

UDK 630*847:620.92

Pregledni znanstveni članek (*Preview Scientific Paper*)

Perspektive uporabe sončne energije za sušenje lesa v Sloveniji

*Perspects of solar energy in wood drying in Slovenia*Ž. Gorišek¹, M. Novak²

Izvleček

Predstavljen je razvoj in možnosti izkoriščanja sončne energije za sušenje lesa. Projektirana in izdelana je bila komora, ki že v izvedbi temelji na naravnih materialih, delovanje pa na uporabi izključno obnovljivih virov.

Ključne besede: sušenje lesa, solarna energija, obnovljivi viri

Abstract

Research and development of various type of solar drying systems in wood drying are represented. A new experimental solar dryer built up with all renewable materials was constructed.

Keywords: wood drying, solar energy, renewable materials

1. UVOD

Današnja energijska preskrba človeštva je zasnovana predvsem na sežigu, v notranjosti zemlje akumuliranih fosilnih goriv. Posledici sta dve: (a) prevelika potrošnja zmanjšuje zaloge goriv, (b) emisija škodljivih snovi v ozračje pri njihovem sežigu pa nevarno ogroža naravno zemljino energetsko in ekološko ravnovesje. Ekološke spremembe se že kažejo tudi v obliki nastajajoče tople grede, kot posledica emisije CO₂, ki preprečuje dolgovolovno sevanje s površine zemlje in s tem njeno ohlajevanje v vesolje. Prav spoznanje o potrebi po nadomestitvi fosilnih goriv, zaradi njihovega škodljivega vpliva na okolje, v zadnjih letih spet postavlja obnovljive vire energije v ospredje. Med primarnimi viri prevladuje energija sončnega sevanja, saj prestrežena energija nekaj-tisoč-

krat presega potrebe človeštva. Čeprav se morda zdi, da je tako pridobljena energija ekonomsko neupravičena, moramo vedeti, da je v konvenciji Združenih narodov o spremembi podnebja njen glavni cilj zmanjšanje emisij ogljikovega dioksida, metana in dušikovih oksidov. 20 % zmanjšanje emisij ogljikovega dioksida je bilo predlagano že pred dvema letoma (berlinski vrh OZN). Če bodo razvite države pristale na zmanjšanje emisij plinov, bo manjša proizvodnja energije povzročila korenite spremembe v rabi energije, saj naj bi do leta 2015 znižali emisije za 15 %, Slovenija pa je h konvenciji pristopila februarja 1996.

Sušenje lesa je med energijsko najpogostejšimi 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 sušilne 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 energetskih 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.

2. UPORABA SONČNE ENERGIJE V POSTOPKU SUŠENJA LESA

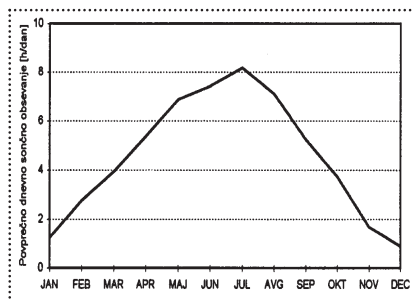
Energijske zahteve pri sušenju lesa so zelo velike, saj se od vse potrebne energije v predelavi lesa od 60 do 70 % porabi za njegovo sušenje. V Sloveniji, in tudi v Evropi, je trenutno najpogostejše t.i. normalnotemperaturno konvekcijsko komorsko sušenje z delno izmenjavo zraka, ki pomeni

¹ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina, Cesta VIII/34

² samostojni raziskovalec, dipl. ing., Murska Sobota

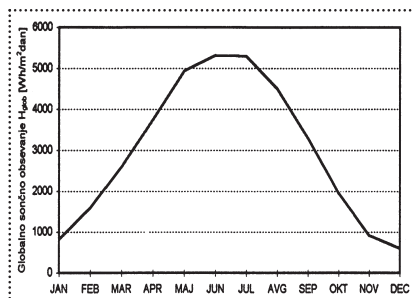
približno 80 % vseh kapacitet sušilnih naprav. Pri tem načinu se 80 do 85 % porabi kot toplotna energija, večinoma pridobljena iz lesnih ostankov, preostalih 15 do 20 % pa kot električna.

