogu očekivati iz tih novih sustava.



(a) Kuća obitelji Ružić



(b) Kuća obitelji Ferenčin

Slika 7.3. Kuće obitelji Ružić i Ferenčin s postavljenim solarnim panelima. Izvor: www.sketch-up.com

Na temelju priloženih slika i procjena, obje kuće imaju približno 50 kvadratnih metara solarnih panela na krovu i dodatnih 25 kvadratnih metara panela na nadstrešnici. S obzirom na ove površine i činjenicu da su paneli na krovu postavljeni pod nagibom od 45 stupnjeva, dok su paneli na nadstrešnici postavljeni horizontalno, tj. uz nagib od 0 stupnjeva, možemo procijeniti koliko će energije ovi paneli proizvoditi. Pri tome ćemo uzeti u obzir efikasnost panela od 20%, što je standard za visokokvalitetne panele.

Za izračunavanje efikasnosti našeg solarnog sustava koristit ćemo formulu:

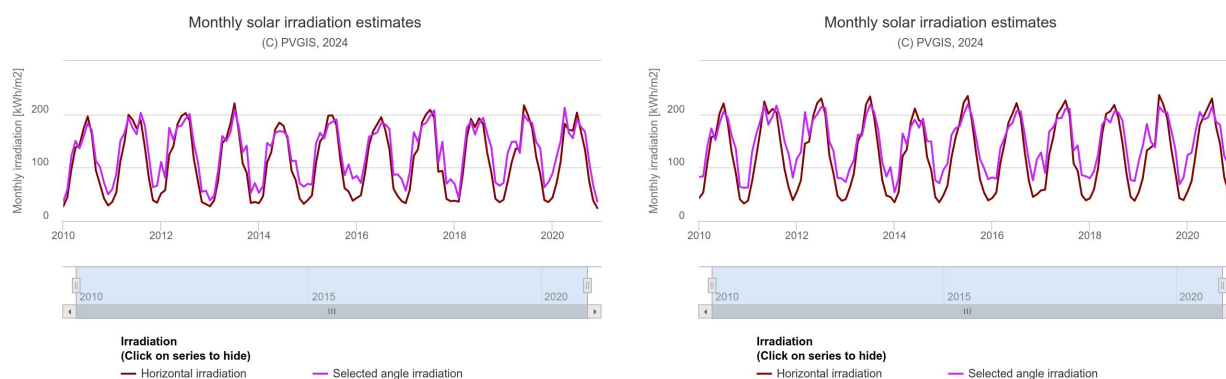
$$E = A \times G \times \eta \quad (7.1)$$

gdje:

- E predstavlja ukupnu količinu proizvedene električne energije, izraženu u kilovat-satima (kWh).
- A je površina solarnih panela, izražena u kvadratnim metrima.
- G je solarna iradijacija za određeno područje, izražena u kilovat-satima po kvadratnom metru po danu. Ova vrijednost već uzima u obzir sunčane sate karakteristične za to područje.
- η predstavlja efikasnost solarnih panela, izražena kao postotak pretvorbe sunčeve energije u električnu energiju.

Ova formula omogućava nam da izračunamo koliko će električne energije naš solarni sustav proizvesti na dnevnoj, mjesečnoj ili godišnjoj razini, uzimajući u obzir sve ključne parametre: površinu panela, lokalnu solarnu iradijaciju i efikasnost panela.

Na sljedećim stranicama prikazat ćemo podatke o sunčevoj iradijaciji te ćemo, koristeći formulu za izračun električne energije, izračunati i usporediti zadane podatke za dva različita područja. Analiza će obuhvatiti mjesec veljaču, srpanj i listopad za godine 2013. i 2020.



