

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Tomaž ČERNE

MOŽNOST SOLARNEGA SUŠENJA V SLOVENIJI

DIPLOMSKI PROJEKT
Univerzitetni študij - 1. stopnja

FEASIBILITY EFFICIENCY DRYING IN SLOVENIA

B. Sc. THESIS
Academic Study Programmes

Ljubljana, 2011

Diplomski projekt je zaključek univerzitetnega študija lesarstva 1. stopnje. Delo je potekalo na katedri za tehnologijo lesa Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer so bile opravljene analize, računalniška obdelava podatkov, izračuni in podobno.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega projekta imenoval prof. dr. Željka Goriška, za recenzenta pa doc. dr. Mihaela Sekavčnika.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Tomaž Černe

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Du1
DK UDK 630*847.1
KG les/sušenje/solarni sistem/bukev
AV ČERNE, Tomaž
SA GORIŠEK, Željko (mentor)/SEKAVČNIK Mihael (recenzent)
KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI 2011
IN MOŽNOST SOLARNEGA SUŠENJA V SLOVENIJI
TD Diplomski projekt (Univerzitetni študij - 1. stopnje)
OP VII, 31 str., 6 pregl., 18 sl.
IJ sl
JI sl/en
AI Prikazali smo možnosti izkoriščanja sončne energije v postopku sušenja lesa v Sloveniji. Primerjali smo učinkovitost steklenjakov, sprejemnikov sončne energije za pridobivanje tople vode ter fotovoltaičnih celic. Izračune smo naredili na osnovi zbranih podatkov o trajanju in energiji globalnega sončnega obsevanja in tehničnih značilnosti sistemov za sprejemanje sončne energije. Razpoložljivo energijo sončnega obsevanja, glede na letni čas in lokacijo v Sloveniji, ki bi jo lahko izkoristili glede na tlorisno površino komore, smo primerjali z energijo, potrebno v standardnih postopkih sušenja 50 mm debele bukovine (*Fagus Sylvatica* L.). Možnosti pokritja energijskih zahtev za izkoriščanje sončne energije predstavljajo le 3,5 % in so v trenutnih razmerah še neekonomične.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Du1
DC UDC 630* 847.1
CX wood/drying/solar system/beechn
AU ČERNE, Tomaž
AA GORIŠEK, Željko (supervisor)/SEKAVČNIK Mihael (co-supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2011
TI POSSIBILITIES OF SOLAR DRYING IN SLOVENIA
DT B. Sc. Thesis (Academic Study Programmes)
NO VII, 31 p., 6 tab., 18 fig.
LA sl
AL sl/en
AB We have showed the possibility of solar drying in Slovenia. Glass panels, photovoltaic panels for producing hot water, and photovoltaic cells for electricity generation were compared. Data collected on the duration and solar radiation were calculated, and the average conditions provided by the provider panels. The free energy of solar radiation, depending on the season and location in Slovenia, which could take advantage of the floor area of the chamber, was compared to the energy required for drying of 50 mm thick beech (*Fagus sylvatica* L.). Possibilities to cover energy demands to use solar energy are only 3.5 %; therefore, in present conditions still not acceptable.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key Words Documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic.....	VI
Kazalo slik.....	VII
1 UVOD.....	1
1.1 PROBLEM IZHODIŠČA	1
1.2 PREDPOSTAVKA.....	2
1.3 CILJI NALOGE.....	2
2 SPLOŠNI DEL	3
2.1 SUŠENJE NA PROSTEM	3
2.1.1 Značilnosti sušenja na prostem	3
2.1.2 Zložaj za učinkovito sušenje na prostem	4
2.1.3 Dejavniki, ki vplivajo na čas sušenja	6
2.1.4 Klimatske razmere	6
2.1.5 Prednosti in pomanjkljivosti sušenja na prostem.....	7
2.2 NORMALNOTEMPERATURNNO KONVEKCIJSKO KOMORSKO SUŠENJE Z DELNO IZMENJAVO ZRAKA	7
2.3 MOŽNOSTI IZKORIŠČANJA SONČNE ENERGIJE	8
2.3.1 Tehnologije izkoriščanja sončne energije.....	8
2.3.2 Sprejemniki sončne energije (SSE)	9
2.3.3 Fotovoltaika.....	10
2.4 SUŠENJE S SONČNO ENERGIJO	12
2.4.1 Današnje sušilnice za sušenje lesa s sončno energijo.....	13
2.4.2 Direktni način	13
2.4.3 Indirektni način	14
2.4.4 Kombinirane sušilnice	14
3 METODA	16
3.1 ZAJEM PODATKOV	16
3.2 KARAKTERISTIKE SPREJEMNIKOV SONČNE ENERGIJE	16
3.3 SUŠILNA KOMORA.....	16
3.3.1 Poraba energije pri konvencionalnem komornem sušenju	17
3.4 ČAS SUŠENJA LESA	18
4 REZULTATI.....	19
4.1 PORABA ENERGIJE ZA SUŠENJE	19
4.2 TRAJANJE GLOBALNEGA SONČNEGA OBSEVANJA	19
4.3 ENERGIJA GLOBALNEGA SONČNEGA OBSEVANJA.....	20
4.4 IZKORISTEK SONČNE ENERGIJE ZA SUŠENJE	23
5 RAZPRAVA.....	26
6 SKLEPI.....	30
7 VIRI	31
ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Gostota absolutno suhega stanja lesa (ρ_0), koeficient lesne vrste (α) ter specifična poraba energije (q).....	17
Preglednica 2: Letno število ur sončnega obsevanja v urah za posamezne kraje po Sloveniji.	19
Preglednica 3: Skupna energija globalnega sončnega obsevanja v kWh/m ² za posamezne kraje po Sloveniji od leta 2000 do 2009	22
Preglednica 4: Julijske in decembrske mesečne vrednosti globalnega sončnega obsevanja v kWh/m ²	23
Preglednica 5: Predvidena zajeta energija na površini komore v času ene šarže z različnimi tehnikami SSE.	24
Preglednica 6: Primerjava med potrebno energijo za sušenje in s SSE pridobljeno energijo v letnih mesecih (kWh).....	26

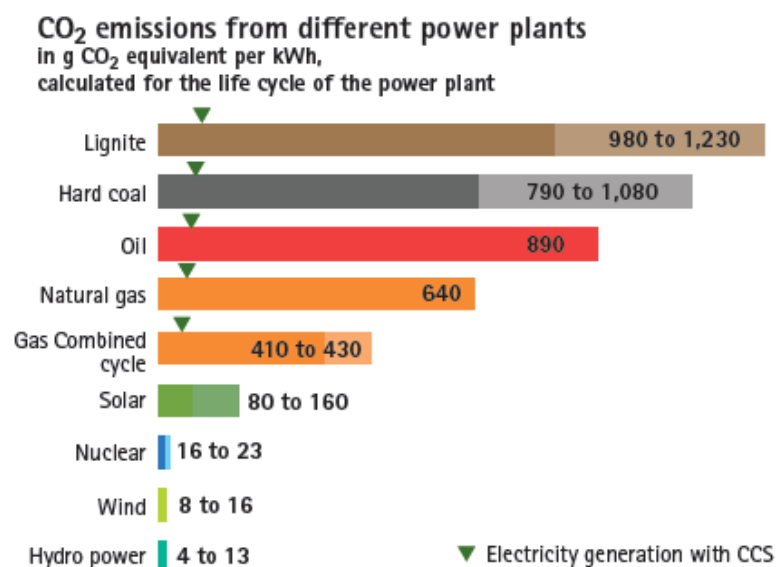
KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Obremenjevanje okolja z različnimi tehnikami pridobivanje energije	1
Slika 2: Urejeno skladišče žaganega lesa z učinkovitim sušenjem na prostem	4
Slika 3: Priprava zložaja v skladovnici pripravljeni za sušenje lesa na prostem	5
Slika 4: Formiranje zložaja za učinkovito sušenje na prostem	6
Slika 5: Mesečno trajanje sončnega obsevanja	9
Slika 6: Postavitev in dimenzije sončnih kolektorjev	10
Slika 7: Delovanje fotovoltaične celice.....	11
Slika 8: Napetost v odvisnosti od toka pri različnih temperaturah panelov	12
Slika 9: Shema direktnega gretja sušilnice.....	13
Slika 10: Shema indirektnega gretja sušilnice	14
Slika 11: Kombinirana sušilnica s sončnim kolektorjem in klasičnimi grelniki.....	15
Slika 12: Diagram trajanja sončnega obsevanja po krajih v Sloveniji.....	20
Slika 13: Globalno sončno obsevanje v Sloveniji.....	21
Slika 14: Diagram energije globalnega sončnega obsevanja glede na lokacijo v Sloveniji	22
Slika 15: Diagram pridobljene toplotne energije s SSE v enem letu	27
Slika 16: Diagram pokritja celotne toplotne energije v enem letu.....	28
Slika 17: Diagram pridobljene električne energije s SSE v enem letu.	28
Slika 18: Diagram pokritja celotne električne energije v enem letu	29

1 UVOD

1.1 PROBLEM IZHODIŠČA

Izkoriščanje sončne energije v procesu sušenja lesa je za naše razmere dokaj nenavadno, saj ima že sušenje na prostem, ki seveda tudi izkorišča ta naravni vir, bolj negativni prizvok ob vse modernejših sušilnih tehnikah. Z razvojem tehnike pa je vse bolj odprto tudi vprašanje izkoriščanja sončne energije. Čeprav današnje moderne tehnike uporabljajo toploto, ki jo pridobimo iz lesnoindustrijskih ostankov, pa poleg nje potrebujejo tudi električno energijo. Moderne tehnike so prav tako čedalje bolj zanesljive, saj lahko proces sušenja kontroliramo. Če pa želimo proces sušenja izboljšati ter pospešiti in če pri tem upoštevamo tudi naravo oziroma okolje, bi lahko bolje izrabili vsakdanjo sončno energijo, ki jo za zdaj še ne izkoriščamo kaj veliko. Ta energija je namreč ena najčistejših, saj s sprejemanjem sončne energije skoraj ne bremenimo okolja (Slika 1). Za izkoriščanje sončne energije obstaja več načinov, ki nudijo možnosti najrazličnejše uporabe. Pri takšnem pridobivanju naravne energije lahko izboljšamo proces sušenja in pri tem tudi varujemo naravo



Slika 1: Slika 2 Obremenjevanje okolja z različnimi tehnikami pridobivanja energije (Sekavčnik 2010)

1.2 PREDPOSTAVKA

Predvidevamo, da bi veliko težavo sušenja na prostem, zaradi nezmožnosti kontroliranja procesa, lahko zmanjšali ali celo odpravili s smotrno izrabo sončne energije. Dosegali bi višje temperature in s tem ugodnejše sušenje tudi do nižjih končnih vlažnosti in zato prispevali k optimalnejši rabi energije v lesno industrijskih podjetjih, ker bi lesne ostanke tudi bolje izkoristili. Tako bi namreč lahko večje in uporabne lesne odpadke namesto za kurjavo, porabili za izdelavo plošč ali drugih lesnih produktov. Različne tehnične možnosti izkoriščanja sončne energije (toplozračni sprejemniki, fotovoltaični sistemi,...) nudijo možnosti povečanja tako toplotne kot tudi energijske učinkovitosti.

