**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**FAKULTET ELEKTROTRHNIKE STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

**SEMINARSKI RAD IZ KOLEGIJA SUNČANE ĆELIJE**

**PRORAČUNI ZRAČENJA ENERGIJE SUNCA**

**STUDENT:**

**IVAN SIČAJA**

SPLIT, svibanj 2020

# UVOD

Kako bismo sa sigurnošću znali da li je profitabilno korištenje solarnih modula na određenom području potrebno je vršiti dugogodišnja mjerenja određenih uvjeta te napraviti određene proračune. Promatranje ponašanja određenih prirodnih karakteristika na određenom području potrebno je pratiti dugi niz godina. Kao preporučeni vremenski period promatranja I mjerenja interesantnih veličina uzima se period od 10 godina. Naravno period može biti puno kraći, ali I puno duži što se manifestira određenom pouzdanosti dobivenih podataka odnosno duži vremenski period omogućuje pouzdanije podatke, odnosno što je period promatranje I mjerenja određenih veličina kraći dobiveni podatci su nepouzdaniji. U nastavku ćemo navesti metode mjerenja koje smo koristili kao I zaključke provedenih mjerenja.

# OPIS MJERNIH METODA

Kao polaznu veličinu na osnovu koje ćemo dalje računati potrebne veličine koristit ćemo veličinu koja se naziva **prosječno mjesečno dnevno trajanje sijanja sunca** koja se izražava u satima ***S[h]***. Ove podatke potrebno je mjeriti ili pronaći već izmjerene podatke za određenu lokaciju. Mi ćemo koristiti već izmjerene podatke, a naša lokacija bit će grad Dubrovnik.

Tablica 2.1 Prosječni broj sati sijanja sunca po mjesecima

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| God | sij | velj | ožu | tra | svi | lip | srp | kol | ruj | list | stu | pro |
| 1998 | 132.8 | 221 | \*\*\*\*\* | \*\*\*\*\* | \*\*\*\*\* | \*\*\*\*\* | \*\*\*\*\* | \*\*\*\*\* | \*\*\*\*\* | \*\*\*\*\* | \*\*\*\*\* | \*\*\*\*\* |
| 1999 | \*\*\*\*\* | 150.7 | 219.2 | 203.5 | 271.4 | 326.6 | 358.9 | 337.3 | 254.2 | 231.1 | 148.8 | 89.6 |
| 2000 | 172.4 | 187.2 | 225.5 | 232.7 | 333.8 | 342.6 | 360.7 | 347.9 | 239.9 | 168.7 | 132.7 | 126.1 |
| 2001 | 74.5 | 170.9 | 160.2 | 195.9 | 265.7 | 313.5 | 352.8 | 360.5 | 232.3 | 252.5 | 156.1 | 154.9 |
| 2002 | 154.3 | 138.6 | 219.9 | 200.2 | 253 | 314.7 | 310.3 | 287.7 | 224 | 200.3 | 120.4 | 51.5 |
| 2003 | 131.6 | 207.6 | 269.4 | 232.4 | 307.1 | 332.3 | 385.8 | 331 | 267.5 | 152.2 | 125 | 126.3 |
| 2004 | 144.5 | 144.4 | 185.1 | 179.1 | 250.1 | 303.8 | 366.3 | 341.7 | 261.9 | 175.3 | 116.3 | 128.6 |
| 2005 | 168.2 | 146.6 | 182.5 | 227.9 | 307.1 | 336.7 | 344.7 | 301.6 | 238.2 | 204.2 | 135.7 | 88.9 |
| 2006 | 129.1 | 136.9 | 120.7 | 210.1 | 310.4 | 287.1 | 315.6 | 289.9 | 249.9 | 239.1 | 181.3 | 157.4 |
| 2007 | 150.2 | 105.5 | 150.5 | 320.2 | 259.1 | 305 | 370.4 | 346.6 | 264 | 178.9 | 138.4 | 154.5 |
| 2008 | 141.3 | 196.3 | 180.3 | 197.2 | 306.8 | 295.5 | 334 | 354.2 | 246.8 | 212.3 | 138.4 | 112.7 |

Sljedeći podatak koji ćemo računati je ***kut deklinacije sunca δ[°].*** Formula pomoću koje ćemo računati ovaj podatak je:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.1) |

|  |  |
| --- | --- |
| ***δ- kut deklinacije sunca*** | ***n-redni broj dana u godini*** |

Budući da će nam trebati vrijednost kuta deklinacije u radijanima svaku od 365 vrijednosti u stupnjevima potrebno je pretvoriti u radijane. Budući da mi proračune radimo u “Excel” okruženju za navedeni postupak koristit ćemo naredbu “RADIANS()”.

Tablica 2.2 Proračuni deklinacije sunca za prvih 15 dana u godini

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| Redni broj dana, n | Deklinacija sunca, δ [°] | Deklinacija sunca, δ [rad] |
|  |  |  |
| 1 | -23.01 | -0.40 |
| 2 | -22.93 | -0.40 |
| 3 | -22.84 | -0.40 |
| 4 | -22.75 | -0.40 |
| 5 | -22.65 | -0.40 |
| 6 | -22.54 | -0.39 |
| 7 | -22.42 | -0.39 |
| 8 | -22.30 | -0.39 |
| 9 | -22.17 | -0.39 |
| 10 | -22.04 | -0.38 |
| 11 | -21.90 | -0.38 |
| 12 | -21.75 | -0.38 |
| 13 | -21.60 | -0.38 |
| 14 | -21.44 | -0.37 |
| 15 | -21.27 | -0.37 |

Sljedeća veličina koju ćemo računati je **kut zalaska sunca** koji također može biti izražen u stupnjevima I radijanima. Mi ćemo najprije izračunati vrijednosti u stupnjevima ne analogno prethodnom postupku sve preračunati u radijane koristeći pomenutu naredbu. Formula prema kojoj se računa kut zalaska sunca dan je u nastavku.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.2) |
|  |  |  |
| ωs – kut zalaska sunca | δ – kut deklinacije sunca | φ – geografska širina u radijanima |

Tablica 2.3 Proračuni kuta zalaska sunca za prvih 15 dana u godini

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Kut zalaska sunca, ωs [rad] | Kut zalaska sunca, ωs[°] |
|  |  |
| 1.17 | 67.19 |
| 1.17 | 67.29 |
| 1.18 | 67.39 |
| 1.18 | 67.50 |
| 1.18 | 67.62 |
| 1.18 | 67.74 |
| 1.18 | 67.88 |
| 1.19 | 68.02 |
| 1.19 | 68.16 |
| 1.19 | 68.32 |
| 1.20 | 68.48 |
| 1.20 | 68.65 |
| 1.20 | 68.82 |
| 1.20 | 69.00 |
| 1.21 | 69.19 |