(a) Pleškovec

(b) Poreč

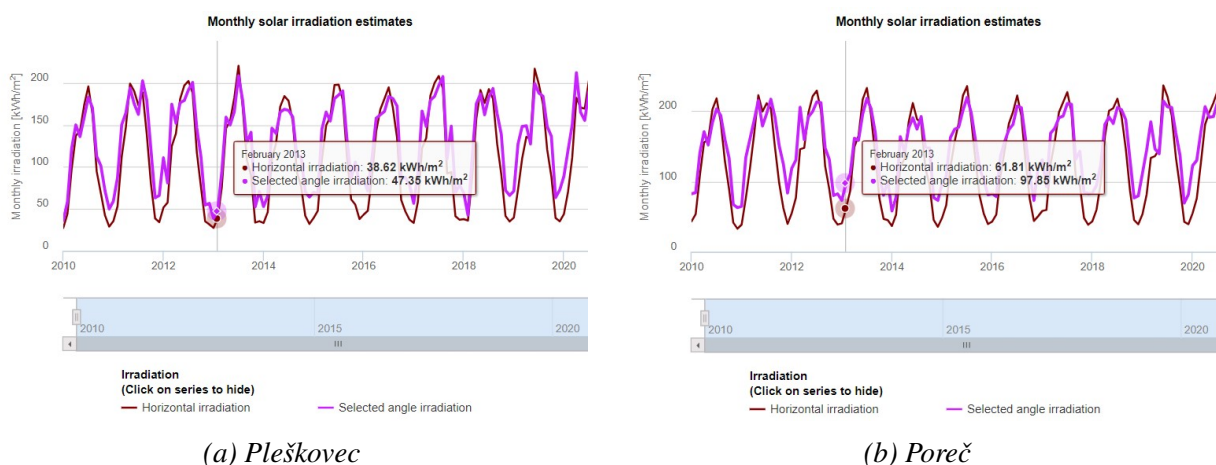
Slika 7.4. Grafički prikaz podataka iradijacije. Izvor: <https://re.jrc.ec.europa.eu/>

Koristimo sljedeće podatke za izračun:

- Efikasnost panela biti će 20%.
- Površina solarnih panela na krovu (A-krov) je 50 metara kvadratnih.
- Površina solarnih panela na nadstrešnici (A-nadstrešnica) je 25 metara kvadratnih.

7.2. Proračun za veljaču 2013. godine

Iduća slika prikazuje mjesečne podatke o solarnoj iradijaciji za Pleškovec i Poreč u veljači 2013. godine.



Slika 7.5. Iradijacija za veljaču 2013. Izvor: <https://re.jrc.ec.europa.eu/>

Uzimamo sljedeće podatke

- Pleškovec (a):
 - Horizontalna iradijacija za veljaču 2013. iznosi: 35.8 kilovat-sati po kvadratnom metru.
 - Iradijacija na odabranom kutu iznosi: 42.4 kilovat-sati po kvadratnom metru.
- Poreč (b):
 - Horizontalna iradijacija za veljaču 2013. iznosi: 59.8 kilovat-sati po kvadratnom metru.
 - Iradijacija na odabranom kutu iznosi: 74.8 kilovat-sati po kvadratnom metru.

Objasnimo što nam predstavljaju ovi podaci.

- Horizontalna iradijacija:
Ova vrijednost prikazuje količinu sunčeve energije koja pada na horizontalnu površinu, što je posebno važno za solarne panele postavljene ravno.

- Iradijacija na odabranom kutu:

Ova vrijednost prikazuje koliko sunčeve energije dolazi na panele postavljene pod optimalnim kutom za maksimalno prikupljanje energije.

