SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, STROJARSTVA I

BRODOGRADNJE

**SEMINARSKI RAD**

**Procjena Sunčevog zračenja**

Mentor: Student:

dr. sc.Ivan Marasovic Leona Kusanović

**Split, travanj 2017.**

# 

# Sadržaj

[*1. Uvod 3*](#_Toc512458818)

[*2. Procjena sunčevog zračenja koristeći Pageov mjesečni nezavisni model 5*](#_Toc512458819)

[*3. Proračun sunčevog ozračenja na horizontalnu plohu 9*](#_Toc512458824)

[*4. Proračun sunčevog ozračenja na nagnutu plohu 11*](#_Toc512458825)

[*5. Zaključak 15*](#_Toc512458826)

[*6. Popis tablica 16*](#_Toc512458827)

[*7. Popis dijagrama 17*](#_Toc512458828)

[*8. Literatura 18*](#_Toc512458829)

# Uvod

Zadatak seminarskog rada bio je na temelju podataka o trajanju sijanja Sunca, odrediti mjesečni prosjek dnevne ozračenosti horizontalne plohe u Kininu koristeći Pageov mjesečno nezavisni model. Zatim je trebalo usporediti rezultate dobivene proračunom s izmjerenim vrijednostima te odrediti odstupanje proračunatog zračenja od izmjerene vrijednosti. Na kraju smo izračunali mjesečni prosjek dnevne ozračenosti plohe nagnute pod kutovima 10°, 33° i 45°.

Lokacija: Knin (44°02′N 16°12′E﻿), 255 m n.v.

Model: Pageov mjesečno nezavisni model 

- Mjesečni prosjek dnevne ozračenosti horizontalne plohe

- Ekstraterestičku ozračenost horizontalne plohe

- Prosjek trajanja sunčanog dana po mjesecu u godini

- Trajanje sunčanog dana

*Tablica 1.1.Mjesečni prosjek dnevne ozračenosti horizontalne plohe*

|  |  |
| --- | --- |
| Mjesec | *H* [kWh/m2] |
| siječanj | 3,534591052 |
| veljača | 4,96328537 |
| ožujak | 7,061420572 |
| travanj | 9,261845685 |
| svibanj | 10,86698711 |
| lipanj | 11,54413604 |
| srpanj | 11,18582845 |
| kolovoz | 9,838513649 |
| rujan | 7,798571468 |
| listopad | 5,574320321 |
| studeni | 3,84704889 |
| prosinac | 3,111720146 |
| prosjek | 3,534591052 |

*Tablica 1.2.Izmjerene mjesečne sume trajanja sijanja Sunca*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| God | Sij | velj | Ožu | tra | svi | lip | srp | kol | ruj | list | stu | pro |
| 1998 | 120,5 | 203,5 | 250,8 | 176 | 247 | 301,7 | 352,2 | 324,9 | 195,2 | 172,5 | 113,1 | 136,6 |
| 1999 | 148,1 | 139,5 | 176 | 168 | 255,8 | 292,3 | 321 | 398 | 233,8 | 210,7 | 134,4 | 77,8 |
| 2000 | 142 | 186 | 199 | 178 | 286,1 | 331,4 | 330,5 | 332,5 | 252,5 | 152,7 | 92,8 | 108 |
| 2001 | 83 | 152,3 | 124,3 | 211,5 | 261,7 | 291,3 | 332,1 | 326,1 | 187,8 | 225,83 | 118,2 | 138 |
| 2002 | 134,4 | 102,9 | 216,1 | 152,8 | 226,8 | 297 | 265,8 | 258 | 190,9 | 175,2 | 98 | 47,6 |
| 2003 | 126,4 | 196,3 | 265,4 | 221,2 | 300,3 | 304,1 | 351,1 | 314,2 | 232,9 | 145,9 | 100,4 | 133,2 |
| 2004 | 120 | 98,2 | 165,9 | 140,2 | 237,2 | 279,5 | 320,2 | 311,6 | 227,8 | 135,8 | 110,6 | 116,8 |
| 2005 | 140,9 | 137,9 | 181,6 | 234,3 | 273,4 | 289 | 323 | 253,8 | 228,7 | 172,5 | 131,8 | 79,8 |
| 2006 | 137,9 | 111,3 | 120 | 185,9 | 281,1 | 286,4 | 331,2 | 242 | 269,1 | 229,9 | 159,1 | 143,5 |
| 2007 | 104,1 | 112 | 148,9 | 290,5 | 267,6 | 272,8 | 366,2 | 317,3 | 232,9 | 175,7 | 136,2 | 149,8 |
| 2008 | 107,4 | 178,5 | 144 | 182,2 | 258,1 | 253,5 | 328,5 | 348,4 | 206,9 | 182,7 | 117,3 | 117,1 |

# Procjena sunčevog zračenja koristeći Pageov mjesečni nezavisni model

Proračun smo započeli računanjem deklinacije Sunca δ, koja ovisi o danu u godini i mijenja se od -23,45° do +23,45° kao što možemo vidjeti na sljedećem grafu, a definiramo je kao kut između spojnice središta Zemlje i središta Sunca i ekvatorijalne ravnine.