Glede na čas in intenzivnost sončnega sevanja se je smotrnost uporabe sončne energije v Sloveniji potrdila že na mnogih področjih, vendar se, zaradi nekoliko višje investicije in daljše amortizacijske dobe, še ni popolnoma uveljavila. Tudi ocene uporabnosti solarnih sistemov v postopku sušenja lesa za Srednjo Evropo so bile že pred nekaj leti ugodne, zato lahko pozitivne rezultate pričakujemo tudi v Sloveniji. Optimizem nas lahko navdaja tudi z dejstvom, da traja sončno obsevanje v Ljubljani od 0,88 ur na dan v decembru pa tja do 8,19 ure v juliju (slika 1), globalno sončno obsevanje pa je od 600 Wh/m²/dan v decembru do 5.310 Wh/m²/dan v juniju (slika 2) (Medved 1995). V letu 1997 smo imeli v Ljubljani celo 2063 ur sončnega obsevanja kar je največ v dosedanjih opazovanjih.



Slika 1. Povprečno trajanje dnevnega sončnega obsevanja za Ljubljano (po Medvedu 1995)

Figure 1. Duration of solar radiation in Ljubljana.



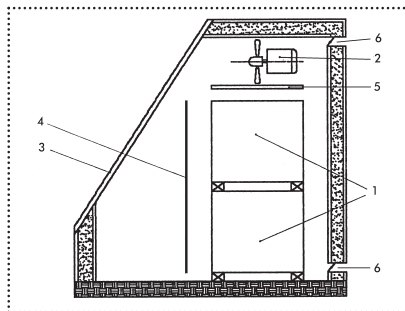
Slika 2. Globalno sončno obsevanje za Ljubljano (po Medvedu 1995)

Figure 2. Global solar radiation in Ljubljana

2.1. Sistemi sušenja lesa s sončno energijo

2.1.1. Naravni sistemi ogrevanja

Najosnovnejši tip solarne sušilne komore je naravno ogrevanje prek direktnih sistemov (steklene stene), indirektnih sistemov (masivne stene ali Tombe-Michelovega zid) in steklenikov (zimskih vrtov). V praksi se izvajajo kombinirani sistemi, saj tako izkoristijo vse prednosti ali nadomestijo slabosti posameznih izvedb (slika 3). Sončno sevanje se prek zastekljenih odprtin prenaša v notranjost prostorov, kjer se toplota akumulira v tleh ali stenah komore (LUMLEY IN CHOONG 1979; WENGERT 1980). Dodatni ventilatorji v sušilnem prostoru zagotavljajo enakomerno segrevanje in sušenje celotnega zložaja.



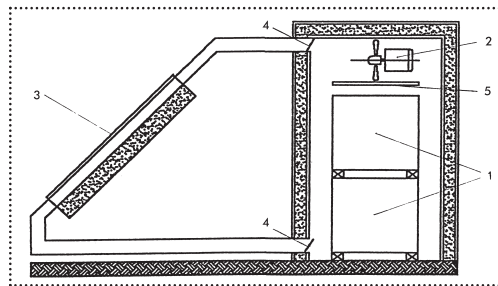
Slika 3. Enostavnejša izvedba solarne sušilne komore z naravno in prisilno konvekcijo: 1 - zložaj, 2 - aksialni ventilator, 3 - zasteklitev, 4 - absorptivna površina, 5 - stropna pregrada, 6 - lopute za izmenjavo zraka

Figure 3. Greenhouse type of solar dryer with natural and forced: 1 - storage of lumber, 2 - axial fan, 3 - glass, 4 - absorptive plate, 5 - inside roof, 6 - vents

2.1.2. Aktivni sistemi sončnega ogrevanja

Najpomembnejši element aktivnih solarnih sistemov je sprejemnik sončne energije (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 (slika 4). 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 (LUMLEY IN CHOONG 1979). Pri nekaterih zunanjih SSE se kot prenosni medij uporablja tekočina (LITTLE 1979). Sistem je