Na osnovu kuta zalaska sunca možemo izračunati **maksimalno prosječno dnevno trajanje sijanja sunca *S0[h]*** te ***prosječno mjesečno dnevno zračenje na ravnu površinu u atmosferi H0 [W/m2]*** premasljedećim formulama.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.3) |
| *S0 -* maksimalno prosječno dnevno trajanje sijanja sunca | | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.4) |
| H0 - prosječno dnevno zračenje na ravnu površinu u atmosferi | | |

Tablica 2.4 Proračuni maksimalnog broja sunčanih sati I ozračenosti atmosfere za prvih 15 dana u godini

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Max. broj sunčanih sati po danu (atmosfera - S0 [h]) | Ozračenje atmosfere ( H0[Wh/m2] ) |
|  |  |
| 8.96 | 3417 |
| 8.97 | 3432 |
| 8.99 | 3447 |
| 9.00 | 3464 |
| 9.02 | 3482 |
| 9.03 | 3502 |
| 9.05 | 3523 |
| 9.07 | 3545 |
| 9.09 | 3568 |
| 9.11 | 3592 |
| 9.13 | 3618 |
| 9.15 | 3645 |
| 9.18 | 3673 |
| 9.20 | 3703 |
| 9.23 | 3733 |

Nakon što smo izračunali vrijednosti S0 I Ho za svaki dan, izračunali smo njihove mjesečne prosjeke na način da smo računali prosjek vrijednosti prvi 31 dan za mjesec Siječanj, potom srednju vrijednost sljedećih 28 dana za veljaču I tako redom za sve mjesece. Isti postupak ponovimo iz za parametar ***S,*** s tim da ne moramo računati prosjek za svaki mjesec na način da računamo prosjek svih dana u mjesecu nego jednostavno iz tablice izračunamo prosjeke vrijednosti svih godina određenog mjeseca.

Tablica 2.5 Usrednjene vrijednosti sunčanih sati tla I atmosphere te ozračenosti atmosfere

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| Mijeseci | Suncanih sati po danu (tlo) | Suncanih sati po danu (atmosfera - S0 [h]) | Ozracenost atmosfere ( H0[Wh/m2] ) |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| January | 4.5 | 9.3 | 3814 |
| February | 5.9 | 10.3 | 5234 |
| March | 6.2 | 11.7 | 7308 |
| April | 7.3 | 13.2 | 9452 |
| May | 9.2 | 14.4 | 10982 |
| June | 10.5 | 15.0 | 11597 |
| July | 11.3 | 14.8 | 11270 |
| August | 10.6 | 13.7 | 10020 |
| September | 8.3 | 12.3 | 8090 |
| October | 6.5 | 10.8 | 5933 |
| November | 4.6 | 9.6 | 4204 |
| December | 3.8 | 9.0 | 3625 |

## PRORAČUN PROSIJEČNOG MJESEČNOG ZRAČENJA TLA

Potrebno je znati da je za proizvoljnu električne energije najbitniji podatak **prosječna mjesečna dnevna ozračenost vodoravne površine tla** ili skraćeni naziv **ozračenost tla H[W/m2].** Ako neko područje vizualno ima više svjetlosti to ne mora nužno značiti da je pogodnije za postavljanje solarnih panela odnosno da će sami moduli davati više električne energije. Najbitniji pokazatelji pogodnosti određenog područja za postavljanje solarnih panela u svrhu dobivanje električne energije su ozračenost e tla I temperatura**, a nikako vizualna količina svjetlosti**. Ozračenost je veličina koju ne vidimo golim okom za razliku od svijetlosti. Također bitno je napomenuti da s porastom temperature opada učinkovitost solarnih modula što znači da ekstremnu topla područja nisu pogodna za iskorištavanje obnovljivih izvora energije pomoću solarnih modula.

U nastavku ćemo nabrojati modele koje smo okoristili pri proračunu mjesečnih vrijednosti parametra ***H***.

**-Jain-ov model za Italiju:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.5) |
| H0- prosječno dnevno zračenje na ravnu površinu u tla | | |
| H0 - prosječno dnevno zračenje na ravnu površinu u atmosferi | | |
| *S -* prosječno dnevno trajanje sijanja sunca | | |
| *S0 -* maksimalno prosječno dnevno trajanje sijanja sunca | | |

**-Almorox-Hontoria model za Špaljolsku:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.6) |

**- Glower-McCulloch model:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.7) |

**-Rietveld-ov model:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.8) |

**- Dogniaux-Lemoine model:**

Proračun za mjesec Siječanj:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.9) |

Proračun za mjesec Veljača:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.10) |

Proračun za mjesec Ožujak:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.11) |

Proračuna za mjesec Travanj:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.12) |

Proračun za mjesec Svibanj:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.13) |

Proračun za mjesec Lipanj:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.14) |

Proračun za mjesec Srpanj:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.15) |

Proračun za mjesec Kolovoz:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.16) |

Proračun za mjesec Rujan:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.17) |

Proračun za mjesec Listopad:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.18) |

Proračun za mjesec Studeni:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.19) |

Proračun za mjesec Prosinac:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.20) |

**- Ogelman et Al. model:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.21) |

**-Solerov model :**

Proračun za mjesec Siječanj:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.22) |

Proračun za mjesec Veljača:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.23) |

Proračun za mjesec Ožujak:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.24) |

Proračun za mjesec Travanj:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.25) |

Proračun za mjesec Svibanj:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.26) |

Proračun za mjesec Lipanj:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.27) |

Proračun za mjesec Srpanj:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.28) |

Proračun za mjesec Kolovoz:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.29) |

Proračun za mjesec Rujan:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.30) |

Proračun za mjesec Listopad:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.31) |

Proračun za mjesec Studeni:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.32) |

Proračun za mjesec Prosinac:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.33) |

2.6 Proračuni ozračenosti tla po modelima

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Model 1 | Model 2 | Model 3 | Model 4 | Model 5 | Model 6 | Model 7 |
| H [Wh/m2] | H [Wh/m2] | H [Wh/m2] | H [Wh/m2] | H [Wh/m2] | H [Wh/m2] | H [Wh/m2] |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 1958 | 1838 | 1782 | 1836 | 1955 | 1869 | 1910 |
| 2982 | 2756 | 2668 | 2784 | 2807 | 2789 | 2829 |
| 3960 | 3687 | 3571 | 3704 | 4080 | 3741 | 3112 |
| 5312 | 4919 | 4762 | 4962 | 5522 | 4983 | 5151 |
| 6814 | 6221 | 6015 | 6340 | 6216 | 6259 | 6295 |
| 7667 | 6941 | 6707 | 7118 | 6847 | 6940 | 7084 |
| 7953 | 7141 | 6895 | 7367 | 6978 | 7084 | 7155 |
| 7154 | 6414 | 6193 | 6624 | 6214 | 6353 | 6481 |
| 5195 | 4721 | 4563 | 4828 | 4671 | 4735 | 4826 |
| 3515 | 3230 | 3125 | 3276 | 3280 | 3261 | 3265 |
| 2154 | 2023 | 1962 | 2020 | 2180 | 2057 | 2060 |
| 1718 | 1635 | 1587 | 1617 | 1786 | 1664 | 1664 |