1.3 CILJI NALOGE

Za tipično mesto v Sloveniji želimo ugotoviti število ur sončnega obsevanja in količino energije, ki jo je z različnimi tehničnimi sistemi možno izkoristiti.

Ugotoviti želimo možen prihranek energije, če bi solarno sušenje kombinirali s klasičnim procesom sušenja.

Zanimajo nas razlike v možnosti izkoriščanja sončne energije v najugodnejših pogojih (v juliju) in najmanj ugodnih (decembru.). Izkoriščali bomo specifično moč sprejemnikov sončne energije (SSE) ob predpostavki, da za sprejem izkoristimo tlorisno površino konvencionalne sušilne komore. Primerjalno bomo ovrednotili pokritost energijskih zahtev, v postopku sušenja lesa z zajemom sončne energije.

2 SPLOŠNI DEL

2.1 SUŠENJE NA PROSTEM

Že pri sušenju na prostem izkoriščamo naravne klimatske razmere, ki so odvisne tudi od sončnega obsevanja. Med prvimi moramo tako proučiti prednosti in pomanjkljivosti sušenja na prostem glede na preostale tehnične postopke sušenja. Manjša vlaganja v opremo, prihranek energije in manjše tveganje zaradi milejših razmer so prednosti, ki le redko prevladajo nad pomanjkljivostmi: čas sušenja je daljši, ne moremo dosecati nizkih končnih vlažnosti, uravnavanje sušilnih razmer ni mogoče, sredstva so dalj časa vezana v zalogah lesa, skladišča zavzemajo veliko prostora, počasnejše je prilagajanje zahtevam trga. Mnogokrat pa prav posebni dejavniki odločitev prevesijo v prid sušenja na prostem. Med najpomembnejšimi moramo upoštevati sezonsko naravo sečnje in dobave nekaterih lesnih vrst, razpoložljivost finančnih virov, prostora in energije ter posebne zahteve kakovosti lesa (Gorišek, 2004).

Čeprav se vse več svežega žaganega lesa takoj po razžagovanju osuši v običajnih sušilnih komorah, vseeno priporočamo, da se v času med dvema šaržama izkoristijo naravne razmere, saj je naravno sušenje svežega lesa najučinkovitejše.

2.1.1 Značilnosti sušenja na prostem

Pri hitrosti sušenja in doseganju nizke končne vlažnosti na prostem, smo odvisni večinoma od vremenskih razmer, lahko s pravilno izbiro in primerno ureditvijo sušilnega prostora ter ustrezno pripravo lesa za sušenje več kot samo zadovoljivo izkoristimo tudi vse naravne možnosti (Slika 2).



Slika 2: Urejeno skladišče žaganega lesa z učinkovitim sušenjem na prostem (Montpries, 2009).

Sušenje je učinkovito, če zagotovimo ustrezen toplotni tok na sušečo se površino in hkrati čim hitrejšo odvajanje izhlapevajoče vode iz lesa. Nalogo prenosa toplote in vodne pare opravlja zrak. Zaradi oddajanja toplote se ta pri prehodu skozi zložaj ohlaja, hkrati pa se zaradi sprejemanja vode njegova vlažnost povečuje. Oba pojava zmanjšujeta učinkovitost sušenja, zato je pomembno, da se zrak čim hitreje izmenjuje. Hitrost izmenjave zraka je odvisna od hitrosti vetra, oblikovanosti zložaja, lege skladovnice na skladišču, oblike in uredjenosti skladišča (Gorišek, 2004).

2.1.2 Zložaj za učinkovito sušenje na prostem

Zložaje oblikujemo takoj po razžagovanju hlodovine in so primerni za transport in hkrati za učinkovito sušenje. Les zato sortiramo po enakih sušilnih značilnostih. Med njimi so najpomembnejše: lesna vrsta, debelina, začetna vlažnost, kakovost, širina in dolžina žaganega lesa. Žaganice pred zlaganjem očistimo, kajti žaganje pomeni infekcijske mostove za biološke okužbe (barvne pege) in zadržuje vlago, prah in blato pa upočasni sušenje ter povzročata težave pri nadaljnji predelavi. Zložaj mora imeti prizmatično obliko, da zagotovimo enakomerno sušenje, velikost pa je prirejena dimenziji sortimentov in vrsti oziroma načinu transporta. Najobičajnejše širine zložajev so od 120 do 160 centimetrov, dolžine od 300 do 600 centimetrov in višine od 130 do 150 centimetrov. Na skladišču postavljamo več zložajev drugega nad drugim v skladovnice (Slika 3).

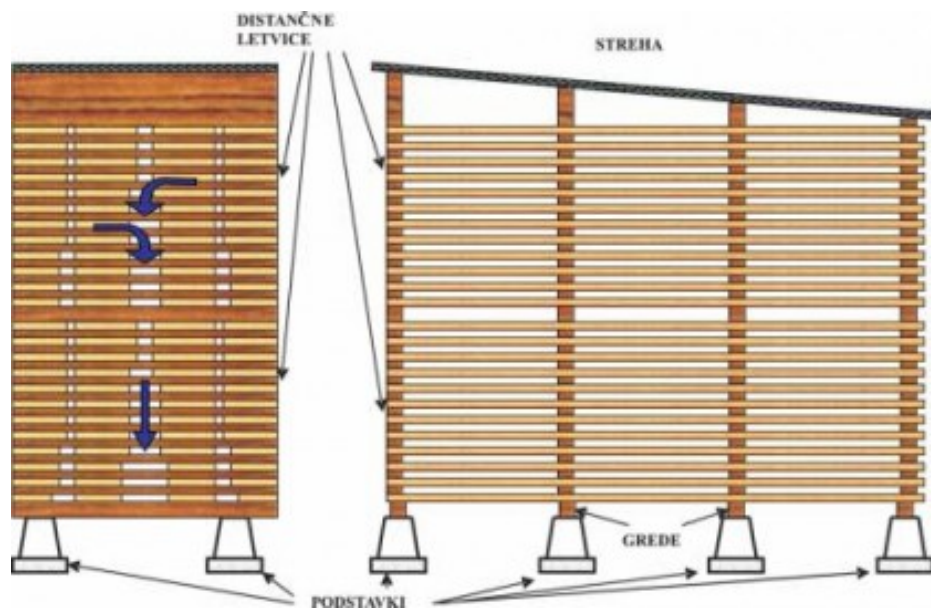
Zložaje zlagamo tako, da posamezne vrste žaganega lesa med sabo ločimo z distančnimi letvicami ter tako omogočimo dostop zraka do površine lesa. Od distančnih letvic zahtevamo enake mere (pomembna je predvsem debelina – od 0,5 do 0,75 debeline lesa), da so predhodno osušene, biološko neokužene in iz vrst, ki niso nagnjene k zvijanju in ne puščajo madežev. Za letvičenje barvno občutljivih lesnih vrst uporabljamo perforirane letvice. Distančne letvice morajo biti v zložaju vertikalno poravnane na medsebojni razdalji od 60 do 120 centimetrov, odvisno od debeline naletvičenih sortimentov.



Slika 3: Priprava zložaja v skladovnici pripravljeni za sušenje lesa na prostem (Montpries, 2009).

Zrak pri prehodu skozi zložaj oddaja toploto, zato se ohlaja in postaja težji. Hkrati se zaradi sprejemanja vode iz lesa tudi navlažuje. Da se tako ohlajen in vlažen zrak ne zadržuje v zložaju, moramo poskrbeti tudi za vertikalno gibanje zraka. To ustvarimo z večjim medsebojnim horizontalnim razmikom žaganega lesa v spodnjih delih zložajev (zlagamo v kamin; tako zlaganje pa ni primerno tam, kjer imamo prisilno kroženje zraka). V spodnjih delih skladovnice se kopiči zrak z visoko vlažnostjo, zato morajo biti dvignjene od tal, da je odstranjevanje vlažnega zraka učinkovitejše (Slika 4) (Gorišek, 2004).

Žagan les v skladovnici zavarujemo pred padavinami s kritino. Ta ga varuje tudi pred neposrednim sončnim sevanjem, ki pri nekaterih vrstah povzroči pokanje in pri drugih obarvanje.



Slika 4: Formiranje zložaja za učinkovito sušenje na prostem (Gorišek, 2004).

2.1.3 Dejavniki, ki vplivajo na čas sušenja

Hitrost sušenja na prostem je odvisna predvsem od dejavnikov kot so sušilne značilnosti lesa, priprave zložajev, urejenosti skladišča in klimatskih razmer, katere so odvisne tudi od posameznega kraja oziroma lege.

2.1.4 Klimatske razmere

Hitrost in čas, pa tudi kakovost in s tem ekonomičnost sušenja na prostem so odvisni predvsem od klimatskih razmer v skladiščnem prostoru, ki so povezane tako z makro- kot tudi mikrolokacijo (Gorišek, 2004).

Prevladujoč vpliv na hitrost in s tem učinkovitost sušenja na prostem ima temperatura. Ta zelo močno posredno vpliva tudi na hitrost gibanja zraka in še posebno na relativno zračno vlažnost, ki je prek ravnovesne vlažnosti merilo ostrine sušenja. Meteorne padavine in megla zvišujejo relativno zračno vlažnost in zavirajo sušenje (Gorišek in sodelavci, 1994).

Po učinkovitosti naravnega sušenja lahko Slovenijo ločim na dve pokrajinski enoti: na širši primorski del in preostali, večinoma celinski del (Gorišek, 2004). Na obeh območjih je hitrost sušenja na prostem zadovoljiva v pomladnih in poletnih mesecih (od marca do septembra), ko les lahko povsod osušimo do 15 % vlažnosti, v ugodnih razmerah v Primorju celo do 12 %. Jesenski in zimski meseci so manj ugodni za naravno sušenje, saj nizke temperature in visoke relativne zračne vlažnosti dovoljujejo, da se les v Primorju

osuši do 13 %, v preostalem delu Slovenije pa le do 20 % vlažnosti. Razlike v aktivnosti sušenja med pokrajinama so tako posebno očitne v manj ugodnih mesecih.

2.1.5 Prednosti in pomanjkljivosti sušenja na prostem

Velika prednost sušenja na prostem je v tem, da ne potrebujemo energije, vlaganja v pomožne naprave so neznatna, saj ni potrebnih veliko naprav in instrumentov, ki so sicer nujni v sušilnih komorah. Večinoma uvrščamo sušenje na prostem med manj tvegane postopke, saj so razmere sušenja mile, čas sušenja pa daljši, kar pripomore k večji sprostitvi sušilnih napetosti in različni porazdelitvi vlažnosti. Priporočljivo je, da izkoristimo naravne razmere takoj po razžagovanju, ko je les še svež in ni treba zagotoviti visokih temperatur sušenja. Redkejši lesovi se lahko v ugodnih razmerah osušijo tudi do 5 odstotkov na dan (beljava iglavcev), gostejši domači listavci pa od 2 do 3 odstotke na dan.