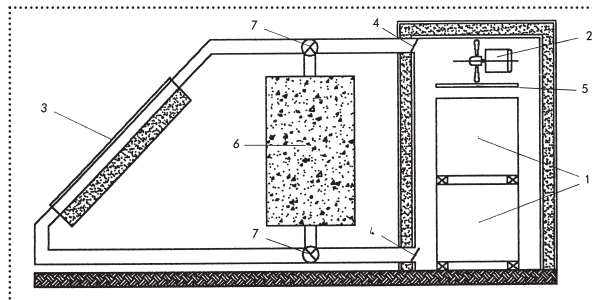
Slika 4. Aktivni sončni sistem za sušenje lesa: 1 - zložaj, 2 - aksialni ventilator, 3 - sprejemnik sončne energije (kolektor), 4 - lopute, 5 - stropna pregrada

Figure 4. Active forced convection solar dryer for timber: 1 - storage of lumber, 2 - axial fan, 3 - collector, 4 - vents, 5 - inside roof

kompleksen in drag, vendar že omogoča tudi akumuliranje toplote za uporabo v času, ko ni sončnega obsevanja.

2.1.3. Solarni sistemi z akumulacijo

Zaradi občasnega presežka sončne energije se v izpopolnjenih sistemih toplota prenaša v akumulacijske sisteme. Tako se zmanjšajo dnevne in letne fluktuacije, toplota pa se porabi ob pomanjkanju (slika 5) (TSCHERNITZ IN SIMPSON 1977).

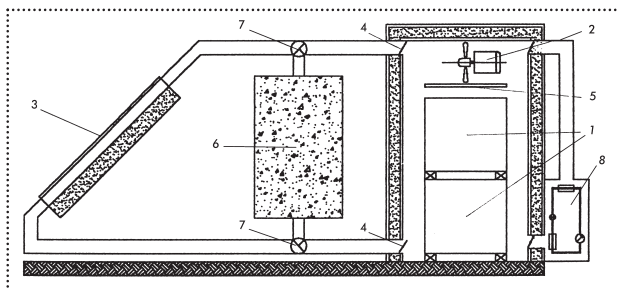


Slika 5. Aktivni sončni sistem z akumulacijo energije: 1 - zložaj, 2 - aksialni ventilator, 3 - sprejemnik sončne energije (kolektor), 4 - lopute, 5 - stropna pregrada, 6 - akumulator toplote, 7 - tripotni ventil

Figure 5. Active solar dryer with heat storage: 1 - storage of lumber, 2 - axial fan, 3 - collector, 4 - vents, 5 - inside roof, 6 - heat storage, 7 - valve

2.1.4. Kombinirani solarni sistemi

Učinkovitost solarnega sušenja se najbolj poveča v kombinaciji s kondenzacijskim sušenjem oziroma drugimi metodami izkoriščanja dodatne energije (slika 6) (CHEN IN ROSEN 1980).



Slika 6. Kombiniran (z akumulacijo toplote in s toplotno črpalko) aktivni solarni sistem za sušenje lesa: 1 - zložaj, 2 - aksialni ventilator, 3 - sprejemnik sončne energije (kolektor), 4 - lopute, 5 - stropna pregrada, 6 - akumulator toplote, 7 - tripotni ventil, 8 - toplotna črpalka

Figure 6. Active solar dryer combined with heat pump and heat storage: 1 - storage of lumber, 2 - axial fan, 3 - collector, 4 - vents, 5 - inside roof, 6 - heat storage, 7 - valve, 8 - heat pump

2.2. Specifični pogoji solarnih sistemov sušenja lesa

V solarnih sušilnih komorah se srečujemo z nekaterimi specifičnimi pogoji sušenja, ki se bistveno razlikujejo od najpogostejšega in tudi najbolj raziskanega normalnotemperaturnega konvekcijskega komorskega z delno izmenjavo zraka. Za optimalno izvedbo tehnološkega postopka solarnega sušenja moramo vse posebnosti vključiti v sistem za vodenje in regulacijo sušenja, kajti le tako je mogoče zagotoviti najnižje stroške obratovanja, t.j. najkrajši čas sušenja, z najmanjšo porabo energije seveda ob zagotovljeni kvaliteti osušenega materiala (s končno vlažnostjo, ustrezno ravnovesni vlažnosti mesta vgradnje, brez vlažnostnega in napetostnega gradienta ter vidnih razpok, veženja ali obarvanja).