# BAZE PODATAKA OZRAČENOSTI TLA

Ukoliko želimo izraditi vlastitu bazu podataka ozračenosti tla, sam postupak nam uzima jako puno vremena. Uglavnom se radi o višegodišnjim mjerenjima kao bi se povećala pouzdanost izmjerenih podataka te smanjio utjecaj određenih anomalija koje dolaze do izražaja ako je period promatranja kratak. Povećanjem perioda promatranja karakterističnih veličina povećavamo pouzdanosti izmjerenih podataka. Nakon što smo izmjerili vlastite podatke potrebno je vršiti različite proračune tokom kojih vrlo lako može doći do pogreški koje znatno utječu na pitanje isplativosti postavljanja modula na određenu lokaciju. Kako bi se izbjegle katastrofalne pogreške dobro bi bilo koristiti neku službenu bazu podataka ozračenosti tla za određenu lokaciju. Baze podataka koje mi koristimo u našim proračunima za grad Dubrovnik su PVGIS I NASA baza podataka ozračenosti tla koje su trenutno dostupne na linkovima koji se nalaze u popisu literature. Vrijednosti ozračenosti tla za grad Dubrovnik prema PVGIS I NASA bazi podataka prikazani su u narednoj tablici.

Tablica 3.1Podatci ozračenosti tla PVGIS i NASA-ine baze podataka

|  |  |
| --- | --- |
| PVGIS | NASA |
| H [Wh/m2] | H [Wh/m2] |
|  |  |
| 1718 | 1777 |
| 2468 | 2690 |
| 3293 | 3907 |
| 5185 | 4980 |
| 6587 | 6341 |
| 7185 | 7262 |
| 7300 | 7376 |
| 6382 | 6356 |
| 4699 | 4622 |
| 3225 | 3075 |
| 1929 | 1845 |
| 1451 | 1419 |

# ODSTUPANJA MODELA

Kako bi povećali pouzdanost proračunatih podataka ozračenosti tla modela potrebno ih je usporediti s nekom službenom bazom. Odstupanja bi trebala biti minimalna, dok maksimalna odstupanja ne bi smjela znatno prelaziti vrijednosti ± 20%. Za usporedbu proračuna modela s našim bazama podataka koristit ćemo sljedeće relacije:

* Srednja pogreška odstupanja MBE (engl. Mean Bias Error):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4.1) |

* Srednja kvadratna pogreška RMSE (engl. Root Mean Square Error):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4.2) |

* Relativno postotno odstupanje PE (engl. Percentage Error):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4.3) |

Proračuni pogrešaka odstupanja vrijednosti ozračenosti tla modela i podataka kao I njihovi grafički prikazi prikazani su u nastavku.

Tablica 4.1 Pogreške modela ozračenosti u odnosu na vrijednosti iz baza potataka za 1. Model

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Model 1 | | | | | |
| PVGIS | | | NASA | | |
| MBE | RMSE | PE [%] | MBE | RMSE | PE[%] |
| 19.98 | 399 | 13.96 | 15.03 | 52.08 | 226 |
| 42.88 | 1839 | 20.85 | 24.35 | 84.34 | 593 |
| 55.55 | 3086 | 20.24 | 4.37 | 15.13 | 19 |
| 10.56 | 112 | 2.44 | 27.67 | 95.86 | 766 |
| 18.87 | 356 | 3.44 | 39.41 | 136.52 | 1553 |
| 40.17 | 1614 | 6.71 | 33.80 | 117.08 | 1142 |
| 54.44 | 2964 | 8.95 | 48.05 | 166.45 | 2309 |
| 64.37 | 4143 | 12.10 | 66.49 | 230.34 | 4421 |
| 41.38 | 1712 | 10.57 | 47.77 | 165.47 | 2282 |
| 24.16 | 584 | 8.99 | 36.71 | 127.17 | 1348 |
| 18.78 | 353 | 11.68 | 25.74 | 89.16 | 663 |
| 22.24 | 495 | 18.39 | 24.91 | 86.29 | 621 |

Slika 4.1 Pogreške modela ozračenosti u odnosu na vrijednosti iz baza potataka za 1. Model

Tablica 4.2 Pogreške modela ozračenosti u odnosu na vrijednosti iz baza potataka za 2. model

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Model 2 | | | | | |
| PVGIS | | | NASA | | |
| MBE | RMSE | PE [%] | MBE | RMSE | PE[%] |
| 5.90 | 35 | 7.01 | 5.09 | 26 | 3.44 |
| 9.12 | 83 | 11.68 | 5.48 | 30 | 2.44 |
| 10.66 | 114 | 11.95 | -18.37 | 337 | -5.64 |
| 8.77 | 77 | -5.14 | -5.11 | 26 | -1.23 |
| 10.29 | 106 | -5.57 | -10.02 | 100 | -1.90 |
| 8.40 | 71 | -3.40 | -26.74 | 715 | -4.42 |
| 6.77 | 46 | -2.18 | -19.64 | 386 | -3.20 |
| 3.06 | 9 | 0.51 | 4.83 | 23 | 0.91 |
| 2.54 | 6 | 0.48 | 8.26 | 68 | 2.14 |
| 1.17 | 1 | 0.15 | 12.94 | 167 | 5.05 |
| 5.22 | 27 | 4.90 | 14.84 | 220 | 9.65 |
| 7.28 | 53 | 12.66 | 17.98 | 323 | 15.20 |

Slika 4.2 Pogreške modela ozračenosti u odnosu na vrijednosti iz baza potataka za 2. Model

Tablica 4.3 Pogreške modela ozračenosti u odnosu na vrijednosti iz baza potataka za 3. model

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Model 3 | | | | | |
| PVGIS | | | NASA | | |
| MBE | RMSE | PE [%] | MBE | RMSE | PE[%] |
| 5.34 | 29 | 3.73 | 0.39 | 0.15 | 0.27 |
| 16.67 | 278 | 8.11 | -1.86 | 3 | -0.83 |
| 23.18 | 537 | 8.45 | -28.00 | 784 | -8.60 |
| -35.26 | 1243 | -8.16 | -18.15 | 329 | -4.37 |
| -47.66 | 2271 | -8.68 | -27.12 | 735 | -5.13 |
| -39.86 | 1589 | -6.66 | -46.23 | 2137 | -7.64 |
| -33.73 | 1138 | -5.54 | -40.12 | 1610 | -6.53 |
| -15.75 | 248 | -2.96 | -13.63 | 186 | -2.57 |
| -11.27 | 127 | -2.88 | -4.88 | 24 | -1.27 |
| -8.34 | 70 | -3.10 | 4.21 | 18 | 1.64 |
| 2.72 | 7 | 1.69 | 9.67 | 94 | 6.29 |
| 11.28 | 127 | 9.33 | 13.95 | 195 | 11.80 |