Poleg dolgotrajnega postopka je velika pomanjkljivost sušenja na prostem ta, da ne moremo doseči nizkih vlažnosti, procesa ne moremo uravnavati, sredstva, vložena v nakup lesa so dolgo vezana, les pa bolj izpostavljen nevarnostim bioloških okužb. Ob vse dragocenejših zemljiščih je treba omeniti tudi, da sušenje na prostem zahteva velike površine.

2.2 NORMALNOTEMPERATURNO KONVEKCIJSKO KOMORSKO SUŠENJE Z DELNO IZMENJAVO ZRAKA

Sušenje lesa je med energijsko najpotratnejšimi postopki v predelavi lesa, zato so možnosti zmanjšanja porabe energije ali njena zamenjava z obnovljivimi viri v tem predelovanem postopku najracionalnejše. Zanimanje za uporabo sončne energije se je povečalo tudi v procesu sušenja lesa, zlasti zaradi boljše izrabe lesnih ostankov. Današnji razvoj tehnike nakazuje najhitrejši razvoj pri izrabi sončne energije z različnimi možnostmi njene izrabe: aktivni solarni sistemi, pasivni sistemi, sončne celice.

Da bi ocenili možnosti uvajanja sušil-ne tehnike tudi v Sloveniji, je bila v sklopu raziskovano-razvojnega centra za uporabo obnovljivih virov energije postavljena pilotska eksperimentalna sušilnica. Posebnost komore je izključna uporaba obnovljivih energetskega virov, oziroma energije sonca tako za segrevanje kot za pogon naprav za prisilno kroženje zraka. Že v projektu pa je bila načrtovana uporaba ekološko najsprejemljivejših materialov. Energijske zahteve pri sušenju lesa so zelo velike, saj se od vse potrebne energije v predelave lesa od 60 do 70 % porabi za njegovo sušenje. V Sloveniji, in tudi v Evropi, je

trenutno najpogostejše t.i. normalnotemperaturno konvekcijsko komorsko sušenje z delno izmenjavo zraka, ki pomeni približno 80 % vseh kapacitet sušilnih naprav. Pri tem načinu se 80 do 85 % porabi kot toplotna energija, večinoma pridobljena iz lesnih ostankov, preostalih 15 do 20 % pa kot električna (Gorišek-Novak, 1998).

2.3 MOŽNOSTI IZKORIŠČANJA SONČNE ENERGIJE

Sonce je »neizčrpen« vir obnovljive energije. Je ekološko čista oblika energije, ker ne onesnažuje okolja in jo imamo v »neomejenih« količinah. Sončna energija nam primarno daje svetlobo in toploto, lahko pa jo uporabimo za ogrevanje sanitarne vode, ogrevanje prostorov ali jo spremenimo v električno energijo. Energijski tok, ki ga sonce seva na zemljo, je 15.000 krat večja od energije, ki jo porabi človek. Na Zemljo pada pri kroženju okoli Sonca energijski tok z gostoto približno 1353 W/m^2 , merjeno na ploskev, pravokotno na sončne žarke. To vrednost imenujejo »solarna konstanta«. Od te energije se približno 19 % absorbira v ozračju, oblaki pa v povprečju odbijejo nadaljnjih 35 % vpadlega energijskega toka. Jakost sončnega sevanja znaša v jasnih dneh 1.000 W/m^2 . Sončno obsevanje sestoji iz direktnega sončnega sevanja ter razpršenega sončnega sevanja (Zelena energija Pomurja, 2008).

Načini zajemanja sončne energije:

- 1) pasivno - s solarnimi sistemi za ogrevanje in osvetljevanje prostorov,
- 2) aktivno - s sprejemniki sončnega sevanja za pripravo tople vode in ogrevanje prostorov,
- 3) s fotovoltaike - s sončnimi celicami za proizvodnjo električne energije.

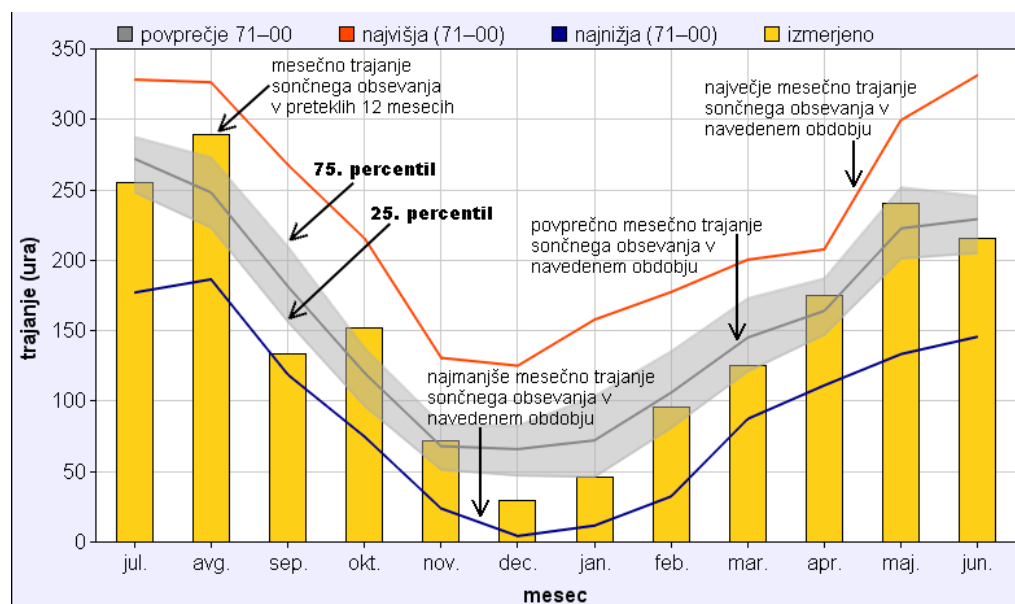
2.3.1 Tehnologije izkoriščanja sončne energije

Osončenost (obsevanost s sončnim sevanjem) zemeljskega površja, ki običajno ni vodoravna ploskev, je zanimiv podatek za gozdarje, lesarje, agronome ipd. Medtem, ko globalno osončenost pogojujejo astronomski in podnebni vplivi, pa je kvaziglobalna osončenost tal odvisna še od oblike reliefa in albeda tal. Kvaziglobalno osončenost lahko delimo na direktno (vpliv vpadnega kota Sonca in senc) in difuzno (vpliv deleža vidnega neba) (povzeto po projektu Kras, 2009). Eden izmed pomembnih vhodnih podatkov za študijo so bili podatki o letnem globalnem obsevu. Trajanje sončnega obsevanja merimo s Campbell-Stokesovim heliografom. Ob sončnem vremenu leča v obliki steklene krogle izžge sled na lepenko. Dnevno trajanje sončnega obsevanja je sorazmerno dolžini izžgane sledi. Neposredno iz meritev in posredno iz trajanja sončnega obsevanja tako dobimo

podatke o urnih vrednostih direktnega in difuznega sončnega obseva. Za primer pogledjmo sliko (Slika 5), na kateri je prikazano mesečno trajanje sončnega obsevanja. Grafikon prikazuje potek osončenosti v zadnjih 12 mesecih do prejšnjega meseca. Primer: če je danes je 30. avgust 2009, na grafikonu je potek mesečnega trajanja sončnega obsevanja od avgusta 2008 do julija 2009.

Sivo obarvan pas predstavlja razpon običajnih vrednosti v referenčnem obdobju na določen mesec v letu. Polovica vseh izmerjenih vrednosti tega obdobja se nahaja v tem pasu. Četrtna najvišjih vrednosti referenčnega obdobja je nad, četrtna najnižjih pa pod sivim pasom.

Trajanje sončnega obsevanja je zaradi reliefa manjše v hribovitih krajih in na krajih z ovirami kot so gozdovi, visoke stavbe oziroma objekti in podobno.



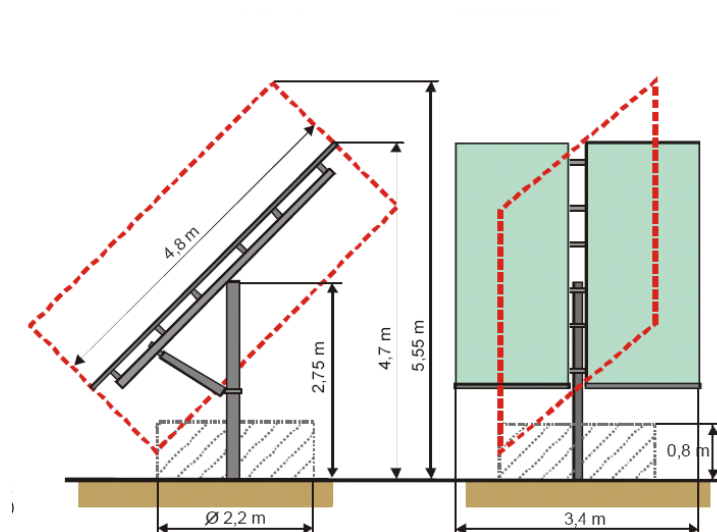
Slika 5: Mesečno trajanje sončnega obsevanja (ARSO, 2009).

2.3.2 Sprejemniki sončne energije (SSE)

Pasivna raba sončne energije pomeni rabo primernih gradbenih elementov za ogrevanje zgradb, osvetljevanje in prezračevanje prostorov. Elementi, ki se uporabljajo pri pasivnem izkoriščanju sončne energije so predvsem okna, sončne stene, steklenjaki itn.

Aktivna raba sončne energije pomeni rabo s pomočjo sprejemnikov sončne energije. V SSE se segrejeta bodisi voda za pripravo tople vode, bodisi zrak za ogrevanje prostorov. Absorber je bistveni del sprejemnika sončne energije, ki je navadno iz kovine. Na njem je

plast, ki absorbira sončno energijo. Glavna naloga absorberja je, da prenese toploto iz te plasti na vodo ali zrak, ki teče skozenj. Sprejemnike sončne energije običajno povežemo skupaj v sistem SSE, ki ga postavimo na streho zgradbe. Ti sprejmejo največ sončne energije, če so postavljeni pod kotom 25° - 45° poleti ter 45° - 65° pozimi in so obrnjeni v smeri J ali JZ (Slika 6), vendar jih zaradi velikih stroškov in zahtevnega dela spreminjanja naklona in smeri postavljamo pod kotom 45° in v smeri J (Letonje, 2010).



Slika 6: Postavitev in dimenzije sončnih kolektorjev (Letonje, 2010).