V solarnih komorah je dosežena temperatura vedno nižja od tiste, predpisane v režimih za konvencionalne sušilnice, hkrati pa močno variira med dnevom in nočjo, od dne do dne, pa seveda tudi med letom, kar vpliva tudi na doseženo ravnovesno vlažnost v komori. Nekatere analize kažejo, da je regulacija ostrine sušenja in ustrezne ravnovesne vlažnosti pri solarnem

sušenju pomembnejša od regulacije temperature (STEINMANN, 1990a, b, c, d; STEINMANN IN VERMAAS, 1990). Klima v sušilni komori, oz. vzdrževanje optimalne ravnovesne vlažnosti, se tako prvenstveno uravnava z navlaževanjem in izmenjavo zraka, vedeti pa moramo, da sta oba postopka povezana z energetskimi izgubami.

2.2.1 Regulacija temperature

Temperatura v solarni sušilni komori je funkcija intenzivnosti in trajanja sončne radiacije, temperature okolice ter parametrov sušilne komore (izolativnost, zastekljenost, kolektorskega razmerja in

hitrosti prepihanja). Največje težave pri regulaciji temperature povzročajo omejena količina sončne energije in močna nihanja temperature zaradi:

- a - menjavanja dneva in noči,
- b - letnih časov in
- c - vremenskih razmer.

Temperatura v solarni sušilni komori je vedno višja od zunanje (pri temperaturi okolja od 25 do 30 °C doseže ob koncu sušenja maksimalno do 62 °C), vendar je še vedno nižja od predpisanih za normalnotemperaturno sušenje.

Preseganje povprečnih dnevnih temperatur, ki se največkrat podaja kot parameter uspešnosti solarnega sušenja, je lahko zavajajoče, saj so maksimalne temperaturne razlike med okolico in komoro dosežne le v kratkih časovnih intervalih na višku sončnega obsevanja in ob koncu sušilnega procesa, ko je lesna vlažnost že nizka. Upoštevati moramo tudi dejstvo, da je trajanje najvišjih temperatur veliko krajše od trajanja nizkih (SCHNEIDER ET AL. 1979). Predvidevamo lahko, da so temperaturne razlike (med okolico in komoro) pri sušenju svežega lesa, t.j. do vlažnosti točke nasičenja celičnih sten, relativno majhne, temperaturna razlika pa na-

rašča, čim nižja je lesna vlažnost oz. čim počasnejše je sušenje. Največja temperaturna razlika ni nujno dosežena poleti, saj je lahko zunanja zimska temperatura zelo nizka kljub relativno visoki radiaciji.

Temperatura v sušilni komori je najnižja zjutraj, ko se komora čez noč ohladi, akumulacija sončne energije na kolektorjih pa še ni zadostna (tudi zaradi naklona sprejemnikov sončne energije - kolektorjev) (KOUKAL, 1984).

Pri relativno nizkih temperaturah sušenja celo zelo majhno povečanje pripomore k občutnemu skrajšanju sušilnega časa. Povišanje temperature je še zlasti učinkovito pri vlažnostih lesa pod točko nasičenja celičnih sten, ko prevladuje difuzijsko gibanje higroskopsko vezane vode.