Slika 4.3 Pogreške modela ozračenosti u odnosu na vrijednosti iz baza potataka za 3. Model

Tablica 4.4 Pogreške modela ozračenosti u odnosu na vrijednosti iz baza potataka za 4. model

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Model 4 | | | | | |
| PVGIS | | | NASA | | |
| MBE | RMSE | PE [%] | MBE | RMSE | PE[%] |
| 9.81 | 96 | 6.86 | 4.87 | 24 | 3.29 |
| 26.37 | 695 | 12.82 | 7.83 | 61 | 3.49 |
| 34.26 | 1174 | 12.48 | -16.92 | 286 | -5.20 |
| -18.63 | 347 | -4.31 | -1.52 | 2 | -0.37 |
| -20.61 | 425 | -3.75 | -0.07 | 0 | -0.01 |
| -5.61 | 31 | -0.94 | -11.98 | 144 | -1.98 |
| 5.60 | 31 | 0.92 | -0.79 | 1 | -0.13 |
| 20.22 | 409 | 3.80 | 22.34 | 499 | 4.22 |
| 10.77 | 116 | 2.75 | 17.16 | 294 | 4.46 |
| 4.27 | 18 | 1.59 | 16.82 | 283 | 6.57 |
| 7.61 | 58 | 4.73 | 14.56 | 212 | 9.47 |
| 13.81 | 191 | 11.42 | 16.48 | 272 | 13.94 |

Slika 4.4 Pogreške modela ozračenosti u odnosu na vrijednosti iz baza potataka za 4. Model

Tablica 4.5 Pogreške modela ozračenosti u odnosu na vrijednosti iz baza potataka za 5. Model

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Model 5 | | | | | |
| PVGIS | | | NASA | | |
| MBE | RMSE | PE [%] | MBE | RMSE | PE[%] |
| 19.77 | 391 | 13.81 | 14.82 | 220 | 10.01 |
| 28.29 | 800 | 13.76 | 9.76 | 95 | 4.35 |
| 65.56 | 4298 | 23.89 | 14.38 | 207 | 4.42 |
| 28.01 | 785 | 6.48 | 45.13 | 2037 | 10.87 |
| -30.91 | 955 | -5.63 | -10.37 | 108 | -1.96 |
| -28.19 | 795 | -4.71 | -34.56 | 1194 | -5.71 |
| -26.83 | 720 | -4.41 | -33.22 | 1104 | -5.40 |
| -14.01 | 196 | -2.63 | -11.89 | 141 | -2.24 |
| -2.33 | 5 | -0.60 | 4.06 | 16 | 1.05 |
| 4.60 | 21 | 1.71 | 17.15 | 294 | 6.69 |
| 20.94 | 438 | 13.03 | 27.89 | 778 | 18.14 |
| 27.94 | 781 | 23.10 | 30.61 | 937 | 25.88 |
|  |  |  |  |  |  |

Slika 4.5 Pogreške modela ozračenosti u odnosu na vrijednosti iz baza potataka za 5. Model

Tablica 4.6 Pogreške modela ozračenosti u odnosu na vrijednosti iz baza potataka za 6. Model

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Model 6 | | | | | |
| PVGIS | | | NASA | | |
| MBE | RMSE | PE [%] | MBE | RMSE | PE[%] |
| 12.57 | 158 | 8.78 | 7.62 | 58 | 5.15 |
| 26.82 | 719 | 13.04 | 8.29 | 69 | 3.70 |
| 37.34 | 1394 | 13.60 | -13.84 | 192 | -4.25 |
| -16.89 | 285 | -3.91 | 0.22 | 0 | 0.05 |
| -27.41 | 751 | -4.99 | -6.87 | 47 | -1.30 |
| -20.43 | 417 | -3.41 | -26.80 | 718 | -4.43 |
| -17.97 | 323 | -2.95 | -24.36 | 593 | -3.96 |
| -2.38 | 6 | -0.45 | -0.25 | 0 | -0.05 |
| 3.01 | 9 | 0.77 | 9.40 | 88 | 2.44 |
| 3.01 | 9 | 1.12 | 15.56 | 242 | 6.07 |
| 10.68 | 114 | 6.64 | 17.63 | 311 | 11.47 |
| 17.71 | 314 | 14.64 | 20.38 | 415 | 17.23 |
|  |  |  |  |  |  |

Slika 4.6 Pogreške modela ozračenosti u odnosu na vrijednosti iz baza potataka za 6. Model

Tablica 4.7 Pogreške modela ozračenosti u odnosu na vrijednosti iz baza potataka za 7. Model

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Model 7 | | | | | |
| PVGIS | | | NASA | | |
| MBE | RMSE | PE [%] | MBE | RMSE | PE[%] |
| 15.99 | 256 | 11.17 | 11.05 | 122 | 7.46 |
| 30.14 | 908 | 14.66 | 11.60 | 135 | 5.18 |
| -15.13 | 229 | -5.51 | -66.31 | 4397 | -20.36 |
| -2.87 | 8 | -0.67 | 14.24 | 203 | 3.43 |
| -24.35 | 593 | -4.44 | -3.81 | 15 | -0.72 |
| -8.48 | 72 | -1.42 | -14.85 | 221 | -2.45 |
| -12.02 | 144 | -1.98 | -18.41 | 339 | -2.99 |
| 8.26 | 68 | 1.55 | 10.38 | 108 | 1.96 |
| 10.66 | 114 | 2.72 | 17.05 | 291 | 4.43 |
| 3.28 | 11 | 1.22 | 15.83 | 251 | 6.18 |
| 10.90 | 119 | 6.78 | 17.85 | 319 | 11.61 |
| 17.70 | 313 | 14.64 | 20.37 | 415 | 17.23 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

Slika 4.7 Pogreške modela ozračenosti u odnosu na vrijednosti iz baza potataka za 7. Model

Kako što vidimo postotna odstupanja se vrlo dobro poklapaju što znači da su svi navedeni modeli I baze podataka vrlo pouzdani. Također vidimo da je su najveća odstupanja zabilježene za 3. Mjesec.