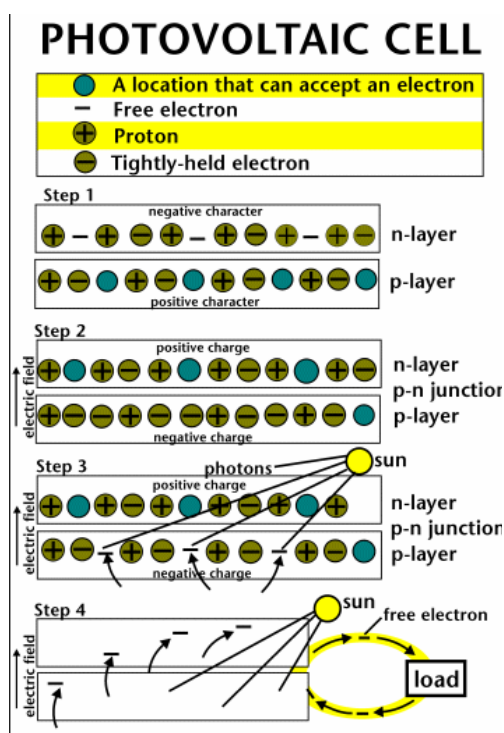
2.3.3 Fotovoltaika

Fotovoltaika je tehnologija pretvorbe sončne energije neposredno za segrevanje sanitarne vode ali v električno energijo. Proces pretvorbe je čist, zanesljiv in potrebuje le svetlobo kot edini vir energije. Proces pretvorbe poteka preko sončnih celic. Sončne celice so sestavljene iz polprevodnega materiala. Največkrat je to silicij, ki se ga pridobiva iz kremenčevega peska. Pri procesu predelave kremenčevega peska v ustrezno čist silicij, ki se ga rabi za proizvodnjo sončnih celic, je potrebno veliko korakov. Poznamo monokristalne, multikristalne in amorfne sončne celice. Osnova monokristalnih sončnih celic so ploščice narezane iz enega samega čistega kristala. Te celice imajo največji izkoristek med sončnimi celicami (15 - 20 %) in so najpogostejše uporabljene. Proizvodnja sončnih celic iz drugih oblik silicija pa je cenejša. Sončne celice so sestavljene iz najmanj dveh plasti polprevodnega materiala. Ena plast ima pozitivni naboj, druga negativni. Pri

absorpciji svetlobe se na kovinskih stikih plasti vzpostavi električni potencial. To sprosti elektrone na negativni plasti sončne celice, ki začno teči iz polprevodnika po zunanjem krogu nazaj na pozitivno plast. Tok steče, ko se priključijo naprave oz. porabniki in s tem sklenejo krog (Slika 7) (Letonje, 2010). Električno energijo, proizvedeno s procesom fotovoltaike, lahko uporabimo v več primerih:

- o oskrba odročnih naselij, zgradb itn.
- o oskrba oddaljenih naprav (svetilniki, sateliti itn.)
- o oddaja v električno omrežje
- o uporaba v proizvodih kot so npr. računalniki ali ure.

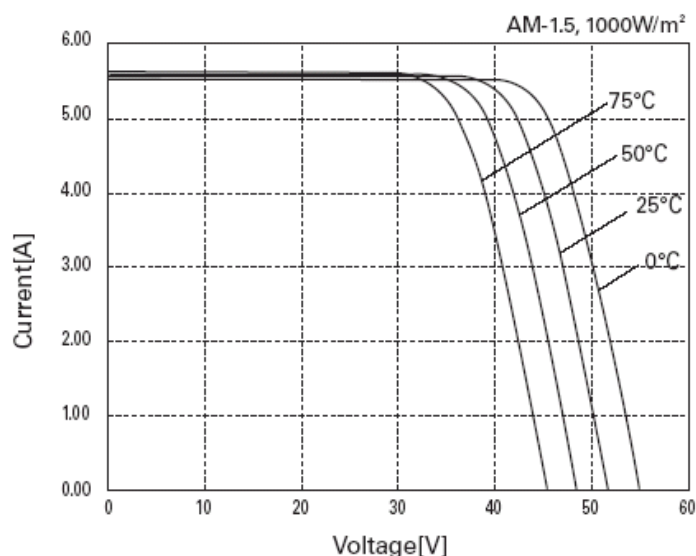
Sistemi sončnih modulov: za boljše funkcioniranje so sončne celice, povezane skupaj v sončne module, moduli pa so skupaj z ostalimi komponentami povezani v sisteme. Ti sistemi so lahko samostojni ali priključeni na električno omrežje.



Slika 7: Delovanje fotovoltaične celice (Letonje, 2010).

Proizvajalci oziroma ponudniki SSE nam podajajo neke povprečne moči, katere so pridobljene na osnovi sončno obsevanje 1000Wh/m^2 , pri zračni masi $1,5\text{g}$ kar ima

malenkosten vpliv na izkoristek. Predpostavljajo tudi, da celice delujejo pri temperaturi 25 °C, kar tudi vpliva na izkoristek fotovoltaičnih celic medtem, ko je pri steklenjakih zaželeno višja temperatura. Vpliv temperature na izkoristek najbolj razlaga slika (Slika 8), katera ponazarja pridobljeno napetost pri sončnem obsevanju 1000Wh/m^2 z različnimi temperaturami fotovoltaičnih panelov.



Slika 8: Napetost v odvisnosti od toka pri različnih temperaturah panelov (Sanyo, 2009).

2.4 SUŠENJE S SONČNO ENERGIJO

Prvi poskusi sušenja lesa s sončno energijo so bili opravljeni leta 1958. Les so sušili s toplim zrakom, ki so ga segreli z zelo enostavnim sončnim sprejemnikom.

Najosnovnejši tip solarne sušilne komore je naravno ogrevanje prek direktnih sistemov (steklene stene), indirektnih sistemov (masivne stene) in steklenikov (zimskih vrtov). V praksi se izvajajo kombinirani sistemi, saj tako izkoristijo vse prednosti ali nadomestijo slabosti posameznih izvedb. Sončno sevanje se prek zastekljenih odprtin prenaša v notranjost prostorov, kjer se toplota akumulira v tleh ali stenah komore. Dodatni ventilatorji v sušilnem prostoru zagotavljajo enakomerno segrevanje in sušenje celotnega zložaja. (Gorišek, Novak, 1998), (Tschernitz, 1977 do 1980).

Najpomembnejši element aktivnih solarnih sistemov je SSE, ki absorbira sončno sevanje in se pri tem segreje. Toplota prehaja na toplotni prenosnik (zrak, voda), ki prek ventilatorjev prenaša energijo v sušilno komoro. Uporablja se več sistemov prenosa toplotne energije iz

zbirnega mesta do mesta porabe. Sistem z zrakom je relativno enostaven in poceni, največja težava pa je skladiščenje toplote za daljše časovno obdobje. Pri nekaterih zunanjih SSE se kot prenosni medij uporablja tekočina. Sistem je kompleksen in drag, vendar že omogoča tudi akumuliranje toplote za uporabo v času, ko ni sončnega obsevanja (Gorišek, Novak, 1998).

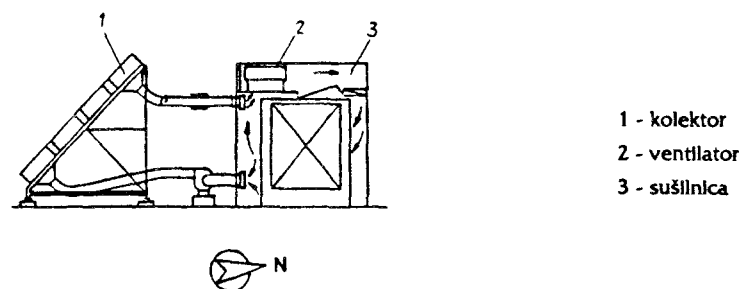
V zadnjem času sončni energiji posvečamo vse večjo pozornost, predvsem zato, ker viri fosilnih goriv usihajo, drugi viri energije pa so izredno dragi oziroma sedanja tehnologija ni dozorela za njihovo izkoriščanje. Eden največjih problemov pri pridobivanju sončne energije je njeno skladiščenje. Poleg tega, da je ta neenakomerno porazdeljena po vsej zemeljski obli, je tudi neenakomerno porazdeljena prek dneva. Za noč oz. zimo bi morali napraviti zalogo, najbolje v kakšnem drugem gorivu, npr. vodik, ki bi bil tudi odlična zamenjava za bencin.

2.4.1 Današnje sušilnice za sušenje lesa s sončno energijo

Sušilnica je zgrajena enako kot druge sušilnice, kjer se les suši z zrakom, mora pa biti zelo dobro toplotno izolirana. Trenutno se uporablja za segrevanje zraka samo kolektorski način. Uporabljata se oba sistema: direktni, kjer je delovni fluid zrak in indirektni, kjer je delovni fluid voda.

2.4.2 Direktni način

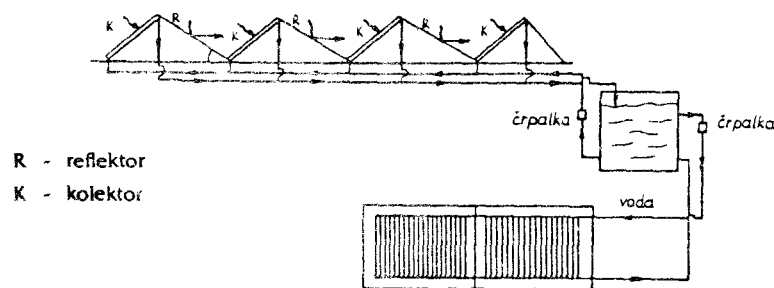
Ta način (Slika 9) se uporablja v nekaterih državah po svetu, predvsem v toplejših deželah. Na Češkem so pri zračni temperaturi 26 °C segreli zrak s kolektorji na maksimalno temperaturo 89,5 °C, pri zračni temperaturi 28 °C pa celo na 96 °C. Les je imel pri sušenju začetno vlažnost 60%, po 20 dneh sušenja pa je vseboval le še 25% vlage. Kolektor je imel 20 m² površine, tako da je imel toploto 21.600 kJ/h (Gorišek in sodelavci, 1994).



Slika 9: Shema direktnega gretja sušilnice (prerez) (Gorišek in sodelavci, 1994).

2.4.3 Indirektni način

Pri tem načinu zrak v sušilnici segrejemo indirektno z ogreto vodo. Temperature so nižje, vendar ima to prednost, da temperatura zraka manj variira (Slika 10). Pri indirektnem načinu pada temperatura zlasti ponoči. Pri tem načinu imamo lahko enostavnejši sistem, kjer se topla voda akumulira v rezervoarju (Gorišek in sodelavci, 1994).



Slika 10: Shema indirektnega gretja sušilnice (Gorišek in sodelavci, 1994).

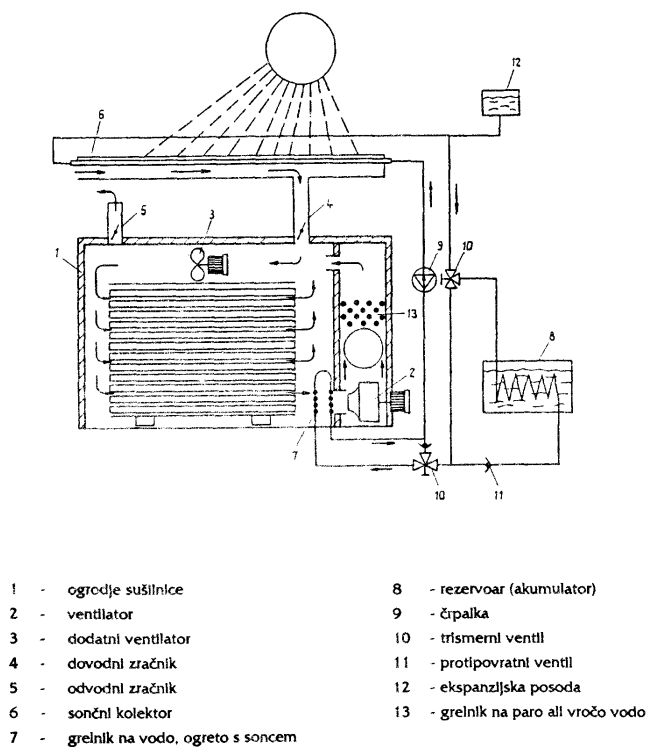
2.4.4 Kombinirane sušilnice

Solarno sušenje ima največje možnosti v južnih (sončnih) krajih. Pri nas so primerni kombinirani načini gretja sušilnice.