*Dijagram 2.1.Deklinacija Sunca po mjesecima u godini*

Nakon toga je izračunat satni kut izlaska/zalaska Sunca ωs, što je jedan od podataka potrebnih za izračun trajanja sunčanog dana So. Satni kut Sunca (ωs) definiramo kao vrijeme izraženo kutom, odnosno kut projekcije na ekvatorijalnu ravninu linije koja spaja centar Zemlje i centar Sunca i linije koja spaja centar Zemlje i promatranu točku.

Na sljedećem dijagramu prikazano je prosječno trajanje sunčanog dana za svaki mjesec u godini.

*Dijagram 2.2.Prosječno trajanje sunčanog dana*

U sljedećem koraku izračunata je insolacija, odnosno mjesečni prosjek dnevnog trajanja sijanja Sunca. Za taj proračun su ulazni podaci uzeti iz zadane tablice s izmjerenim mjesečnim sumama trajanja sijanja Sunca.

*Dijagram 2.3.Prosjek trajanja sunčanog dana po mjesecu u godini*

Iz priloženog dijagrama 2.3. vidljivo da je za Rijeku insolacija najviša u srpnju i iznosi 10,01 [h] a najniža u prosincu 3,59 [h].

Dijagram 2.4. je grafički prikaz mjesečnog prosjeka dnevne ozračenosti (H) horizontalne plohe:

*Dijagram 2.4.Usporedba mjerenih i izračunatih vrijednosti ozračenosti horizontalne plohe*

## Uspoređujući mjereni i izračunati mjesečni prosjek ukupne dnevne ozračenosti horizontalne plohe vidljivo je da je onaj mjereni nešto viši od izračunatog u ljetnim mjesecima dok je u zimskim mjesecima niži. Najveća dnevna ozračenost prema mjerenju je u mjesecu srpnju i iznosi 6,13kWh/m^2.

Određivanje pogreške izmjerenih i izračunatih vrijednosti ozračenosti horizontalne plohe:

1. Srednja pogreška odstupanja MBE (engl. MeanBiasError):



1. Srednja kvadratna pogreška RMSE (engl. RootMeanSquareError): 
2. Relativno postotno odstupanje PE (engl. PercentageError): 

Relativno postotno odstupanje za svaki mjesec posebno prikazano je na tablici ispod:

*Tablica 2.1.Relativno postotno odstupanje za svaki mjesec*

|  |  |
| --- | --- |
| **PE** | **%** |
| **siječanj** | 21,07778324 |
| **veljača** | 7,892572504 |
| **ožujak** | 10,71169554 |
| **travanj** | 12,13487507 |
| **svibanj** | 4,716831467 |
| **lipanj** | 5,388033504 |
| **srpanj** | 8,302978495 |
| **kolovoz** | 6,933827392 |
| **rujan** | 5,784997173 |
| **listopad** | 5,773726612 |
| **studeni** | 15,8494815 |
| **prosinac** | 23,25617021 |

Najveće odstupanje je u prosincu i iznosi 23,26% a najmanje u svibnju 4,72%.

# Proračun sunčevog ozračenja na horizontalnu plohu

Ukupno sunčevo ozračenje koje upada na horizontalnu plohu sastoji se od dvije komponente, raspršene i izravne komponente.

*Dijagram 3.1.Usporedba ukupnog i raspršenog ozračenja na horizontalnu plohu*

*Dijagram 3.2.Usporedba ukupne i izravne ozračenosti na horizontalnu plohu*

Iz gore priloženih dijagrama vidljivo je da od ukupne ozračenosti horizontalne plohe najveći dio ozračenosti dolazi od izravne komponente i to ovisno o mjesecima u nekima i preko 50% vrijednosti ukupne ozračenosti

# Proračun sunčevog ozračenja na nagnutu plohu

Sunčevo zračenje na nagnutu plohu sadrži tri komponente , a one su izravno zračenje, odbijeno i raspršeno ozračenje

Pri izračunu sunčevog zračenja na nagnutu plohu potrebno je poznavati sljedeće parametre :

* ϕ, zemljopisna širina – kutna udaljenost promatrača od ekvatora prema sjeveru ili jugu,
* δ, deklinacija Sunca
* ωS, satni kut Sunca
* kut upada sunčevih zraka na plohu određenog azimuta i nagiba
* nagibni koeficijent Rb
* visinu Sunca,

Nagibni koeficijent Rb je omjer kuta upada sunčevih zraka na nagnutu plohu i visine sunca u određenom dobu dana.