# PRORAČUNI ZRAČENJA NA NAGNUTU PLOHU

Kako bismo slikovitije promatrali položaj sunca ovisno o vremenu tijekom dana, koristit ćemo relaciju pomoću koje ćemo položaj sunca ovisan o vremenu promatrati u kutovima. Prebacivanje položaja sunca definiranog vremenom tijekom dana u položaj koji opisujemo određenim kutom, dan je sljedećom relacijom.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | (5.1) |
| ω– satni kut sunca | |  | ts – dnevno vrijeme | |

Za vrijeme podneva sunce se nalazi na najvišoj mogućoj točki na horizontu stoga ćemo upravo ovaj položaj uzeti kao referentni, odnosno položaj koji odgovara vrijednosti 0°. Svi kutovi iza podneva su pozitivnog predznaka, dok su svi kutovi položaja sunca prije podneva negativnog predznaka. Primjeri izračunatih satnih kutova za određeno vrijeme u danu dano je u sljedećoj tablici.

Tablica 5.1 Prikazi satnih kutova sunca

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| sat ts [h] | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| ω [°] | -120 | -105 | -90 | -75 | -60 | -45 | -30 | -15 | 0 | 15 |

Budući da putanja sunca nije identična za svako godišnje doba i svaku lokaciju, potrebno je poznavati krivulju putanje sunca u ovisnosti o ova dva parametra. Relacija pomoću koje možemo aproksimirati položaj sunca za svako vrijeme i geografsku lokaciju dana je u nastavku i glasi:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | (5.2) |
| γs - visina sunca | |  | φ – geografska širina | |
| δ – kut deklinacije sunca | |  | ω– satni kut sunca | |

Prikaz nekih od izračunatih vrijednosti visine sunca dan je u sljedećoj tablici.

Tablica 5.2 Prikazi nekih od izračunatih vrijednosti visina sunca

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| sat ts [h] | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Siječanj | 0 | 0 | 0.014 | 0.205 | 0.384 | 0.536 | 0.654 | 0.728 | 0.753 | 0.728 |
| Veljača | 0 | 0 | 0.016 | 0.207 | 0.385 | 0.538 | 0.655 | 0.729 | 0.754 | 0.729 |
| Ožujak | 0 | 0 | 0.018 | 0.209 | 0.387 | 0.540 | 0.657 | 0.731 | 0.756 | 0.731 |
| Travanj | 0 | 0 | 0.020 | 0.211 | 0.389 | 0.542 | 0.660 | 0.733 | 0.759 | 0.733 |
| Svibanj | 0 | 0 | 0.022 | 0.213 | 0.391 | 0.544 | 0.662 | 0.735 | 0.760 | 0.735 |
| Lipanj | 0 | 0 | 0.023 | 0.214 | 0.392 | 0.545 | 0.662 | 0.736 | 0.761 | 0.736 |
| Srpanj | 0 | 0 | 0.023 | 0.214 | 0.392 | 0.545 | 0.662 | 0.736 | 0.761 | 0.736 |
| Kolovoz | 0 | 0 | 0.021 | 0.212 | 0.390 | 0.543 | 0.660 | 0.734 | 0.759 | 0.734 |
| Rujan | 0 | 0 | 0.019 | 0.210 | 0.388 | 0.541 | 0.658 | 0.732 | 0.757 | 0.732 |
| Listopad | 0 | 0 | 0.017 | 0.208 | 0.386 | 0.539 | 0.656 | 0.730 | 0.755 | 0.730 |
| Studeni | 0 | 0 | 0.015 | 0.206 | 0.384 | 0.537 | 0.654 | 0.728 | 0.753 | 0.728 |
| Prosinac | 0 | 0 | 0.014 | 0.205 | 0.383 | 0.536 | 0.653 | 0.727 | 0.752 | 0.727 |

Zračenje na nagnutu plohu se sastoji od tri komponente, odnosno od:

-Izravne komponente **H**

-Raspršene komponente **Hd**

-Odbijene komponente **Hb**

Kako bismo izračunali svaku od ove tri navedene komponente potrebno je izračunati indeks prozirnosti neba **Kt**, udio ozračenosti nagnute plohe raspršenim zračenjem **Kd**.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | + 4.189\*-2.137\* | | | (5.3)  (5.4) |
| H-ozračenost tla | |  | H0-ozračenost atmosfere | |

uz uvjet **ωs <81.4°,** odnosno za **ωs >81.4°** koristimo sljedeću relaciju:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | + 3.427\*-1.821\* | | | (5.5) |
| ωs**-** kut izlaska/zalaska sunca | |  |  | |

Tablica 5.3 Prikazi izračunatih vrijednosti koeficijenata **Kt** i **Kd.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Indeks prozitnosti neba | Udio ozračenosti nagnute plohe raspršenim zračenjem |
|  | Kt | Kd |
|  |  |  |
| Siječanj | 0.45 | 0.44 |
| Veljača | 0.47 | 0.42 |
| Ožujak | 0.45 | 0.49 |
| Travanj | 0.55 | 0.40 |
| Svibanj | 0.60 | 0.35 |
| Lipanj | 0.62 | 0.34 |
| Srpanj | 0.65 | 0.32 |
| Kolovoz | 0.64 | 0.32 |
| Rujan | 0.58 | 0.37 |
| Listopad | 0.54 | 0.35 |
| Studeni | 0.46 | 0.43 |
| Prosinac | 0.40 | 0.50 |

Odbijena komponenta zračenja **Hb** dobije se kao razlika izravne komponente **H** i raspršene komponente **Hd**.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5.6) |

Tablica 5.4 Prikazi izračunatih vrijednosti **H, Hb** i **Hd.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | PVGIS | Hd=Kd\*H | Hb=H-Hd |
|  | H [Wh/m2] | Hd [Wh/m^2] | Hb [Wh/m^2] |
|  |  |  |  |
| Siječanj | 1718 | 759 | 959 |
| Veljača | 2468 | 1036 | 1432 |
| Ožujak | 3293 | 1606 | 1687 |
| Travanj | 5185 | 2061 | 3125 |
| Svibanj | 6587 | 2335 | 4252 |
| Lipanj | 7185 | 2431 | 4754 |
| Srpanj | 7300 | 2302 | 4997 |
| Kolovoz | 6382 | 2069 | 4313 |
| Rujan | 4699 | 1740 | 2959 |
| Listopad | 3225 | 1130 | 2095 |
| Studeni | 1929 | 835 | 1094 |
| Prosinac | 1451 | 726 | 725 |

Budući da nas zanimaju iznosi svake od ovih komponenti za svaki pojedini sat u danu, svaku od komponenti ćemo rastaviti na satne vrijednosti pomoću koeficijenata **rt** i **rd**. Za izravnu komponentu zračenja koristimo sljedeće relacije:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | (5.6)  (5.7)  (5.8)  (5.9) |
| ωs**-** kut izlaska/zalaska sunca | |  | ω– satni kut sunca | |

Tablica 5.5 Prikazi nekih od izračunatih satnih vrijednostikoeficijenta **rt** .