Na sliki (Slika 11) je prikazana kombinacija ogrevanja s sončnim kolektorjem in klasičnimi grelniki. Ko sije sonce, se sušilnica ogreva s segretim zrakom iz kolektorja. Hkrati se segreva tudi voda, ki v rezervoarju (akumulatorju) zadrži toploto, in z njo ogreva sušilnico ponoči. V akumulatorju je parafinsko olje. Akumulacija sončne energije je posebna prednost te sušilnice. Nameščeni so tudi običajni grelniki na vročo vodo ali paro, ki se vklopijo, ko v sistemu na sončno energijo pade temperatura.

Kombinirana solarno-kondenzacijska sušilnica porabi zelo malo energije. Sončni kolektor je nameščen na sušilnici ali poleg nje. Kondenzacijski agregat je v komori, kompresor in motor pa zunaj nje in nista izpostavljena visokim temperaturam.

Ventilatorji sončnega sistema se vklopijo, če je temperatura zraka v sončnem sistemu višja od temperature v sušilnici. Kondenzacijski agregat (toplotna črpalka) pa se vklopi, ko relativna vlažnost zraka preseže nastavljeno vrednost (npr 80%) (Gorišek in sodelavci, 1994).



Slika 11: Kombinirana sušilnica s sončnim kolektorjem in klasičnimi grelniki (Gorišek in sodelavci, 1994).

3 METODA

3.1 ZAJEM PODATKOV

Podatke o globalnem sončnem sevanju, smo zajeli iz meteoroloških dnevnikov, kjer so bile spremljane dnevne vrednosti globalnega sončnega obsevanja za različne kraje po Sloveniji.

Izbrali smo naslednje kraje in mesta:

- o Bilje
- o Ljubljana Bežigrad
- o Maribor
- o Murska Sobota
- o Novo mesto
- o letališče Portorož in
- o Rateče

V izračun smo po posameznih krajih vključili desetletno povprečje (od 2000 do 2009) globalnega obsevanja, povprečno število sončnih ur in primerjavo med najbolj in najmanj ugodnim mesecem.

3.2 KARAKTERISTIKE SPREJEMNIKOV SONČNE ENERGIJE

Zbrali smo karakteristike sprejemnikov sončne energije, kjer moči znašajo za steklenjaka $0,04 \text{ kW/m}^2$ z izkoristkom 20%, fotovoltaični kolektorji za pridobivanje tople vode so moči $0,193 \text{ kW/m}^2$ z izkoristkom 25%, fotovoltaične celice za proizvodnjo električne energije, pa imajo moč $0,2 \text{ kW/m}^2$ ter izkoristek 19,3 %.

Naredili smo izračun na podlagi ponudnikovih podatkov za tlorisno površino konvencionalne sušilne komore, kjer smo dobili povprečno zajeto energijo na podlagi serijskih podatkov.

Z dobljenimi povprečnimi vrednostmi globalnega sončnega obsevanja za posamezne kraje smo nato te vrednosti preračunali v moči, s katerimi lahko kolektorji in fotovoltaične celice obratujejo.

3.3 SUŠILNA KOMORA

Za hipotetičen izračun smo izbrali konvencionalno sušilno komoro, z bruto dimenzijami, dolžine 9 m, širine 6,1 m, in višine 4 m.

Pri optimalnem polnjenju lahko v komoro razporedimo 18 zložajev standardnih dimenzij 140 cm x 140 cm x 400 cm.

V izbrani sušilni komori, naj bi bile vgrajene stropne grelne naprave iz bimetalnega navitja (šopov cevi), s skupno inštalirano močjo 389 kW. Za prisilno kroženje zraka bi služilo osem osnih aksialnih ventilatorjev na stropu s skupno močjo 24 kW.

Kot grelni medij naj bi se uporabljala vroča voda sistema 90 / 100 °C.

Površina strehe sušilne komore znaša 54,9 m², kar smo izračunali iz predpostavljene neto kapacitete sušenja.

3.3.1 Poraba energije pri konvencionalnem komornem sušenju

Za izračun potrebne energije in časa sušenja smo uporabili les bukve (*Fagus sylvatica* L.) (Preglednica 1). Hipotetično smo predpostavili sušenje bukovine v komori z neto kapaciteto 64,8 m³, z osnovnimi dimenzijami žaganega lesa 400 cm × 40 cm × 5 cm. Predvidevamo, da les sušimo iz svežega stanja z vlažnostjo 80 % na končno ciljno vlažnost 10%.

Preglednica 1: Gostota absolutno suhega stanja lesa (ρ_0), koeficient lesne vrste (α) ter specifična poraba energije (q).

drevesna vrsta	α	q [kWh/kg]	ρ_0 [kg/m ³]
Bukev	0,021	2	490...680...880

Za izračun količine celotne energije, ki jo potrebujemo pri konvencionalnem komornem sušenju z delno izmenjavo zraka, smo maso vode v lesu pomnožili s specifično porabo energije za sušenje bukovine.

$$Q_{\text{cel}} = \rho \times m_v \quad \dots(1)$$

Kjer je:

Q_{cel} celotna energija v kWh

ρ specifična poraba energije za sušenje bukovine v kWh/kg

m_v masa vode v lesu v kg

3.4 ČAS SUŠENJA LESA

Pri izračunu časa smo sledili ameriškemu programu sušenja in uporabili Kollmannovo enačbo (Straže, 2008)

$$t = 1/\alpha \times \ln(u_z/u_k) \times (d/25)^{1,5} \times (65/T) \quad \dots(2)$$

Kjer je:

t čas enega cikla sušenja

α koeficient lesne vrste, ki opredeljuje njeno permeabilnost in difuzivnost in znaša za bukovino 0,021.

u_z začetna vlažnost v %

u_k končna vlažnost v %

d debelina žaganic v mm

T temperatura sušenja v °C

Kollmannovo enačbo smo uporabili zaradi enostavnosti ter namena naše raziskave, v kateri raziskujemo možnosti za solarno sušenje v Sloveniji, saj so sušilni režimi bolj namenjeni natančnejšemu načrtovanju sušilnih procesov.

4 REZULTATI

4.1 PORABA ENERGIJE ZA SUŠENJE

V predpostavljani konvencionalni komorni sušilnici z delno izmenjavo zraka, katera v optimalnem polnjenju zajame $68,8 \text{ m}^3$ žaganega lesa standardnih dimenzij traja sušenje bukovine, debeline 50 mm iz začetne vlažnosti 80 % na ciljno končno vlažnost 10% 304 ure.

V postopku sušenja se izloči 44064 kg vode za kar, ob specifični porabi energije 2 kWh/kg izločene vode (Straže, 2008), skupno potrebujemo 88128 kWh energije. Poraba električne energije znaša 20 %, kar pomeni, da za osušitev ene šarže potrebujemo 17626 kWh električne energije, preostali del potrebne energije, to je 70502 kWh pa je toplota.

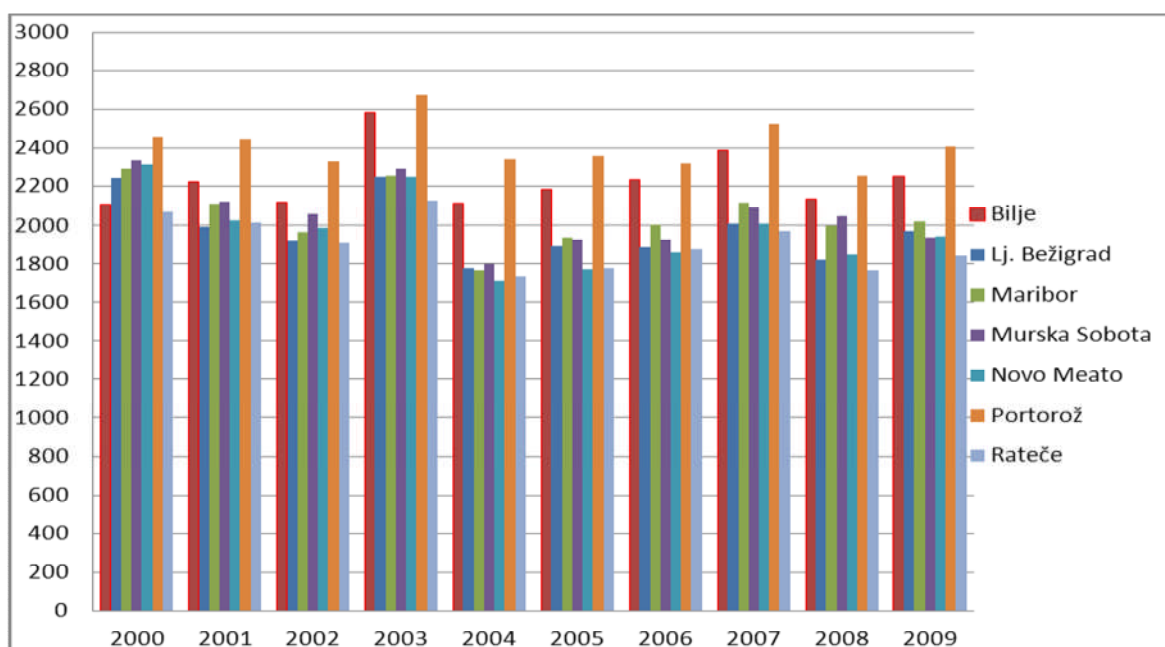
4.2 TRAJANJE GLOBALNEGA SONČNEGA OBSEVANJA

Povprečno število ur sončnega obsevanja na leto je v Sloveniji od 1710 ur v Novem mestu do 2678 ur v Portorožu (Preglednica 2). V Ljubljanski kotlini je zaradi megle čas obsevanja nekoliko krajši. Glede na letna nihanja lahko grobo ocenimo, da imamo povprečno na leto 2000 ur sonca, glede na specifične klimatske razmere pa v gorskem svetu morda nekaj ur manj in pri morju nekaj ur več.