7.2.1. Proračun za Pleškovec

1. Krov:

Iradijacija pod kutem od 45 stupnjeva: 42.4 kilovat-sati po metru kvadratnom

Proizvedena energija:

$$E_{krov} = 50 \text{ m}^2 \times 42.4 \text{ kWh/m}^2 \times 0.20 = 424 \text{ kWh} \quad (8.3)$$

2. Nadstrešnica:

Horizontalna iradijacija: 35.8 kilovat-sati po metru kvadratnom

Proizvedena energija:

$$E_{nadstrenica} = 25 \text{ m}^2 \times 35.8 \text{ kWh/m}^2 \times 0.20 = 179 \text{ kWh} \quad (8.4)$$

Ukupna proizvedena energija za Pleškovec:

$$E_{Plekovec} = E_{krov} + E_{nadstrenica} = 424 \text{ kWh} + 179 \text{ kWh} = 603 \text{ kWh} \quad (8.5)$$

7.2.2. Proračun za Poreč

1. Krov:

Iradijacija na odabranom kutu: 74.8 kilovat-sati po metru kvadratnom

Proizvedena energija:

$$E_{krov} = 50 \text{ m}^2 \times 74.8 \text{ kWh/m}^2 \times 0.20 = 748 \text{ kWh} \quad (8.6)$$

2. Nadstrešnica:

Horizontalna iradijacija: 59.8 kilovat-sati po metru kvadratnom

Proizvedena energija:

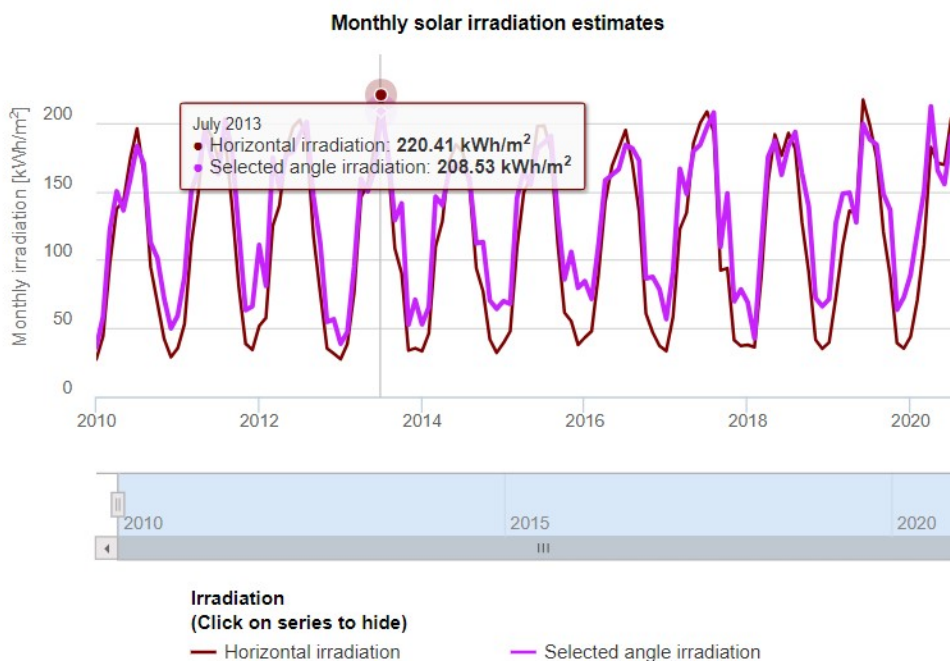
$$E_{nadstrenica} = 25 \text{ m}^2 \times 59.8 \text{ kWh/m}^2 \times 0.20 = 299 \text{ kWh} \quad (8.7)$$

Ukupna proizvedena energija za Poreč:

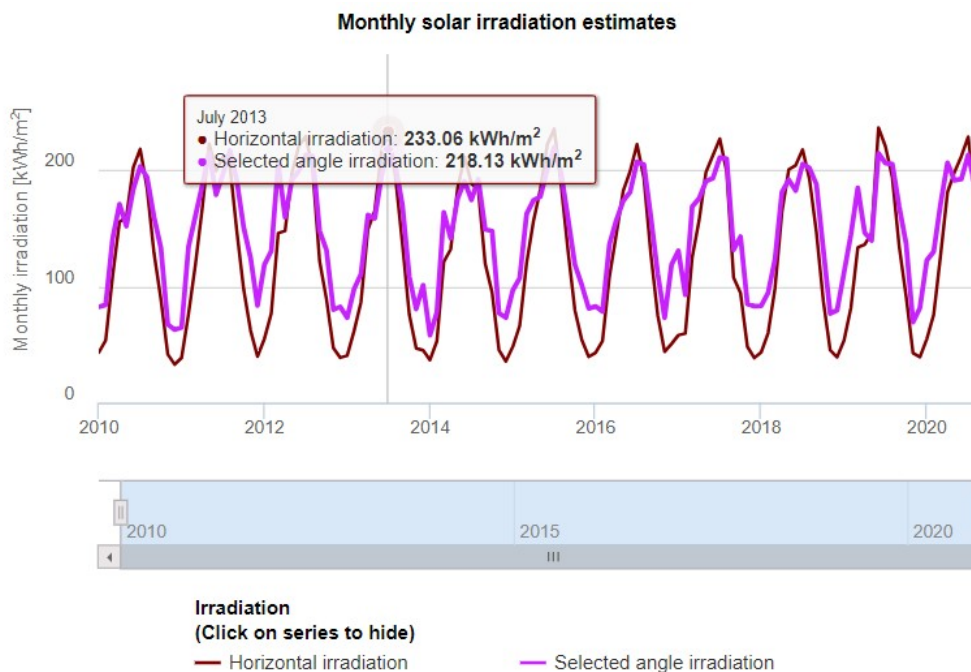
$$E_{Pore} = E_{krov} + E_{nadstrenica} = 748 \text{ kWh} + 299 \text{ kWh} = 1047 \text{ kWh} \quad (8.8)$$

7.3. Proračun za srpanj 2013. godine

Podaci o iradijaciji prikazani su na iduće dvije slike.



Slika 7.6. Iradijacija za srpanj 2013. u Pleškovcu. Izvor: <https://re.jrc.ec.europa.eu/>



Slika 7.7. Iradijacija za srpanj 2013. u Poreču. Izvor: <https://re.jrc.ec.europa.eu/>

7.3.1. Proračun za Pleškovec

1. Krov:

Iradijacija pod kutem od 45 stupnjeva: 208.53 kilovat-sati po metru kvadratnom

Proizvedena energija:

$$E_{krov} = 50 \text{ m}^2 \times 208.53 \text{ kWh/m}^2 \times 0.20 = 2085.3 \text{ kWh} \quad (8.9)$$

2. Nadstrešnica:

Horizontalna iradijacija: 220.41 kilovat-sati po metru kvadratnom

Proizvedena energija:

$$E_{nadstrenica} = 25 \text{ m}^2 \times 220.41 \text{ kWh/m}^2 \times 0.20 = 1102.05 \text{ kWh} \quad (8.10)$$

Ukupna proizvedena energija za Pleškovec:

$$E_{Plekovec} = E_{krov} + E_{nadstrenica} = 2085.3 \text{ kWh} + 1102.05 \text{ kWh} = 3187.35 \text{ kWh} \quad (8.11)$$

7.3.2. Proračun za Poreč

1. Krov:

Iradijacija na odabranom kutu: 218.13 kilovat-sati po metru kvadratnom

Proizvedena energija:

$$E_{krov} = 50 \text{ m}^2 \times 218.13 \text{ kWh/m}^2 \times 0.20 = 2181.3 \text{ kWh} \quad (8.12)$$

2. Nadstrešnica:

Horizontalna iradijacija: 233.06 kilovat-sati po metru kvadratnom

Proizvedena energija:

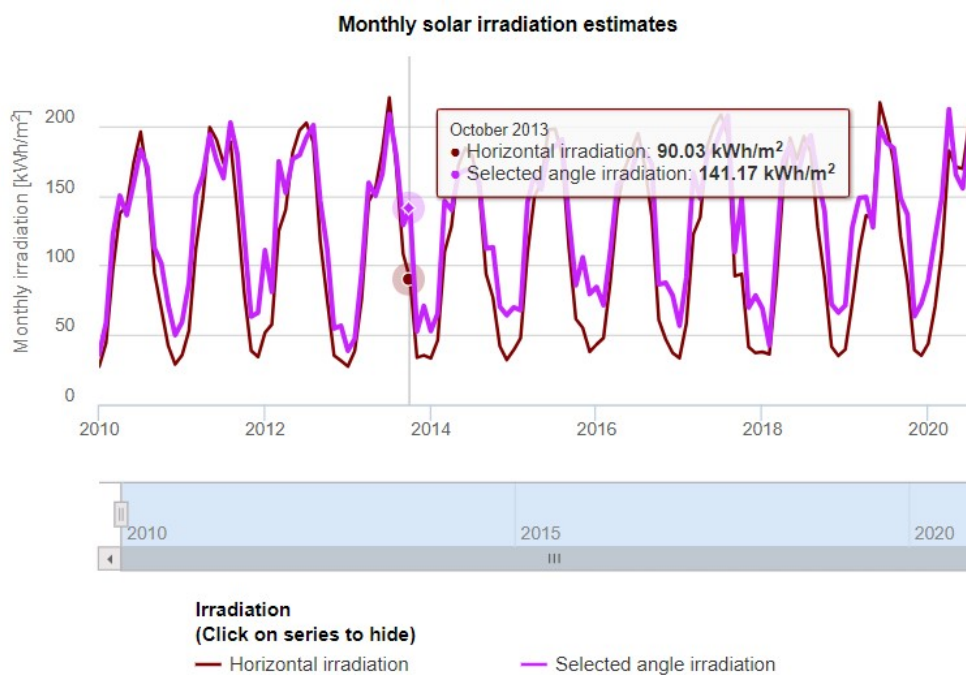
$$E_{nadstrenica} = 25 \text{ m}^2 \times 233.06 \text{ kWh/m}^2 \times 0.20 = 1165.3 \text{ kWh} \quad (8.13)$$

Ukupna proizvedena energija za Poreč:

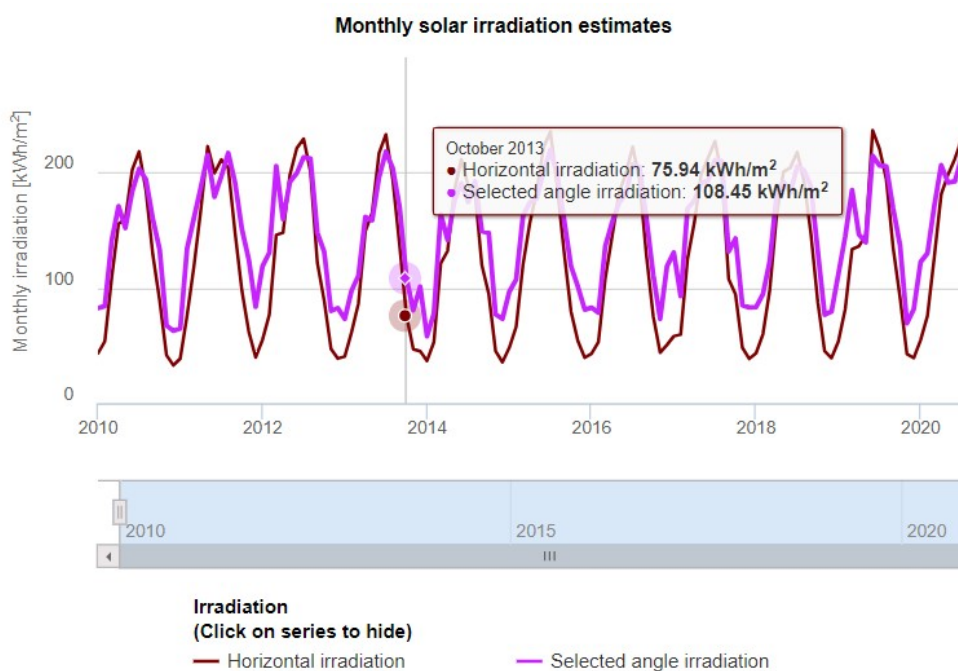
$$E_{Pore} = E_{krov} + E_{nadstrenica} = 2181.3 \text{ kWh} + 1165.3 \text{ kWh} = 3346.6 \text{ kWh} \quad (8.14)$$

7.4. Proračun za listopad 2013. godine

Podaci o iradijaciji prikazani su na iduće dvije slike.