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| sat ts [h] | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| ω [°] | -120 | -105 | -90 | -75 | -60 | -45 | -30 | -15 | 0 | 15 |
| ω [rad] | -2.09 | -1.83 | -1.57 | -1.31 | -1.05 | -0.79 | -0.52 | -0.26 | 0.00 | 0.26 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Siječanj | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.030 | 0.083 | 0.131 | 0.166 | 0.178 | 0.166 |
| Veljača | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.006 | 0.044 | 0.087 | 0.125 | 0.152 | 0.162 | 0.152 |
| Ožujak | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.023 | 0.055 | 0.089 | 0.118 | 0.138 | 0.145 | 0.138 |
| Travanj | 0.000 | 0.000 | 0.012 | 0.035 | 0.062 | 0.088 | 0.110 | 0.126 | 0.131 | 0.126 |
| Svibanj | 0.000 | 0.003 | 0.021 | 0.042 | 0.065 | 0.087 | 0.105 | 0.117 | 0.121 | 0.117 |
| Lipanj | 0.000 | 0.007 | 0.024 | 0.044 | 0.065 | 0.086 | 0.102 | 0.114 | 0.117 | 0.114 |
| Srpanj | 0.000 | 0.006 | 0.023 | 0.043 | 0.065 | 0.086 | 0.104 | 0.115 | 0.119 | 0.115 |
| Kolovoz | 0.000 | 0.000 | 0.016 | 0.038 | 0.063 | 0.088 | 0.108 | 0.122 | 0.127 | 0.122 |
| Rujan | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.029 | 0.058 | 0.089 | 0.115 | 0.132 | 0.139 | 0.132 |
| Listopad | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.013 | 0.049 | 0.088 | 0.123 | 0.147 | 0.155 | 0.147 |
| Studeni | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.035 | 0.084 | 0.130 | 0.162 | 0.173 | 0.162 |
| Prosinac | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.024 | 0.080 | 0.133 | 0.171 | 0.184 | 0.171 |

Tablica 5.6 Prikazi nekih od izračunatih satnih vrijednostiozračenosti **H** .

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| sat ts [h] | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| ω [°] | -120 | -105 | -90 | -75 | -60 | -45 | -30 | -15 | 0 | 15 |
| ω [rad] | -2.09 | -1.83 | -1.57 | -1.31 | -1.05 | -0.79 | -0.52 | -0.26 | 0.00 | 0.26 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Siječanj | 0 | 0 | 0 | 0 | 52 | 142 | 226 | 285 | 306 | 285 |
| Veljača | 0 | 0 | 0 | 14 | 110 | 215 | 309 | 375 | 399 | 375 |
| Ožujak | 0 | 0 | 0 | 76 | 182 | 292 | 388 | 453 | 477 | 453 |
| Travanj | 0 | 0 | 60 | 182 | 320 | 457 | 573 | 651 | 678 | 651 |
| Svibanj | 0 | 21 | 137 | 276 | 426 | 570 | 691 | 772 | 800 | 772 |
| Lipanj | 0 | 53 | 175 | 318 | 470 | 616 | 736 | 816 | 844 | 816 |
| Srpanj | 0 | 41 | 167 | 316 | 475 | 628 | 756 | 840 | 870 | 840 |
| Kolovoz | 0 | 0 | 101 | 245 | 403 | 558 | 689 | 777 | 808 | 777 |
| Rujan | 0 | 0 | 15 | 135 | 275 | 417 | 539 | 623 | 652 | 623 |
| Listopad | 0 | 0 | 0 | 41 | 158 | 284 | 396 | 473 | 500 | 473 |
| Studeni | 0 | 0 | 0 | 0 | 67 | 162 | 250 | 312 | 334 | 312 |
| Prosinac | 0 | 0 | 0 | 0 | 35 | 116 | 193 | 248 | 267 | 248 |

Za raspršenu komponentu zračenja koristimo sljedeće relacije.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | (5.10)  (5.11) |
| ωs**-** kut izlaska/zalaska sunca | |  | ω– satni kut sunca | |

Tablica 5.7 Prikazi nekih od izračunatih satnih vrijednostikoeficijenta **rd** .

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| sat ts [h] | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| ω [°] | -120 | -105 | -90 | -75 | -60 | -45 | -30 | -15 | 0 | 15 |
| ω [rad] | -2.09 | -1.83 | -1.57 | -1.31 | -1.05 | -0.79 | -0.52 | -0.26 | 0.00 | 0.26 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Siječanj | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.039 | 0.091 | 0.132 | 0.157 | 0.166 | 0.157 |
| Veljača | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.008 | 0.054 | 0.094 | 0.124 | 0.144 | 0.150 | 0.144 |
| Ožujak | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.031 | 0.064 | 0.093 | 0.115 | 0.129 | 0.134 | 0.129 |
| Travanj | 0.000 | 0.000 | 0.016 | 0.043 | 0.068 | 0.090 | 0.107 | 0.117 | 0.121 | 0.117 |
| Svibanj | 0.000 | 0.004 | 0.027 | 0.049 | 0.069 | 0.087 | 0.100 | 0.109 | 0.112 | 0.109 |
| Lipanj | 0.000 | 0.010 | 0.030 | 0.050 | 0.069 | 0.085 | 0.097 | 0.105 | 0.108 | 0.105 |
| Srpanj | 0.000 | 0.008 | 0.029 | 0.050 | 0.069 | 0.086 | 0.099 | 0.107 | 0.109 | 0.107 |
| Kolovoz | 0.000 | 0.000 | 0.021 | 0.046 | 0.069 | 0.089 | 0.104 | 0.113 | 0.116 | 0.113 |
| Rujan | 0.000 | 0.000 | 0.005 | 0.037 | 0.066 | 0.092 | 0.112 | 0.124 | 0.128 | 0.124 |
| Listopad | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.018 | 0.059 | 0.094 | 0.121 | 0.138 | 0.144 | 0.138 |
| Studeni | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.044 | 0.093 | 0.130 | 0.153 | 0.161 | 0.153 |
| Prosinac | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.031 | 0.089 | 0.134 | 0.162 | 0.172 | 0.162 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| sat ts [h] | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | | 12 | 13 |
| ω [°] | -120 | -105 | -90 | -75 | -60 | -45 | -30 | -15 | 0 | | 15 |
| ω [rad] | -2.09 | -1.83 | -1.57 | -1.31 | -1.05 | -0.79 | -0.52 | -0.26 | 0.00 | | 0.26 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |
| Siječanj | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 | 63 | 100 | 126 | 135 | | 126 |
| Veljača | 0 | 0 | 0 | 6 | 46 | 90 | 130 | 158 | 168 | | 158 |
| Ožujak | 0 | 0 | 0 | 37 | 89 | 142 | 189 | 221 | 232 | | 221 |
| Travanj | 0 | 0 | 24 | 73 | 127 | 181 | 228 | 259 | 270 | | 259 |
| Svibanj | 0 | 7 | 48 | 98 | 151 | 202 | 245 | 274 | 284 | | 274 |
| Lipanj | 0 | 18 | 59 | 108 | 159 | 208 | 249 | 276 | 286 | | 276 |
| Srpanj | 0 | 13 | 53 | 100 | 150 | 198 | 238 | 265 | 274 | | 265 |
| Kolovoz | 0 | 0 | 33 | 79 | 131 | 181 | 223 | 252 | 262 | | 252 |
| Rujan | 0 | 0 | 6 | 50 | 102 | 154 | 200 | 231 | 241 | | 231 |
| Listopad | 0 | 0 | 0 | 15 | 56 | 99 | 139 | 166 | 175 | | 166 |
| Studeni | 0 | 0 | 0 | 0 | 29 | 70 | 108 | 135 | 145 | | 135 |
| Prosinac | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 58 | 97 | 124 | 134 | | 124 |

Tablica 5.8 Prikazi nekih od izračunatih satnih vrijednostiozračenosti **Hd** .