Preglednica 2: Letno število ur sončnega obsevanja v urah za posamezne kraje po Sloveniji(ARSO, 2009).

leto	Bilje	Lj. Bežigrad	Maribor	Murska Sobota	Novo Meato	Portorož	Rateče	enota
2000	2109	2245	2291	2340	2314	2460	2071	[h]
2001	2222	1993	2110	2121	2028	2448	2017	[h]
2002	2120	1924	1967	2059	1990	2331	1912	[h]
2003	2583	2251	2257	2296	2249	2678	2127	[h]
2004	2111	1780	1768	1798	1710	2345	1733	[h]
2005	2185	1895	1941	1926	1774	2361	1777	[h]
2006	2236	1888	2003	1928	1861	2321	1875	[h]
2007	2392	2010	2118	2091	2013	2528	1971	[h]
2008	2138	1824	2000	2052	1849	2254	1764	[h]
2009	2251	1970	2022	1937	1944	2412	1842	[h]
povprečno	2234,7	1978	2047,7	2054,8	1973,2	2413,8	1908,9	[h]

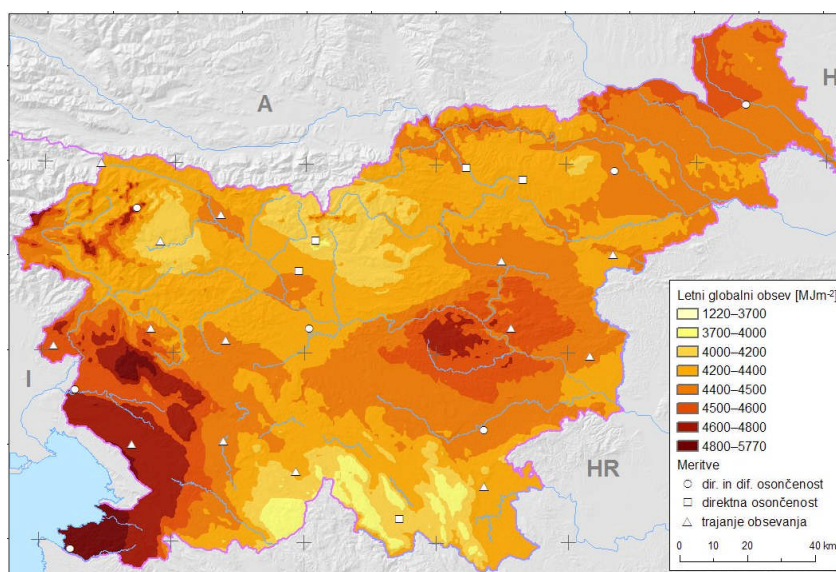
Kot smo že omenili, je trajanje sončnega obsevanja zelo odvisno od lege kraja ter ovir sončnih žarkov. Zaradi vrste dejavnikov, ki so povezani s položajem planeta, prihaja do razlik, kar se vidi v diagramu letnih nihanj (Slika 12). Diagram nam pokaže, da trend trajanja globalnega sončnega obsevanja rahlo pada, v zadnjih letih je nihanje trajanja nekoliko bolj izrazito, trend čas trajanja sončnega obsevanja pa se v zadnjih štirih letih nekoliko obrača v pozitivno. Če primerjamo med naštetimi kraji tudi po nadmorski višini, lahko sklepamo da tudi ta rahlo vpliva na trajanje in energijo globalnega sončnega obsevanja, vendar te teze niso dokazane.



Slika 12: Diagram trajanja sončnega obsevanja po krajih v Sloveniji [kWh/m²].

4.3 ENERGIJA GLOBALNEGA SONČNEGA OBSEVANJA

Energija letnega globalnega obsevanja je v tesni korelaciji s številom ur sončnega obsevanja (Slika 13), največji globalni obsev je v Primorju, sledi Predalpsko Dolenjsko hribovje, ki ima skoraj enake energije obsevanja kot primorska, nadpovprečno pa je še v vzhodni Sloveniji in po nekaterih krajih na gorenjskem.



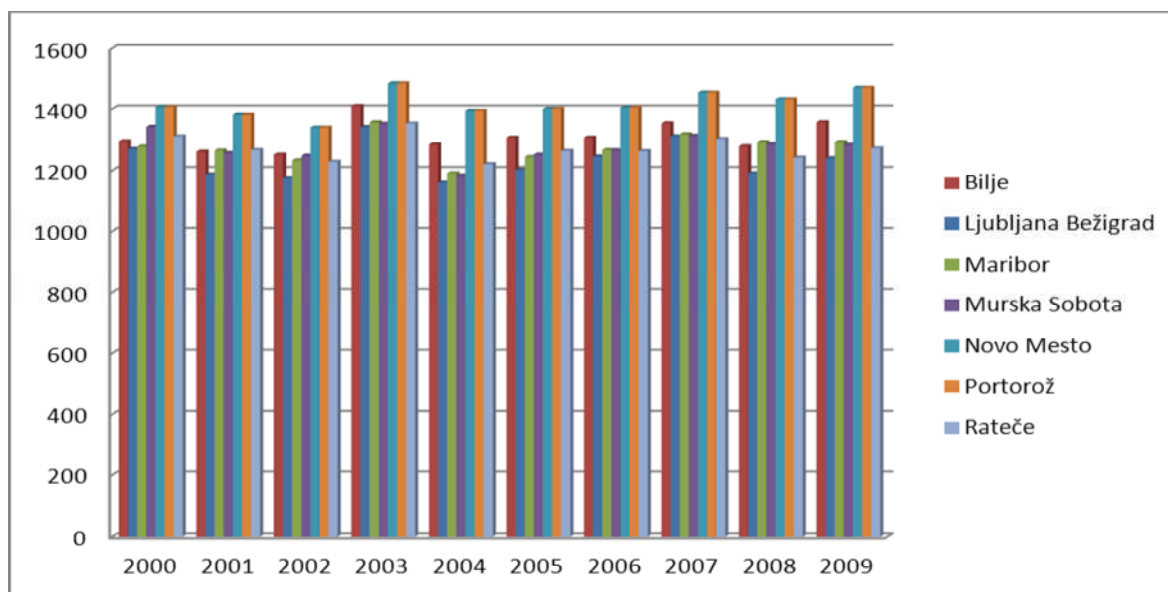
Slika 13: Globalno sončno obsevanje v Sloveniji (Kras, 2009).

Povprečna energija globalnega sončnega obsevanja na leto v Sloveniji je od 1176 kWh/m² v Ljubljani do 1486 kWh/m² v Portorožu (Preglednica 3). V Ljubljani in Mariboru je zaradi klimatskih dejavnikov energija sončnega obsevanja nekoliko nižja. Glede na letna nihanja lahko grobo ocenimo, da imamo v povprečju na leto 1300 kWh/m² sončne energije, glede na specifične klimatske razmere pa v Gorskem svetu morda nekaj kWh sončne energije manj in obratno v Primorju. V zajetih letih pa so tudi odstopanja, katera so nadpovprečna v Portorožu saj so tudi do 200 kWh višja, podpovprečna pa so v Ljubljani z odstopanjem do 150 kWh, kar znaša do 11 % pod in do 13 % nad desetletno povprečje globalnega sončnega obsevanja.

Preglednica 3: Skupna energija globalnega sončnega obsevanja v kWh/m² za posamezne kraje po Sloveniji od leta 2000 do 2009 (ARSO, 2009)

leto	Bilje	Ljubljana Bežigrad	Maribor	Murska Sobota	Novo Mesto	Portorož	Rateče	enota
2000	1294,75	1270,73	1278,74	1341,74	1330,67	1406,52	1310,79	[kWh/m ²]
2001	1261,86	1187,29	1265,97	1257,83	1235,12	1381,27	1267,36	[kWh/m ²]
2002	1252,50	1175,57	1233,66	1248,56	1211,40	1339,87	1229,42	[kWh/m ²]
2003	1410,87	1341,32	1356,79	1351,83	1352,06	1485,56	1352,94	[kWh/m ²]
2004	1285,34	1160,68	1191,60	1183,81	1164,14	1393,91	1221,08	[kWh/m ²]
2005	1306,97	1202,21	1244,38	1252,53	1206,03	1400,37	1264,83	[kWh/m ²]
2006	1306,81	1246,34	1267,20	1266,36	1241,21	1405,09	1263,62	[kWh/m ²]
2007	1353,35	1311,43	1318,23	1312,72	1296,65	1454,74	1302,59	[kWh/m ²]
2008	1279,57	1191,44	1292,27	1286,60	1253,64	1432,58	1242,74	[kWh/m ²]
2009	1357,48	1241,03	1292,60	1284,58	1289,74	1471,22	1273,18	[kWh/m ²]
povp.	1310,95	1232,80	1274,14	1278,66	1258,07	1417,11	1272,86	[kWh/m ²]

Na diagramu (Slika 14) smo prikazali kraje, ki ležijo na različnih delih Slovenije in imajo različno globalno sončnega obsevanje. Ker sta sončna energija in trajanje obsevanja močno odvisni, je tudi tu energija obsevanja višja v Primorju, v osrednjem delu pa nekoliko manjša. Ljubljana in Maribor imata identične količine energije, ki je le malenkost višja v Mariboru.

Slika 14: Diagram energije globalnega sončnega obsevanja glede na lokacijo v Sloveniji [kWh/m²].

4.4 IZKORISTEK SONČNE ENERGIJE ZA SUŠENJE

Na osnovi globalnega sončnega obsevanja za julij in december (Preglednica 4) smo prišli do podatkov, da je možno izkoriščati povprečno moč sprejemnikov sončne energije v Biljah za julij $0,27 \text{ kW/m}^2$, v decembru $0,04 \text{ kW/m}^2$; v Ljubljani $0,25 \text{ kW/m}^2$ za julij, v decembru $0,03 \text{ kW/m}^2$; v Mariboru za julijski mesec $0,25 \text{ kW/m}^2$, decembra $0,04 \text{ kW/m}^2$; v Murski Soboti je moč v juliju $0,25 \text{ kW/m}^2$, v decembru $0,03 \text{ kW/m}^2$; za Novo mesto je julijska moč $0,25 \text{ kW/m}^2$, decembrska pa $0,03 \text{ kW/m}^2$; v Portorožu je julija povprečna moč $0,29 \text{ kW/m}^2$, decembra pa $0,05 \text{ kW/m}^2$ ter v Ratečah ki imajo julijsko moč $0,25 \text{ kW/m}^2$, v decembru pa $0,04 \text{ kW/m}^2$. Do takšnih razlik prihaja zaradi klimatskih pogojev v posameznem kraju ter zaradi njihove lege.

Preglednica 4: Julijske in decembrske mesečne vrednosti globalnega sončnega obsevanja v kWh/m^2 .