K nizki povprečni temperaturni razliki med okolico in komoro bistveno prispeva močno nočno znižanje temperatur. Solarne sušilnice zato opremljajo z dodatnimi grelnimi napravami za povečanje hitrosti sušenja v času slabega ali "izpadlega" sončnega obsevanja (oblačno vreme, zima, noč). Sončni kolektorji morajo biti grajeni tako, da ne motijo gibanja zraka skozi zložaj, oz. tako, da v času slabše akumulacije sončne energije zrak ne kroži skozi kolektorje, kjer bi se lahko ohladil.

Povprečno temperaturo je mogoče dvigniti s povečanjem površine kolektorjev, dvojno zasteklitvijo, sledenjem pravokotnemu sončnemu obsevanju, izboljšanju izolativnosti in s kontrolo delovanja ventilatorjev (TSCHERNITZ, 1986).

Učinkovitost sistema z akumuliranjem presežka dnevne energije v kamnite sklade še ni tolikšno, da bi lahko povrnili investicijske stroške, prihodnost pa ima kombinacija sušenja s kondenzacijskim agregatom (CHEN ET AL., 1982), oziroma drugimi načini izkoriščanja energije uporabljenega zraka (rekuperacija energije).

2.2.2. Izmenjava zraka

Za izmenjavo zraka v komori z okoliskim morata biti izpolnjena dva pogoja:

- a) ravnovesna vlažnost v komori mora biti višja od programsko določene, drugače bi izmenjava poostrila sušenje in močno povečala nevarnost nastanka napak in
- b) absolutna vlažnost zunanjega zraka mora biti nižja od tiste v komori, drugače prezračevanje ni učinkovito.

Hitrost sušenja je največja v prvi fazi, ko se izločijo največje količine kapilarne oz. proste vode. Izmenjava zraka mora biti v tem času največja, zato morajo zračniki zagotavljati zadostno izmenjavo. Po izkušnjah se v tretjini sušilnega časa izloči vsa prosta voda, kar pomeni 80 % vse izločene vode, za preostalih 20 % vezane vode pa sta potrebni dve tretjini sušilnega časa (STEINMANN, 1990a). Razlike v hitrosti sušenja so torej očitne, zato morajo zračniki dovoljevati veliko izmenjavo na začetku sušenja in prav tako relativno dobro tesnjenje v drugem delu sušenja, drugače bi prišlo do prevelikega znižanja ravnovesne vlažnosti in potrebno bi bilo navlaževanje. Količina potrebnega izmenjanega zraka v komori je obratno sorazmerna z razliko med absolutno zračno vlažnostjo okolja in komore (za ustrezno spremembo klime je pri manjši razliki potrebna večja količina izmenjanega zraka).

2.2.3. Navlaževanje

Glavna naloga sušenja je izločanje vode iz lesa, kar bi teoretično pomenilo, da sistemi za navlaževanje niso potrebni. Seveda pa s konstantno spreminjajočo se temperaturo občutno niha tudi ravnovesna vlažnost lesa. Zahtevana ostrina sušenja se lahko vzdržuje brez navlaževanja, če je izločanje vode iz lesa dovolj hitro, da nadomesti izgube in zniževanje relativne zračne vlažnosti zaradi naraščajoče temperature. Pri večini lesnih vrst hitrost izločanja vode ni zadostna, zato je potrebno dodatno navlaževanje, posebno še v jutranjih urah, ko se komora segreva. Zaradi čim manjših energijskih izgub mora biti navlaževanje zmanjšano na minimum.

Nihanja klime v solarnih sušilnih komorah so večja kot v konvencionalnih sušilnicah, zato morajo biti ustrezna

tudi tipala, ki se hitreje odzovejo na spremembe. Na hitrost spreminjanja vpliva tudi razmerje med volumnom komore in neto prostornino lesa (pri manjšem razmerju je sprememba ravnovesne vlažnosti hitrejša).

2.2.4. Prisilno kroženje zraka

Naprave za prisilno kroženje zraka morajo zagotavljati zadostno prevevanje zraka skozi sušeči se zložaj, konstrukcija celotnega sistema sušilne komore pa mora zagotavljati različne tokokroge sušečega zraka, ki omogočajo ali samostojno delovanje ali delujejo v poljubni kombinaciji:

- adiabatni pogoji - zaprt sistem,
- izmenjava zraka z okolico,
- kroženje zraka prek kolektorjev in
- kroženje zraka prek akumulacijskega sistema.