Satne vrijednosti odbijene komponente zračenja **Hb** dobiju se kao razlika satnih vrijednosti izravne komponete **H** i raspršene komponente **Hd**.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5.12) |

Tablica 5.9 Prikazi nekih od izračunatih satnih vrijednostiozračenosti **Hb** .

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| sat ts [h] | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| ω [°] | -120 | -105 | -90 | -75 | -60 | -45 | -30 | -15 | 0 | 15 |
| ω [rad] | -2.09 | -1.83 | -1.57 | -1.31 | -1.05 | -0.79 | -0.52 | -0.26 | 0.00 | 0.26 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Siječanj | 0 | 0 | 0 | 0 | 29 | 79 | 126 | 159 | 171 | 159 |
| Veljača | 0 | 0 | 0 | 8 | 64 | 125 | 180 | 218 | 232 | 218 |
| Ožujak | 0 | 0 | 0 | 39 | 93 | 150 | 199 | 232 | 244 | 232 |
| Travanj | 0 | 0 | 36 | 110 | 193 | 275 | 345 | 392 | 409 | 392 |
| Svibanj | 0 | 13 | 88 | 178 | 275 | 368 | 446 | 498 | 517 | 498 |
| Lipanj | 0 | 35 | 116 | 210 | 311 | 407 | 487 | 540 | 558 | 540 |
| Srpanj | 0 | 28 | 114 | 216 | 325 | 430 | 517 | 575 | 595 | 575 |
| Kolovoz | 0 | 0 | 68 | 165 | 273 | 377 | 466 | 525 | 546 | 525 |
| Rujan | 0 | 0 | 9 | 85 | 173 | 262 | 340 | 392 | 411 | 392 |
| Listopad | 0 | 0 | 0 | 27 | 103 | 184 | 257 | 307 | 325 | 307 |
| Studeni | 0 | 0 | 0 | 0 | 38 | 92 | 142 | 177 | 189 | 177 |
| Prosinac | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 58 | 97 | 124 | 134 | 124 |

Kada smo proračunali sve navedene veličine računamo kut upada sunčevih **ϴ,** zraka koji ovisi o **β** odnosno nagibu naše plohe (solarnih modula) te **α,** odnosno azimutu kuta koji zatvara naša površina solarnih modula.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | (5.13) |
| β- nagib plohe (modula) | | α-azimut | φ – geografska širina | |
| δ – kut deklinacije sunca | | ϴ - kut upada sunčevih zraka | ω– satni kut sunca | |

Tablica 5.10 Prikazi nekih od izračunatih satnih vrijednostikuta upada sunčevih zraka **cos (ϴ)** za kutove **α = 0°** i **β = 35°** .

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| sat ts [h] | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| ω [°] | -120 | -105 | -90 | -75 | -60 | -45 | -30 | -15 | 0 | 15 |
| ω [rad] | -2.09 | -1.83 | -1.57 | -1.31 | -1.05 | -0.79 | -0.52 | -0.26 | 0.00 | 0.26 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Siječanj | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.240 | 0.470 | 0.667 | 0.819 | 0.914 | 0.946 | 0.914 |
| Veljača | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.239 | 0.469 | 0.667 | 0.818 | 0.913 | 0.946 | 0.913 |
| Ožujak | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.239 | 0.468 | 0.666 | 0.817 | 0.912 | 0.945 | 0.912 |
| Travanj | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.237 | 0.467 | 0.665 | 0.816 | 0.911 | 0.944 | 0.911 |
| Svibanj | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.237 | 0.466 | 0.664 | 0.815 | 0.910 | 0.943 | 0.910 |
| Lipanj | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.236 | 0.466 | 0.663 | 0.815 | 0.910 | 0.942 | 0.910 |
| Srpanj | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.236 | 0.466 | 0.663 | 0.815 | 0.910 | 0.942 | 0.910 |
| Kolovoz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.237 | 0.467 | 0.664 | 0.816 | 0.911 | 0.943 | 0.911 |
| Rujan | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.238 | 0.468 | 0.665 | 0.817 | 0.912 | 0.944 | 0.912 |
| Listopad | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.239 | 0.469 | 0.666 | 0.818 | 0.913 | 0.945 | 0.913 |
| Studeni | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.240 | 0.470 | 0.667 | 0.819 | 0.914 | 0.946 | 0.914 |
| Prosinac | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.240 | 0.470 | 0.668 | 0.819 | 0.914 | 0.947 | 0.914 |

Posljednji parametar kojeg trebamo izračunati kako bismo izračunali ozračenost nagnute plohe određenog kuta azimuta je parametar kojeg nazivamo nagibni koeficijent i označava oznakom **Rb**, računa se prema sljedećoj relaciji:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | (5.14) |
|  | |  |  | |
| γs - visina sunca | |  | ϴ - kut upada sunčevih zraka | |

Ako su vrijednosti **cos(ϴ)** ili **sin(γs) ≤ 0** tada je vrijednost nagibnog koeficijenta **Rb =0**.

Konačni izraz pomoću kojeg računamo ozračenost nagnute plohe određenog nagiba i azimuta, **Hβ** glasi

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | (5.15) |
| Hβ- ozračenost nagnute plohe | | Hb- izravna ozračenost vodoravne plohe | Hd- raspršena ozračenost vodoravne plohe | |
| H-ukupna ozračenost plohe | | Rb-nagibni koeficijent | β-kut nagiba plohe | |
|  | |

Tablica 5.11 Prikazi nekih od izračunatih satnih vrijednostinagibnog koeficijenta **Rb** .