[kWh/m^2]	Bilje		Ljubljana		Maribor		Murska Sobota	
leto	julij	december	julij	december	julij	december	julij	december
2000	189,77	23,71	186,95	21,29	164,07	24,44	171,45	24,30
2001	187,29	39,69	183,13	29,72	174,20	33,05	170,47	30,82
2002	195,25	23,54	184,26	15,80	187,14	17,41	190,27	16,89
2003	204,15	31,56	189,70	32,24	184,81	33,64	186,51	30,82
2004	203,85	36,94	185,82	22,31	171,74	25,57	167,90	23,56
2005	192,14	30,77	169,87	25,25	160,83	32,79	169,81	30,79
2006	207,96	30,37	204,06	26,00	202,15	29,63	202,17	24,87
2007	211,20	37,83	204,84	23,12	202,63	23,72	200,00	20,92
2008	202,20	31,65	184,99	17,27	183,14	23,44	178,36	20,69
2009	207,73	22,93	188,62	19,78	197,43	29,31	194,67	26,52
povp.	200,15	30,90	188,22	23,28	182,81	27,30	183,16	25,02
		Novo mesto		Portorož		Rateče		
		julij	december	julij	december	julij	december	
2000		181,27	25,33	202,97	27,84	180,49	29,67	
2001		181,90	32,67	208,65	41,50	182,28	33,35	
2002		181,98	15,91	201,31	25,95	176,42	22,74	
2003		189,96	33,53	219,02	36,02	189,96	31,17	
2004		179,66	22,70	219,77	38,76	185,88	33,79	
2005		168,49	25,36	206,64	31,36	167,73	27,70	
2006		200,69	27,65	220,86	32,98	193,19	29,52	
2007		206,53	21,79	224,39	41,19	195,45	32,53	
2008		181,06	20,79	224,51	35,31	181,60	22,83	
2009		196,98	23,62	223,85	30,81	193,37	23,18	
povp.		186,85	24,94	215,20	34,17	184,64	28,65	

Glede na predpostavljeno tlorisno površino sušilne komore $54,9\text{m}^2$ lahko pričakujemo, da bomo v času sušenja ene povprečne šarže glede na različne tehnike sprejemanja sončne energije, zajeli od 100 kWh do 1400 kWh energije (Preglednica 5).

Preglednica 5: Predvidena zajeta energija na površini komore v času ene šarže z različnimi tehnikami SSE.

sistem	$Q_{\text{steklenjak}}$		Q_{vodni}		Q_{elektro}		enota
mesec	julij	december	julij	december	julij	december	
podane vrednosti	133		804		643		kWh
Bilje	1149	177	1436	222	1108	171	kWh
Ljubljana	843	104	1054	130	814	101	kWh
Maribor	819	122	1024	153	790	118	kWh
Murska sobota	1051	144	1314	179	1014	139	kWh
Novo mesto	1072	143	1340	179	1035	138	kWh
Portorož	964	153	1205	191	930	148	kWh
Rateče	827	128	1034	160	798	124	kWh

Iz izračunov (preglednici 4 in 5) lahko zaključimo:

- V zadnjih desetih letih bi v Biljah lahko izkoristili v času sušenja ene šarže na celotni površini sušilne komore med 1108 kWh do 1435 kWh sončne energije. Nihanja med leti so relativno majhna, saj je koeficient variacije le 6 %. Decembra obsevanja nihajo v proučevanih letih od 171 kWh do 221 kWh z bistveno večjim koeficientom variacije (do 28%).
- V zadnjem desetletju bi v Ljubljani lahko izkoristili v poletnem obdobju v času ene šarže na celotni površini sušilne komore med 813 kWh in 1054 kWh sončne energije. Nihanja med leti so relativno majhna saj je koeficient variacije 9 %. Decembra obsevanja nihajo od 100 kWh do 130 kWh z bistveno večjo variacijo (do 28 %).
- V Mariboru bi v proučevanem desetletju lahko izkoristili v juliju na predvideno velikost šarže in na celotni površini sušilne komore od 790 kWh do 1024 kWh. Nihanja med leti so višja od predhodnih krajev saj je koeficient variance od 5 % do 11 %. V zimskem času pa bi lahko zajeli od 118 kWh do 153 kWh, z koeficientom variacije do 21 %.
- V Murski Soboti bi v proučevanih desetih letih v poletnem obdobju na celotni površini komore za čas sušenja predvidene šarže, lahko zajeli od 1014 kWh do 1314 kWh sončne energije. Koeficient variacije je v tem času majhen, saj je do 9 %. V zimskem obdobju pa bi lahko zajeli od 139 kWh do 179 kWh sončne energije. Nihanja med leti so relativno velika saj znaša koeficient variacije od 16 % do 23 %.

- V zadnjih desetih letih bi v Novem mestu lahko izkoristili v času sušenja ene šarže na celotni površini sušilne komore med 1035 kWh do 1340 kWh sončne energije. Nihanja med leti so relativno majhna, saj je koeficient variacije le od 3 % do 10 %. Decembra obsevanja nihajo v proučevanih letih od 138 kWh do 179 kWh z bistveno večjim koeficientom variacije (do 31%).
- V zadnjem desetletju bi v Portorožu lahko izkoristili v poletnem obdobju v času ene šarže na celotni površini sušilne komore med 930 kWh in 1205 kWh sončne energije. Nihanja med leti so relativno majhna saj je koeficient variacije le 3 %. Decembra obsevanja nihajo od 148 kWh do 191 kWh z bistveno večjo variacijo (do 21 %).
- V Ratečah bi v proučevanem desetletju lahko izkoristili v juliju na predvideno velikost šarže in na celotni površini sušilne komore od 798 kWh do 1034 kWh. Nihanja med leti so majhna saj je koeficient variance do 6 %. V zimskem času pa bi lahko zajeli od 124 kWh do 160 kWh, z koeficientom variacije do 16 %.

Če primerjamo kraje in posamezne tipe SSE med seboj je razvidno, da največ energije zberemo s pomočjo fotovoltaičnih sprejemnikov za pridobivanje tople vode, do česar pride zaradi izkoristkov posameznih SSE. Največ energije zajamemo v Portorožu in Ratečah, kjer so najboljše pogoji.

5 RAZPRAVA

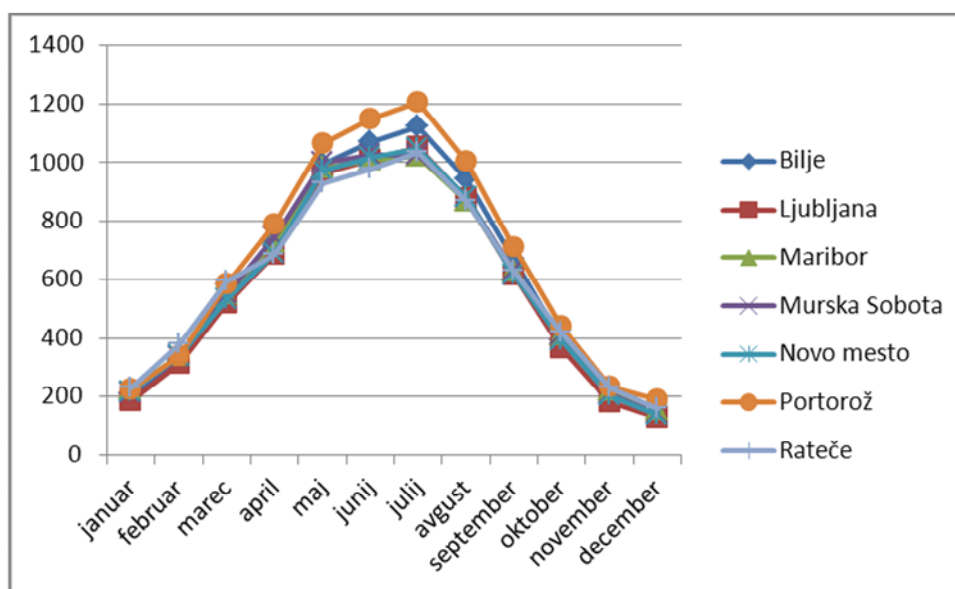
Za konvencionalno komorsko sušenje $64,8 \text{ m}^3$ bukovine (*Fagus sylvatica* L.) debeline 50 mm iz ocenjene 80% na končno 10 % vlažnost, potrebujemo skupaj 88128 kWh energije, od tega 80 % toplotne, kar znaša 70502 kWh in 20 % električne torej 17626 kWh. S SSE v najbolj ugodnem času (poletni meseci) pridobimo do 1400 kWh toplotne in 1100 kWh električne energije (Preglednica 6). Če pogledamo po krajih, je razvidno, da največ energije pridobimo v Biljah, saj pridobimo do 6 % električne energije in nekaj manj toplotne. Ker je električne energije za proces sušenja potrebno veliko manj, so tudi deleži s SSE pridobljene električne energije večji, torej je bolj ekonomično pridobivati električno energijo, ker bomo tako pokrili večji del potrebne energije. Za Biljem je najbolj ugoden kraj za pridobivanje energije s SSE je Novo mesto, sledijo mu Murska Sobota, Portorož, Ljubljana, Rateče in kot zadnji Maribor.

Preglednica 6: Primerjava med potrebno energijo za sušenje in s SSE pridobljeno energijo v poletnih mesecih (kWh).

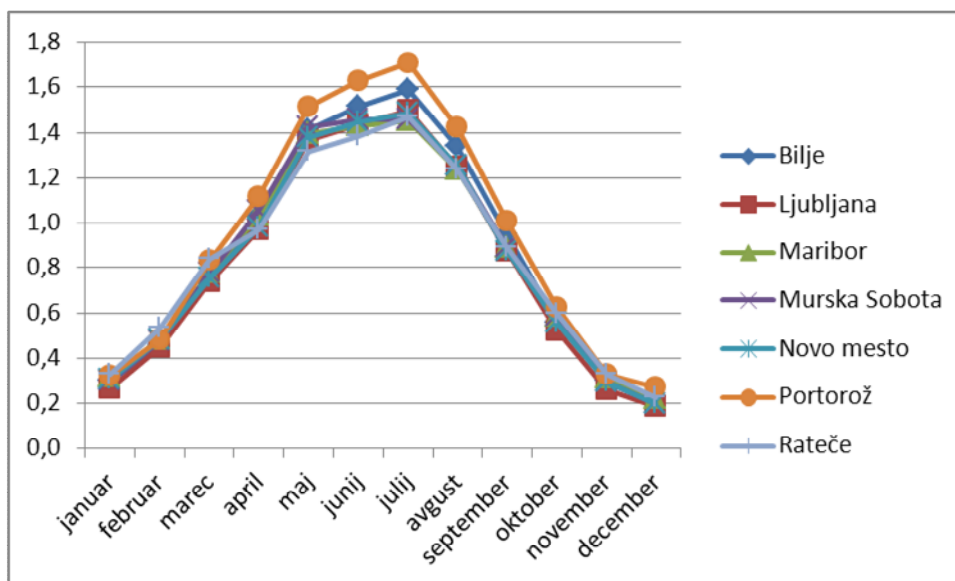
	Q_{topl}	delež [%]	Q_{el}	delež [%]
energija komorskega sušenja	70502,4	100	17625,6	100
Bilje	1436	2	1108	6
Ljubljana	1054	1	814	5
Maribor	1024	1	790	4
Murska Sobota	1314	2	1014	6
Novo mesto	1340	2	1035	6
Portorož	1205	2	930	5
Rateče	1034	1	798	5

Ker Bilje ležijo na meji med Primorsko in Gorenjsko, kjer je najugodnejša klima, zajamemo tudi največ sončne energije. Tu namreč ni ovirajočih dejavnikov (megla, hribi,...). Novo mesto, ki je na drugem mestu leži na Dolenjskem, kjer je ravninski svet in imajo velik delež sončnega obsevanja (Slika 13). Prav tako je z Mursko Soboto in Portorožem. Ljubljansko področje, kot naslednje je za sušenje ugodno predvsem poleti saj jo večji del zime prekriva megla. Takrat je za sušenje ugodnejši Maribor, ki je sicer na zadnjem mestu. Pred Mariborom so tako še Rateče, ki ležijo na Gorenjskem, kjer je sončnega obsevanja veliko, a je tu klima manj ugodna, druga ovira pa je lega. Grafično