Nočno ustavljanje ventilatorjev zadrži temperaturo v komori, s prepihanjem pa se temperatura zmanjša in je le 2 do 7 °C višja od zunanje. Prepihanje pri vlažnosti lesa nad točko nasičenja celičnih sten je smotno tudi ponoči, ker čez dan akumulirana energija omogoča razmeroma lahko izločanje proste vode tudi pri nižjih temperaturah. V tej fazi sušenja tudi režimi ne predpisujejo velike ostrine, tako da je tudi ravnovesna vlažnost lahko višja.

Ko pade vlažnost lesa pod točko nasičenja celičnih sten, nočno prepihanje ni več smotno, saj tako les obdrži višjo temperaturo. Takšni pogoji ponoči omogočajo zmanjšanje vlažnostnih razlik med površino in sredico ter hitrejše gibanje vode med dnevnim segrevanjem. Hkrati ostane nizka tudi ravnovesna vlažnost, kar preprečuje navlaževanje površine med nočnim ohlajanjem. Jutranji zagon ventilatorjev oz. zagon v dopoldanskem času se krmili s primerjavo temperatur kolektorja in temperature v sušilni komori, saj je le-ta najugodnejši kazalec za začetek prepihanja.

2.2.5. Površina sprejemnikov sončne energije - kolektorjev

Prav gotovo je razmerje med površino kolektorjev in neto kapaciteto komore

signifikanten parameter pri preučevanju solarnega sistema. Nizko razmerje lahko vpliva na zelo dolg čas sušenja, visok pa na visoke investicijske stroške, nesorazmerne povečani učinkovitosti. Določitev optimalnega razmerja je v tesni odvisnosti od inklinacije absorptivnih površin, izolacije, transparentnosti zunanjih površin ipd. Optimalna površina kolektorjev je odvisna tudi od lesne vrste debeline sortimentov, makro in mikro lokacije, zahtevane oz. želene hitrosti sušenja ter vrste in oblike sušilnice oz. zbiralnikov (HELMER, 1986, PALMER & KLEIN-SCHMIDT, 1992).

Odvisno od klimatskih razmer bi v zmernem pasu za vsak kubični meter neto prostornine lesa potrebovali od 1,7 do 7 m² sončnih zbiralnikov, kar potrjujejo tudi eksperimentalni rezultati (SATTAR, 1993a, b).

2.2.6. Hitrost sušenja

Hitrost sušenja v solarni sušilnici je vedno večja od hitrosti sušenja na prostem. Zimsko sušenje v solarnih sušilnicah je za 37 % počasnejše od poletnega sušenja, medtem ko je zimsko sušenje na prostem za 51 % počasnejše kot poletno. Solarno sušenje je tako v primerjavi s sušenjem na prostem bolj učinkovito pozimi. Sezonska nihanja imajo na solarno sušenje manjši vpliv kot na sušenje na prostem.

3. MATERIAL IN METODA

Že v ideji projekta preučevanja uporabe sončne energije v postopku sušenja lesa smo si zastavili nalogo izdelati sušilno komoro, ki bo že v svoji izvedbi temeljila na naravnih materialih, pri delovanju pa izključno na uporabi obnovljivih virov. Skoraj vsi osnovni materiali so zato naravni in obnovljivi, le nekateri deli sprejemnikov sončne energije in pretvorniki sončne v električno energijo so iz drugih materialov. Še poseben poudarek izkoriščanju sončne energije je bil namenjen obratovanju sušilnice. Poleg sprejemnikov sončne energije, ki zagotavljajo preskrbo s toplotno energijo, se tudi električna energija za pogon naprav za prepihanje proizvaja s sončno



Slika 7. Eksperimentalna sušilna komora

Figure 7. Experimental solar dryer

energijo prek fotovoltaičnih celic (slika 7).