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| sat ts [h] | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| ω [°] | -120 | -105 | -90 | -75 | -60 | -45 | -30 | -15 | 0 | 15 |
| ω [rad] | -2.09 | -1.83 | -1.57 | -1.31 | -1.05 | -0.79 | -0.52 | -0.26 | 0.00 | 0.26 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Siječanj | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.17 | 1.23 | 1.24 | 1.25 | 1.26 | 1.26 | 1.26 |
| Veljača | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.16 | 1.22 | 1.24 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 |
| Ožujak | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.14 | 1.21 | 1.23 | 1.24 | 1.25 | 1.25 | 1.25 |
| Travanj | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.12 | 1.20 | 1.23 | 1.24 | 1.24 | 1.24 | 1.24 |
| Svibanj | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.11 | 1.19 | 1.22 | 1.23 | 1.24 | 1.24 | 1.24 |
| Lipanj | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.10 | 1.19 | 1.22 | 1.23 | 1.24 | 1.24 | 1.24 |
| Srpanj | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.11 | 1.19 | 1.22 | 1.23 | 1.24 | 1.24 | 1.24 |
| Kolovoz | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.12 | 1.20 | 1.22 | 1.23 | 1.24 | 1.24 | 1.24 |
| Rujan | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.13 | 1.21 | 1.23 | 1.24 | 1.25 | 1.25 | 1.25 |
| Listopad | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.15 | 1.22 | 1.24 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 |
| Studeni | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.17 | 1.22 | 1.24 | 1.25 | 1.26 | 1.26 | 1.26 |
| Prosinac | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.17 | 1.23 | 1.25 | 1.25 | 1.26 | 1.26 | 1.26 |

Tablica 5.12 Prikazi nekih od izračunatih satnih vrijednostiozračenosti nagnute plohe **Hβ** za kutove **α = 0°** i **β = 35°** .

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| sat ts [h] | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| ω [°] | -120 | -105 | -90 | -75 | -60 | -45 | -30 | -15 | 0 | 15 |
| ω [rad] | -2.09 | -1.83 | -1.57 | -1.31 | -1.05 | -0.79 | -0.52 | -0.26 | 0.00 | 0.26 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Siječanj | 0 | 0 | 0 | 0 | 29 | 79 | 126 | 159 | 171 | 159 |
| Veljača | 0 | 0 | 0 | 8 | 64 | 125 | 180 | 218 | 232 | 218 |
| Ožujak | 0 | 0 | 0 | 39 | 93 | 150 | 199 | 232 | 244 | 232 |
| Travanj | 0 | 0 | 36 | 110 | 193 | 275 | 345 | 392 | 409 | 392 |
| Svibanj | 0 | 13 | 88 | 178 | 275 | 368 | 446 | 498 | 517 | 498 |
| Lipanj | 0 | 35 | 116 | 210 | 311 | 407 | 487 | 540 | 558 | 540 |
| Srpanj | 0 | 28 | 114 | 216 | 325 | 430 | 517 | 575 | 595 | 575 |
| Kolovoz | 0 | 0 | 68 | 165 | 273 | 377 | 466 | 525 | 546 | 525 |
| Rujan | 0 | 0 | 9 | 85 | 173 | 262 | 340 | 392 | 411 | 392 |
| Listopad | 0 | 0 | 0 | 27 | 103 | 184 | 257 | 307 | 325 | 307 |
| Studeni | 0 | 0 | 0 | 0 | 38 | 92 | 142 | 177 | 189 | 177 |
| Prosinac | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 58 | 97 | 124 | 134 | 124 |

Slika 5.1 Prikazi izračunatih satnih vrijednostiozračenosti nagnute plohe **Hβ** u ovisnosti o dnevnom vremenu i mjesecu u godini.

Odstupanja ozračenosti vodoravne plohe i plohe nagnute za kut **β** koji iznosi 35°**,** te kuta azimuta **α** koji iznosi 0° za svaki pojedini mjesec prikazana su u sljedećoj tablici.

Tablica 5.13 Odstupanja ozračenosti između vodoravne plohe i plohe zakrenute za kutove **α = 0°** i **β = 35°** .

|  |  |
| --- | --- |
|  | Promjena zračenja u odnosu na nagnutu plohu |
| Siječanj | 15.49% |
| Veljača | 16.15% |
| Ožujak | 13.06% |
| Travanj | 14.66% |
| Svibanj | 14.05% |
| Lipanj | 13.18% |
| Srpanj | 14.49% |
| Kolovoz | 16.53% |
| Rujan | 17.08% |
| Listopad | 18.78% |
| Studeni | 15.80% |
| Prosinac | 13.18% |

Tablica 5.14 Godišnje odstupanje ozračenosti između vodoravne plohe i plohe zakrenute za kutove **α = 0°** i **β = 35°** .

|  |
| --- |
| Ukupna razlika ozračenosti vodoravne u odnosu na nagnutu plohu |
| 15.21% |

# ZAKLJUČAK

Da bismo dobili što pouzdanije podatke, vremenski period promatranja potrebnih podataka treba biti što je moguće duži. Uglavnom se radi o periodima od oko 10 godina. Ako samostalno radimo mjerenja potrebnih podataka znatno se povećava mogućnost pogreški pri mjerenjima što se očituje u pouzdanost I preciznosti mjernog instrumenta te pri proračunavanju konačnih vrijednosti ozračenosti tla za ravnu plohu **H** [Wh/m2]. Uz proračune ozračenosti tla pomoću modela moguće je koristiti i službene baze podataka ozračenosti tla za određenu lokaciju. Baze podataka koje smo mi koristili su PVGIS I NASA-ina baza podataka ozračenosti tla. Kako bismo provjerili pouzdanosti vrijednosti iz baza podataka i proračune modela potrebno ih je međusobno usporediti te odstupanja trebaju biti minimalna kako bi nam podatci bili pouzdani. Maksimalna postotna odstupanja konačnih vrijednosti podataka modela i vrijednosti iz baza podataka ne bi smjela biti znatno veća od **± 20%.** Najveća odstupanja primijećena za mjesec Ožujak, dok se proračunate vrijednosti pomoću modela i vrijednosti iz baza podataka međusobno prate, što je vrlo dobar pokazatelj pouzdanosti podataka.

Ako želimo povećati efikasnost solarnih modula potrebno ih je zakrenuti za određene kutove. U praksi solarni moduli se uglavnom montiraju na već predefinirani nagib krova, uz uvjet da nagib postoji, iz razloga što nekoliko stupnjeva nagiba (za primjer uzmimo 10°) nema presudan utjecaj na efikasnost cjelokupnog sustava. Dodatni razlozi za ovakvo postupanje su svakako i estetske prirode (zbog nezgrapnog izgleda) kao i financijske prirode, odnosno potrebno je izvršiti dodatna ulaganja koja za solarne sustave malih snaga (što prosječni solarni sustavi kućanstva svakako jesu) mogu predstavljati značajan udio same investicije. Za našu lokaciju, plohu nagnutu za kut **β** koji iznosi **35°,** dobili smo maksimalno pozitivno odstupanje ozračenosti nagnute plohe **Hβ,** od ozračenosti vodoravne plohe **H,** koje iznosi **15.21%**, što u konačnici predstavlja vrlo lijepu energetsku dobit.