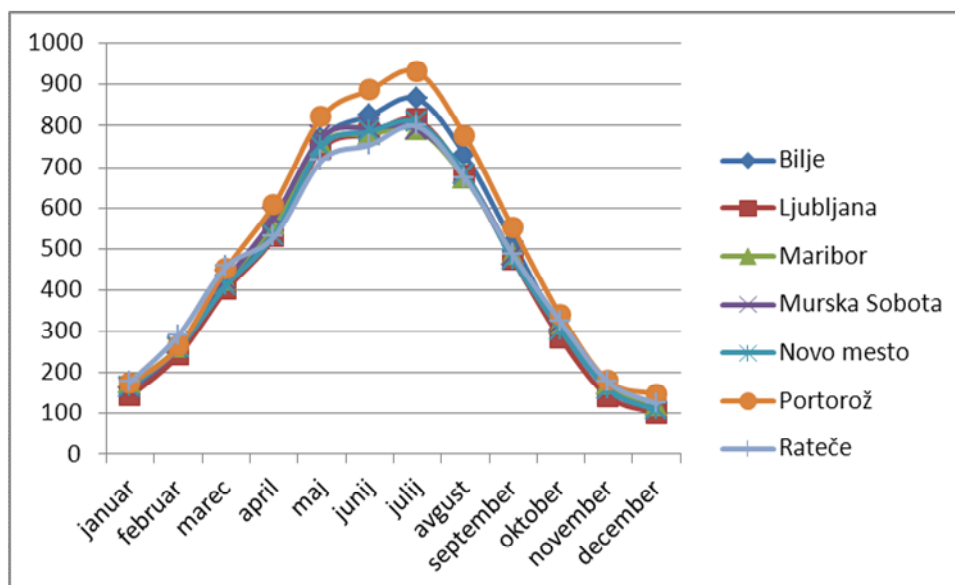
smo prikazali možno pridobljeno energijo s SSE na celotni površini komore v enem letu in deleže pokritja celotne energije v procesu sušenja (Slika 15, Slika 16, Slika 17, Slika 18). Iz spodnjih slik je razvidno da so najugodnejši meseci maj, junij, julij in avgust, kateri imajo tudi najvišje deleže. Najmanj ugodni pa so januar, november in december, ki imajo najnižje vrednosti in deleže. Ostali meseci pa so nekje vmes in tvorijo ravno neko letno povprečje. Poraja se tudi vprašanje o prodaji električne energije, pridobljene s fotovoltaičnimi celicami, saj je odkupna cena 0,42 €/kWh. Mesečno v povprečju zajamemo 800 kWh, kar znaša 340 €. S prihodkom je možno pokriti precejšen del stroškov komornega sušenja.



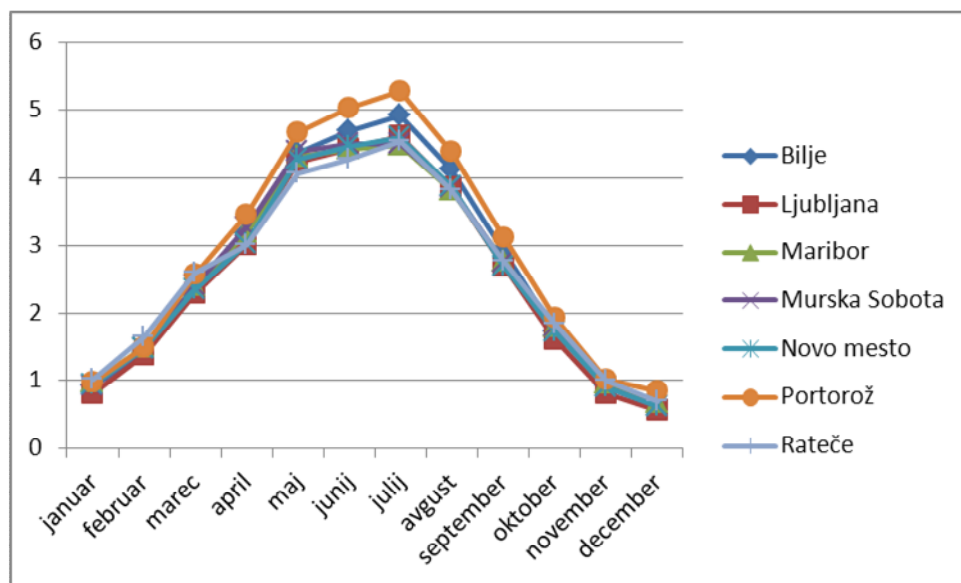
Slika 15: Diagram pridobljene toplotne energije s SSE v enem letu [v kWh].



Slika 16: Diagram pokritja celotne toplotne energije v enem letu [v %].



Slika 17: Diagram pridobljene električne energije s SSE v enem letu [v kWh].



Slika 18: Diagram pokritja celotne električne energije v enem letu [v %].

6 SKLEPI

V raziskavi o možnosti solarnega sušenja lesa v Sloveniji, ob določenih predpostavkah o sušilni komori in vrsti lesa ter načinom zajema sončne energije s SSE, smo prišli do naslednjih sklepov.

Čas obsevanja s sončno energijo v proučevanih desetih letih je najdaljši v obdobju, od začetka maja do konca septembra. Tudi mesec oktober je nekoliko ugodnejši glede na zimske mesece oziroma ima nekoliko daljši čas obsevanja, vendar se že opazi krajšanje dneva. Torej na splošno imamo sonca v izobilju ob koncu pomladi, preko poletja ter del jeseni. Odstopanja se opazi po posameznih lokacijah, saj je čas obsevanja daljši v primorskem delu Slovenije (Portorož in Bilje), sledi ji skrajni vzhod Slovenije (Murska Sobota in Maribor), nato osrednja Slovenija (Ljubljana in Novo mesto) in na koncu še Gorenjska (Rateče). Globalno sončno obsevanje v proučevanem desetletnem obdobju je najmočnejše od konca pomladi, natančneje začetka aprila, preko poletnih mesecev, do prve polovice jeseni, ali drugače do konca septembra. Pri globalnem sončnem obsevanju je nekoliko drugače glede lokacij, saj največ energije pade na primorski del z okolico, malo manj energije pa je možno zajeti na Dolenjskem in Gorenjskem.

S pomočjo SSE pri pridobivanju tople vode imamo večje izkoristke sistema vendar manjše koeficiente pokritja celotne energije sušenja. Nekoliko manjši izkoristek sistema imamo pri SSE za proizvodnjo električne energije, a ker jo v procesu sušenja porabimo znatno manj je delež pokritja večji. Največji odstotek pokritja tako dosežemo v ugodnih poletnih mesecih, pozimi pa je ta odstotek najmanjši. V pomladanskem in jesenskem času pa so ti deleži ravno neko povprečje glede na letno nihanje.

Ker je proces sušenja lesa zelo potraten z energijo, je delež pokritja potrebne energije zelo majhen. Vemo tudi, da je največ sončne energije poleti, ter na koncu pomladi in začetku jeseni, lahko v tem času zajamemo največ sončne energije. Zaradi zaradi premajhnega deleža pokritja energije in negativnih dejavnikov smo izločili steklenjake. Količinsko največ energije tako zberemo s SSE za pridobivanje tople vode, vendar je v tem primeru zaradi velike porabe toplote, delež pokritja potrebne energije zelo majhen, saj v tem obdobju sega od 1 % do 2 % v najugodnejšem obdobju. Večjo pokritost nudijo SSE za pridobivanje električne energije, saj nudijo delež pokritja potrebne energije v procesu sušenja od 3 % do 5 % v ugodnih mesecih in od 1 % do 3 % v manj ugodnih. Delež pokritja potrebne energije v procesu sušenja lesa se spreminja tudi glede na lokacijo, tako tudi tu velja isto kot pri globalnem sončnem obsevanju.

7 VIRI

- ARSO. 2009. Mesečno trajanje sončnega obsevanja:
<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/current/last-12-months/description/>
- Gorišek Ž. 2004. Sušenje na prostem. Korak, 5: 16-17
- Gorišek Ž., Geršak M., Velušček V., Čop T., Mrak C. 1994. Sušenje lesa. 1. Izdaja. Ljubljana, Lesarska založba: 242 str.
- Gorišek Ž., Novak M. 1998. Perspektive uporabe sončne energije za sušenje lesa v Sloveniji. Les, 4: 85-90
- Geršak M., Velušček V. 2003. Sušenje lesa. 1. izdaja. Ljubljana, Lesarska založba: 196 str.
- Haque M. N., Langrish T. A. 2003. Mathematical modelling of solar kilns for drying timber, simulation and experimental validation. Drying Technology, 21, 3: 457-477
- Kras, 2009, društvo za ohranitev krasa:
<http://www.razvojkrasa.si/si/energija/82/article.html>
- Letonje M. 2010. Sprejemniki sončne energije. Ljubljana, Iskra sistemi (osebni vir) september 2010
- Meteorološki letopis. 2000 – 2009. Agencija Republike Slovenije za okolje:
http://www.arso.gov.si/vreme/podnebj/meteorolo%C5%A1ki%20letopis/meteoroloski_letopisi.htm
- Montpreis. 2009. Sušenje lesa:
<http://www.montpreis.si/>
- Obnovljivi viri energije. 2005. Fokus društvo za sonaraven razvoj:
<http://www.focus.si/index.php?node=16>
- Obronek F. 2010. Energijska učinkovitost sušilnega postopka v različnih tehnologijah predelave žaganega lesa. Diplomsko delo. Ljubljana, BF, odd. za lesarstvo: 48 str.
- Perre P. 2007. Fundamentals of wood drying. Nancy. A. R. BO. LPR ENGREF: 366 str.
- Rosić Č., Sušenje lesa, 2004, Biotehnična fakulteta oddelek za lesarstvo
- Sekavčnik M. 2010. Obremenjevanje okolja z različnimi tehnikami pridobivanja energije. Ljubljana, (osebni vir) december 2010
- Tschernitz L., Simpson J. 1977. Solar Kiln Designs:
http://www.woodweb.com/knowledge_base/Solar_Kiln_Designs_1.html
- Zelena energija Pomurja. 2008. Lokalna energetska agencija za Pomurje:
http://www.lea-pomurje.si/datoteke/Zelena_energija_Pomurja.pdf

ZAHVALA

Zahvalil bi se vsem, ki so kakor koli pomagali pri pisanju in nastajanju te diplomske naloge ali pri moralni podpori in vzpodbujanju. Posebna zahvala gre mojemu mentorju prof. dr. Željku Gorišku za pomoč, strokovno vodenje in »kritiko pisanja«. Zahvalil bi se tudi recenzentu doc. dr. Mihaelu Sekavčniku za kritike in pomoč. Prav tako bi se zahvalil staršem in puncu za vzpodbudo in dobro voljo ter pozitivni optimizem.

ISKRENA HVALA

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Tomaž ČERNE

MOŽNOST SOLARNEGA SUŠENJA V SLOVENIJI

DIPLOMSKI PROJEKT

Univerzitetni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2011