3.1. Sušilna komora

Konstrukcija sušilne komore je lesena in je obojestransko zaprta z mavčno-kartonskimi ploščami, impregniranimi z vodoodbojnimi sredstvi. Med ploščami je 10 do 14 cm debel sloj izolacije s parno zaporo in zračnim prostorom.

Volumen eksperimentalne komore je $11,25 \text{ m}^3$, z razmerjem med površino sprejemnikov in volumnom komore 1 : $1,07 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

3.2. Sprejemniki sončne energije

Sprejemniki sončne energije so zasnovani na osnovi vgrajenih elementov strešne konstrukcije in imajo vzporedno še nosilno vlogo. Dimenzije zagotavljajo maksimalen izkoristek vgrajenih materialov, ki sestavljajo sprejemnike sončne energije, in so prilagojeni serijski proizvodnji. Toplo-zračni sprejemniki so izdelani iz lesnega okvira ($1,0 \text{ m} \times 3,0 \text{ m}$), torej s površino 3 m^2 . V strešno konstrukcijo so vgrajeni štirje sprejemniki. Skupna površina vgrajenih sprejemnikov z možnostjo segrevanja zraka ali zraka in vode je 12 m^2 .

Sprejemnik je izdelan na osnovi sendvič konstrukcije v naslednji sestavi:

- * za toplotno izolacijo je uporabljena kamena volna debeline 8 cm;
- * absorber je izdelan iz tanke aluminjske pločevine, ki ji je povečana površina z dodatnim valovitim krivljenjem, kar poveča tlorisno površino za 2,5-krat in ugodno vpliva na toplotni prestop med absorberjem iz zrakom; absorber je obdelan s črno mat barvo, ki zagotavlja visoko stopnjo absorpcije in nizek koeficient refleksije;
- * širina odprtine za kroženje zraka je prilagojena zahtevanemu pretoku zraka;
- * pokrov sprejemnika je iz stekla debeline 6 mm.

3.3. Naprave za prepihanje

Izmenjava zraka v komori lahko deluje z naravno konvekcijo, čemur je prilagojena tudi konstrukcija komore. Dodatna prepihanja zagotavljajo nizkonapetostni 12 V ventilatorji. Električna energija za njihov pogon se pridobiva s fotovoltaičnimi celicami in se shranjuje v akumulatorjih, tako da lahko delujejo tudi v času brez sončnega obsevanja.

4. REZULTATI

Rezultat daljšega preučevanja in pro-

jektiranja možnosti izrabe in uvajanja solarnega načina sušenja lesa v Sloveniji je eksperimentalna solarna sušilnica manjše kapacitete, ki bo nudila možnost preučevanja izrabe tega neusahljivega energijskega vira. Solarna sušilna komora je bila že v idejni zasnovi projekta načrtovana z minimalnim vplivom na okolje. Vgrajena je na južni strani raziskovalno-razvojnega centra za uporabo obnovljivih virov energije ter se tako vklaplja tudi v prekmursko pokrajino. Na južni strani so pod kotom 45° nameščeni sprejemniki sončne energije, kar zagotavlja optimalno celoletno izkoriščanje sončne energije. Maksimalno izkoriščanje sončne energije je tako v pomladanskem in jesenskem času, nekaj slabše pa je v poletnem času, ko je sonce najvišje in v zimskem, ko je najnižje.

5. SKLEP

Optimalna izvedba solarne sušilne komore je odvisna od specifičnih potreb in okoliščin lokacije. Poudarek je na izkoriščanju solarne energije v procesu sušenja lesa z ustreznim razvojem regulacijskega sistema. Zaradi velikega nihanja temperature in zato nezanesljivega uravnavanja le-te, je pri solarnih sušnih procesih poudarek na regulaciji ravnovesne vlažnosti lesa ter učinkoviti izmenjavi uporabljenega zraka v sušilni komori z zunanjim.