Slika 7.8. Iradijacija za listopad 2013. u Pleškovcu. Izvor: <https://re.jrc.ec.europa.eu/>



Slika 7.9. Iradijacija za listopad 2013. u Poreču. Izvor: <https://re.jrc.ec.europa.eu/>

7.4.1. Proračun za Pleškovec

1. Krov:

Iradijacija pod kutem od 45 stupnjeva: 141.17 kilovat-sati po metru kvadratnom

Proizvedena energija:

$$E_{krov} = 50 \text{ m}^2 \times 141.17 \text{ kWh/m}^2 \times 0.20 = 1411.7 \text{ kWh} \quad (8.15)$$

2. Nadstrešnica:

Horizontalna iradijacija: 90.03 kilovat-sati po metru kvadratnom

Proizvedena energija:

$$E_{nadstrenica} = 25 \text{ m}^2 \times 90.03 \text{ kWh/m}^2 \times 0.20 = 450.15 \text{ kWh} \quad (8.16)$$

Ukupna proizvedena energija za Pleškovec:

$$E_{Pleškovec} = E_{krov} + E_{nadstrenica} = 1411.7 \text{ kWh} + 450.15 \text{ kWh} = 1861.85 \text{ kWh} \quad (8.17)$$

7.4.2. Proračun za Poreč

1. Krov:

Iradijacija na odabranom kutu: 108.45 kilovat-sati po metru kvadratnom

Proizvedena energija:

$$E_{krov} = 50 \text{ m}^2 \times 108.45 \text{ kWh/m}^2 \times 0.20 = 1084.5 \text{ kWh} \quad (8.18)$$

2. Nadstrešnica:

Horizontalna iradijacija: 75.94 kilovat-sati po metru kvadratnom

Proizvedena energija:

$$E_{nadstrenica} = 25 \text{ m}^2 \times 75.94 \text{ kWh/m}^2 \times 0.20 = 379.7 \text{ kWh} \quad (8.19)$$

Ukupna proizvedena energija za Poreč:

$$E_{Porec} = E_{krov} + E_{nadstrenica} = 1084.5 \text{ kWh} + 379.7 \text{ kWh} = 1464.2 \text{ kWh} \quad (8.20)$$

7.5. Komparativna analiza

Pleškovec:

veljača 2013, proizvedeno 603 kWh.

sranj 2013, proizvedeno 3187.35 kWh.

listopad 2013, proizvedeno 1861.85 kWh.

Poreč:

veljača 2013, proizvedeno 1047 kWh.

srpanj 2013, proizvedeno 3346.6 kWh.

listopad 2013, proizvedeno 1464.2 kWh.

Poreč, zbog veće solarne iradijacije, proizvodi više energije od Pleškovca u većini mjeseci. U veljači, solarni paneli u Pleškovcu proizveli bi 603 kWh, dok su u Poreču proizveli 1047 kWh, što bi moglo pokriti većinu ili sve potrebe kućanstva s 4 člana, čija je prosječna potrošnja između 1000 i 1600 kWh mjesečno. U srpnju, kad su dani duži, Pleškovec je proizveo 3187.35 kWh, a Poreč 3346.6 kWh, što bi u oba slučaja znatno premašilo potrebe kućanstva. U listopadu proizvodnja opada zbog kraćih dana; Pleškovec je proizveo 1861.85 kWh, a Poreč 1464.2 kWh, ali obje vrijednosti i dalje mogu pokriti većinu potreba kućanstva. Općenito, kućanstvo u Poreču može očekivati veću energetska neovisnost 2013. godine zahvaljujući povoljnijoj solarnoj iradijaciji.