Sunčev azimut je kut projekcije Sunčevih zraka na horizontalnu plohu(prema istoku je pozitivan, a prema zapadu je negativan).

Visina Sunca se mijenja u ovisnosti o dobu dana , a i o geografskoj širini lokacije, najveću vrijednost postiže u sunčevo podne.

*Dijagram 4.1.Promjena visine Sunca tijekom dana*



*Tablica 4.1.Iznos ukupnog ozračenja za pojedine mjesece i različiti nagib plohe*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ozračenost  mjesec | Nagib plohe od 10° | Nagib plohe od 33° | Nagib plohe od 45° |
| siječanj | 1,765468 | 2,366071 | 2,590197 |
| veljača | 2,77358 | 3,524893 | 3,773936 |
| ožujak | 4,371893 | 4,969711 | 5,08285 |
| travanj | 5,133051 | 5,216797 | 5,086196 |
| svibanj | 5,99924 | 5,715547 | 5,385369 |
| lipanj | 6,540717 | 6,041274 | 5,595712 |
| srpanj | 6,99436 | 6,550442 | 6,074672 |
| kolovoz | 6,368314 | 6,336675 | 6,061451 |
| rujan | 4,88054 | 5,327518 | 5,350593 |
| listopad | 3,486278 | 4,32613 | 4,57506 |
| studeni | 1,99436 | 2,631266 | 2,861857 |
| prosinac | 1,521299 | 2,092001 | 2,311166 |

Iz prikazanog dijagrama 4.2 vidljivo je da se s obzirom na promatrani vremenski period vrijednost ozračenja mijenja s obzirom na nagib plohe.

Za ljetne mjesece najveća je ozračenost za plohu nagnutu pod kutom od 30 stupnjeva, dok je najmanja za plohu nagnutu pod kutom od 60 stupnjeva s obziromna horizontalnu os.

Povećanjem nagiba plohe smanjuje se razlika između ukupne ozračenosti između ljetnih i zimskih mjeseci.

Ukupna godišnja ozračenost za plohu nagnutu pod kutom od 30 stupnjeva iznosi 1533.65 kWh/m^2, za plohu nagnutu pod kutom od 45 stupnjeva 1508.76, a za 60 stupnjeva 1480.11.

*Dijagram 4.2.Usporedba ukupne ozračenosti s obzirom na nagib plohe*

# Zaključak

Ozračenost horizontalne plohe je u ljetnim mjesecima veća nego u zimskim mjesecima. Usporedbom izmjerenih i izračunatih podataka ozračenosti najveće odstupanje je u prosincu i iznosi 23,26% a najmanje u svibnju 4,72%. Nagibom plohe mijenja se i ozračenost, te je ista najveća za plohu nagnutu pod kutom od 30 stupnjeva i u zimskim i ljetnim mjesecima. Horizontalna ploha ima najveću ozračenost , ali zbog velikih razlika između ljetnih i zimskih mjeseci u ozračenosti plohe , plohu postavljamo pod nagib.

# Popis tablica

[*Tablica 1.1.Mjesečni prosjek dnevne ozračenosti horizontalne plohe* 3](#_Toc512348702)

[*Tablica 1.2.Izmjerene mjesečne sume trajanja sijanja Sunca* 4](#_Toc512348703)

[*Tablica 2.1.Relativno postotno odstupanje za svaki mjesec* 8](#_Toc512348704)

[*Tablica 4.1.Iznos ukupnog ozračenja za pojedine mjesece i različiti nagib plohe* 12](#_Toc512348705)

# Popis dijagrama

[*Dijagram 2.1.Deklinacija Sunca po mjesecima u godini* 5](#_Toc512348900)

[*Dijagram 2.2.Prosječno trajanje sunčanog dana* 6](#_Toc512348901)

[*Dijagram 2.3.Prosjek trajanja sunčanog dana po mjesecu u godini* 6](#_Toc512348902)

[*Dijagram 2.4.Usporedba mjerenih i izračunatih vrijednosti ozračenosti horizontalne plohe* 7](#_Toc512348903)

[*Dijagram 3.1.Usporedba ukupnog i raspršenog ozračenja na horizontalnu plohu* 9](#_Toc512348906)

[*Dijagram 3.2.Usporedba ukupne i izravne ozračenosti na horizontalnu plohu* 9](#_Toc512348908)

[*Dijagram 4.1.Promjena visine Sunca tijekom dana* 11](#_Toc512348909)

[*Dijagram 4.2.Usporedba ukupne ozračenosti s obzirom na nagib plohe* 13](#_Toc512348911)

[*Dijagram 4.3.Usporedba ozračenosti s obzirom na azimut* 13](#_Toc512348912)

[*Dijagram 4.4.Usporedba ozračenosti nagnute i horizontalne plohe* 14](#_Toc512348913)

# Literatura

*[1] Kulusic, Vuletin, Zulim, Sunčanećelije, Zagreb 1994.*