V projektu je bila dograjena solarna sušilna komora, kjer že konstrukcija zagotavlja osnovno izmenjavo uporabljenega zraka z zunanjim že z naravno konvekcijo, za optimalno izkoriščanje sončne energije pa so vgrajene še dodatne naprave za prepihanje, ki pa tudi delujejo s pretvorbo sončne v električno energijo.

LITERATURA

1. CHEN, P. Y. S.; HELMER, W. A.; ROSEN, H. N.; BURTON, D. J. 1982 Experimental solar dehumidified kiln for drying lumber. Forest Products Journal. 32(9):35-41
2. CHEN IN ROSEN 1980. Solar dehumidification drying of red oak. Journal of the Institute of

- Wood Science 9 (4) 194-196
3. HELMER, W. A. 1986. A general collector sizing method for solar kilns. *Forest Products Journal*. 36 (6):11-18
 4. KOUKAL, J. 1984. Trocknen von Schnittholz mittels Sonnenenergie. *Holztechnologie*. 2:71-73.
 5. LITTLE, R. L. 1979. Ongoing research - solar heated water driers lumber. *Forest Products Journal* 29 (2) 52-53
 6. LUMLEY IN CHOONG 1979. Technical and economic characteristics of two solar kiln designs. *Forest Products Journal* 29 (7) 49-56
 7. MEDVED, S. 1993. Solarni inženiring. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo. 178 str.
 8. PALMER, G., KLEINSCHMIDT, S. D. 1992. Timber seasoning in a solar kiln. Queensland Forest Service. Department of primary industries. 8 p.
 9. SATTAR, M. A. 1993a. Economics of drying timber in a greenhouse type solar kiln. *Holz als Roh- und Werkstoff* 52:157-161.
 10. SATTAR, M. A. 1993b. Solar drying of timber - a review. *Holz als Roh- und Werkstoff* 51:409-419.
 11. SCHNEIDER, A.; ENGELHARDT, F.; WAGNER, L. 1979. Comparative investigation on air and solar drying of lumber under central European weather conditions. *Holz als Roh- und Werkstoff* 37 (11):427-433.
 12. STEINMANN, D. E. 1990. Drying rate and air circulation in a fully automated solar kiln. *Holz als Roh- und Werkstoff* 48:195-200
 13. STEINMANN, D. E. 1990. Temperature control in a solar kiln. *Holz als Roh- und Werkstoff* 48:287-291
 14. STEINMANN, D. E. 1990. Designe and testing of a solar kiln simulator. *Holz als Roh- und Werkstoff* 48:409-412
 15. STEINMANN, D. E. 1990. Designe and testing of a solar kiln simulator - Testing the solar kiln simulator. *Holz als Roh- und Werkstoff* 48:445-448
 16. STEINMANN, D. E. IN VERMAAS, H. F. 1990. Control of equilibrium moisture content in a solar kiln. *Holz als Roh- und Werkstoff* 48:147-152
 17. TSCHERNITZ, J. L. 1986. Solar energy for wood drying using direct or indirect collection with supplemental heating. US Forest Products Laboratory, Research paper No. FPL-RP-477:81 p.
 18. TSCHERNITZ, J. L. IN SIMPSON. 1979. Solar heated, forced air, lumber dryer for tropical latitudes. *Solar Energy*. 22:563-566
 19. WENGERT, E. M. 1980. Improvements in solar dry kiln design. US Forest Service Research Note US Forest Products Laboratory, Madison. No. FPL-0212, 10 str.



* ZA BISTRE *glave* *

U uredništvu smo se odločili, da vam od časa do časa zastavimo kašno uganko, katere reševanje vam bo popestrilo branje revije.

K reševanju vabimo vse bralce, posebno še šolsko mladino. Najboljše rešitve bomo objavili v reviji, mogoče se bo našla tudi kakšna nagrada.

Tokrat smo se odločili, da vam zastavimo dve vprašanji:

???

Prvo je lažje in vam nanj verjetno ne bo pretežko odgovoriti: **Kaj je na sliki?**

???

Drugo vprašanje pa se glasi: **Kako je do tega pojava prišlo?**