7.6. Proračun za 2020. godina

Proračun za 2020. godinu provodimo na isti način kao i za 2013. godinu, stoga ovdje navodimo samo rezultate komparativne analize.

Pleškovec:

veljača 2020, proizvedeno 1554.2 kWh.

srpanj 2020, proizvedeno 2919.6 kWh.

listopad 2020, proizvedeno 1480.95 kWh.

Poreč:

veljača 2020, proizvedeno 1680.05 kWh.

srpanj 2020, proizvedeno 3276.65 kWh.

listopad 2020, proizvedeno 1614.6 kWh.

Poreč, s obzirom na višu solarne iradijaciju kontinuirano proizvodi više energije od Pleškovca u svim promatranim mjesecima. U veljači, solarni paneli u Pleškovcu proizveli su oko 1554.2 kWh električne energije, dok su paneli u Poreču proizveli oko 1680.05 kWh.

Proizvedena energija u oba područja mogla bi pokriti značajan dio potreba kućanstva, no Poreč pokazuje prednost u proizvodnji energije.

U srpnju, solarni paneli u Pleškovcu proizveli su 2919.6 kWh, dok su paneli u Poreču proizveli 3276.65 kWh. Obje lokacije proizvele su daleko više energije nego što bi tipično kućanstvo potrošilo u jednom mjesecu, omogućujući uštedu na računima za struju ili prodaju viška energije natrag u mrežu.

U listopadu, proizvedena energija u obje lokacije ponovno opada, ali Pleškovec i dalje proizvodi 1480.95 kWh, dok Poreč proizvodi 1614.6 kWh. Ove vrijednosti i dalje su značajne, s time

da Poreč i dalje pokazuje blagu prednost.

Općenito, kućanstvo u Poreču, zahvaljujući povoljnijoj solarnoj iradijaciji, može očekivati veću razinu energetske neovisnosti tijekom cijele godine u usporedbi s kućanstvom u Pleškovcu.

8. Zaključak

U ovom radu istražili smo i primijenili različite metode deskriptivne i inferencijske statistike kako bismo razumjeli i analizirali podatke vezane uz energiju, s posebnim naglaskom na sunčevo zračenje i njegovu primjenu u energetici.

Kroz objašnjenje ključnih statističkih pojmova poput medijana, moda, aritmetičke sredine, standardne devijacije, varijance i koeficijenta varijacije, stekli smo uvid u osnovne principe statističke analize, potkrepljene konkretnim primjerima.

Objasnili smo energetske neovisne kuće i parametre o kojima ovisi njihova energetska efikasnost, posebno se fokusirajući na potencijal Hrvatske kao zemlje obnovljivih izvora energije. U okviru toga, analizirali smo podatke za Međimursku i Istarsku županiju, uspoređujući broj sunčanih sati i dana u 2016. godini te primijenili t-test kako bismo utvrdili postoji li značajna razlika između tih dvaju županija.

Temeljem prikupljenih podataka, izračunali smo pokazatelje centralne tendencije i interkvartilni raspon te formirali boxplot dijagrame.

Upoznali smo se i s fotonaponskim sustavima, istražujući pretvorbu sunčeve energije u električnu.

Kroz analizu statističkih podataka za dvije županije za veljaču, srpanj i listopad u 2013. i 2020. godini, došli smo do zaključka da Poreč, unatoč svojoj većoj izloženosti suncu, ne mora nužno imati veći sunčani potencijal u svim vremenskim periodima, što smo jasno demonstrirali za listopad 2013. godine.

Međimurje se pokazalo kao područje s potencijalom za dobru postotnu neovisnost o mreži u srpnju i listopadu zahvaljujući sunčevom zračenju.

Zaključno, iako Porečko područje ima značajan potencijal za iskorištavanje sunčeve energije, naši rezultati pokazuju da postoji varijabilnost u potencijalu između različitih regija i vremenskih razdoblja. Ovi rezultati naglašavaju važnost detaljne statističke analize u planiranju i optimizaciji obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj.

Literatura

- [1] Čeh, Anita; Žmuk, Berislav; Palić, Irena; Lolić, Ivana; Arnerić, Josip; Dumičić, Ksenija; Čižmešija, Mirjana; Erjavec, Nataša; Kurnoga, Nataša; Sorić, Petar; Jakšić, Saša; Bahovec, Vlasta: Statistika, Element, Zagreb, 2018.
- [2] Horvat, Jasna; Mijoč, Josipa: Osnove Statistike, IV. izdanje, Ljevak, Zagreb, 2020.
- [3] "Povijest statistike", s interneta, dostupno na: <https://hr.economy-pedia.com/11036116-history-of-statistics>, posjećeno 25.8.2024.
- [4] Enciklopedija: "Statistika", s interneta, <https://www.enciklopedija.hr/clanak/statistika>, posjećeno 26.8.2024
- [5] "Statistika sunčanih parametara Poreč", s interneta, dostupno na: <https://www.worldweatheronline.com/porec-weather-averages/istarska/hr.aspx>, posjećeno 28.8.2024.
- [6] "Statistika sunčevih parametara Pleškovec", s interneta, dostupno na: <https://www.worldweatheronline.com/pleskovec-weather-averages/medimurska/hr.aspx>, posjećeno 28.8.2024.
- [7] "Obnovljivi izvori energije", s interneta, dostupno na: <https://www.fzoeu.hr/hr/obnovljivi-izvori-energije/7573>, posjećeno 30.8.2024.
- [8] "Statistika o sunčanoj iradijaciji", s interneta, dostupno na: <https://re.jrc.ec.europa.eu/pvgtools/en/>, posjećeno 31.8.2024.
- [9] "Kako radi solarni i fotonaponski sustav", s interneta, dostupno na: <https://nasuncanjojstrani.hr/oprema/solarni-ili-fotonaponski-fn-paneli/>, posjećeno 1.9.2024.
- [10] "Kako radi solarni i fotonaponski sustav", s interneta, dostupno na: <https://nasuncanjojstrani.hr/oprema/solarni-ili-fotonaponski-fn-paneli/>, posjećeno 1.9.2024.
- [11] "Nekretnine ISTRA", s interneta, dostupno na: <https://nekretnine-istra.com/lokacije/porec>, posjećeno 1.9.2024.
- [12] "24 Sata", s interneta, dostupno na: <https://www.24sata.hr/tech/donosimo-odgovore-na-najcesca-pitanja-o-solarnim-elektranama-987549>, posjećeno 1.9.2024.
- [13] "Pleškovec" s interneta, dostupno na: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Ple%C5%A1kovec>, posjećeno 1.9.2024.

Sažetak i ključne riječi

U radu su analizirane metode deskriptivne i inferencijske statistike kako bi se bolje razumjeli podaci o sunčevom zračenju i njegovoj primjeni u energetici. Uspoređeni su podaci za Međimursku i Istarsku županiju, uz primjenu t-testa za ispitivanje statističke značajnosti razlike u broju sunčanih sati. Također su istražene energetske neovisne kuće i mogućnosti iskorištavanja solarne energije u Hrvatskoj. Zaključeno je da, iako Poreč ima veću izloženost suncu, postoje varijacije u potencijalu među regijama i različitim vremenskim razdobljima.

Ključne riječi: statistika, deskriptivna statistika, inferencijska statistika, energetske neovisne kuće

Summary and key words

Through this paper, methods of descriptive and inferential statistics were analyzed to better understand data on solar radiation and its application in energy production. Data for Međimurje and Istria counties were compared, applying a t-test to examine the statistical significance of differences in the number of sunshine hours. Energy-independent houses and the potential for solar energy utilization in Croatia were also explored. It was concluded that, although Poreč has greater exposure to sunlight, there are variations in potential between regions and different time periods.

Keywords: statistics, descriptive statistics, inferential statistics, energy-independent building