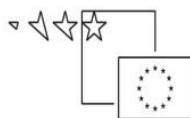




REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA ŠOLSTVO IN ŠPORT



Naložba v vašo prihodnost
OPERACIJO DELNO FINANCIRA EVROPSKA UNIJA
Evropski socialni sklad

VIŠJEŠOLSKI STROKOVNI PROGRAM LESARSTVO

SUŠENJE LESA

MIROSLAV NOVAK

Višješolski strokovni program: Inženir Lesarstva

Učbenik: Sušenje lesa

Gradivo za 1. Letnik

Avtor:

Miroslav Novak, univ. dipl. ing..lesarstva

LESARSKA ŠOLA Maribor,

Višja strokovna šola



CIP – Kataložni zapis o publikaciji

ISBN

COBISS.SI

Ljubljana, 2008

© Avtorske pravice ima Ministrstvo za šolstvo in šport Republike Slovenije.

Gradivo je sofinancirano iz sredstev projekta Impletum Uvajanje novih izobraževalnih programov na področju višjega strokovnega izobraževanja v obdobju od 2008 do 2011.

Projekt oziroma operacijo delno financira Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada in Ministrstvo RS za šolstvo in šport. Operacija se izvaja v Operativnem programu razvoja človeških virov za obdobje od 2007 do 2013, razvojne prioritete Razvoj človeških virov in vseživljenjskega učenja in prednostne usmeritve Izboljšanje kakovosti in učinkovitosti sistemov izobraževanja in usposabljanja.

Vsebina tega dokumenta v nobenem primeru ne odraža mnenja Evropske unije. Posamezen avtor/soavtor prevzema odgovornost za vsebino dokument

Kazalo

Kazalo.....	I
1 UVOD, POMEN IN NALOGE SUŠENJA	3
1.1 DELITEV SUŠENJA	4
2 SESTAVA IN LASTNOSTI ZRAKA.....	5
2.1 MOLLIEROV h, Y IN PSIHROMETRSKI DIAGRAM.....	8
2.2 SUŠENJE ZRAKA.....	11
2.3 VLAŽENJE ZRAKA	11
2.4 HITROST ZRAKA	12
2.4.1 Aksialni ventilatorji	12
2.4.2 Radialni ventilatorji.....	15
2.5 MERILNIKI ZA DOLOČANJE LASTNOSTI ZRAKA	16
2.5.1 Merjenje temperature	16
2.5.1.1 Termometri.....	18
2.5.1.2 Senzorji in aktuatorji.....	19
2.5.1.3 Temperaturni senzorji	22
2.5.2 Merilniki relativne zračne vlage in senzorji	23
2.5.3 Merilniki hitrosti zraka	26
2.6 PSIHROMETRSKI NOMOGRAM IN TABELA.....	29
3 ZGRADBA LESA IN LASTNOSTI LESA Z VIDIKA SUŠENJA	34
3.1 MAKROSKOPSKA IN MIKROSKOPSKA ZGRADBA LESA.....	35
3.2 ZGRADBA CELIČNE STENE	40
3.3 GOSTOTA LESA	44
3.4 VODA V LESU	47
3.5 HIGROSKOPIČNOST LESA	48
3.6 RAVNOVESNA VLAŽNOST LESA.....	49
3.7 KRČENJE IN NABREKANJE LESA	49
3.8 GIBANJE VODE V LESU	51
3.9 PREVODNOST LESA.....	51
3.10 VLAŽNOSTNI GRADIENT IN SUŠILNA OSTRINA	52
4 DOLOČANJE VLAŽNOSTI V LESU	53
4.1 METODA TEHTANJA.....	53
4.2 NAPRAVE ZA ELEKTRIČNO MERJENJE VLAŽNOSTI LESA	56
5 NAPAKE PRI SUŠENJU LESA.....	58
5.1 VRSTE NAPAK	58

5.2 KOLAPS.....	59
5.3 NAPAKE ZARADI NAPETOSTI.....	60
5.4 SPREMEMBE BARVE LESA	62
6 SUŠENJE NA PROSTEM	64
6.1 POGOJI SUŠENJA	64
6.2 SKLADIŠČE ŽAGANEGA LESA.....	67
6.3 SKLADOVNICA	69
6.4 TRANSPORTNE NAPRAVE	71
6.5 ČAS SUŠENJA NA PROSTEM.....	72
7 KOMORSKA IN KANALSKA SUŠILNICA.....	75
7.1 SESTAVNI DELI SUŠILNICE	76
8 NAČRTOVANJE IN SPREMLJANJE SUŠENJA	81
8.1 FAZE TEHNOLOŠKEGA POSTOPKA	81
8.2 REŽIMI SUŠENJA	82
8.3 ČAS SUŠENJA	82
9 STROŠKI SUŠENJA IN IZBIRA SUŠILNICE	82
10 DRUGI POSTOPKI SUŠENJA.....	83
10.1 KONDENZACIJSKO SUŠENJE	83
10.2 VAKUUMSKO SUŠENJE	86
10.3 VISOKOFREKVENČNO SUŠENJE	88
11 HIDROTERMIČNA OBDELAVA LESA.....	91
12 UPORABA OBNOVLJIVIH VIROV ENERGIJE V PROCESU SUŠENJA LESA. 93	
12.1 SPLOŠNO O POSTOPKU SUŠENJA LESA Z UPORABO SONČNE ENERGIJE IN STANJE NA TEM PODROČJU	95
12.2 SISTEMI SUŠENJA LESA S SONČNO ENERGIJO.....	97
12.2.1 Naravni sistemi ogrevanja	97
12.2.2 Aktivni sistemi sončnega ogrevanja	98
12.2.3 Solarni sistemi z akumulacijo.....	99
12.2.3 Kombinirani solarni sistemi	100
12.3 SPECIFIČNI POGOJI SOLARNIH SISTEMOV SUŠENJA LESA.....	101
12.3.1 Regulacija temperature	101
12.3.2 Izmenjava zraka	102
12.3.3 Navlaževanje	103
12.3.4 Prisilno kroženje zraka.....	103
12.3.5 Površina sprejemnikov sončne energije	104
12.3.6 Hitrost sušenja	104

12.4 PORABA ENERGIJE V SVETU	105
12.4.1 Struktura porabe virov energije	106
12.4.2 Energijske potrebe do leta 2020	108
12.4.3 Značilnosti zahodne Evrope	110
12.5 SONCE - VIR ENERGIJE	113
12.5.1 Sončna energija v Sloveniji	115
12.6 SOLARNA SUŠILNICA.....	119
12.7 SPREJEMNIKI SONČNE ENERGIJE	121
12.8 POVRŠINA TOPLOZRAČNIH SSE ZA NEKAJ KRAJEV V SLOVENIJI.....	125
13 VIRI	129

1 UVOD, POMEN IN NALOGE SUŠENJA

Sušenje lesa je ena izmed izredno pomembnih faz v procesu obdelave lesa, saj les, kot naravni material – živo drevo vsebuje določeno količino vode, ki ne zagotavlja dimenzijske stabilnosti, niti biološke odpornosti. Ker je les heterogen material, je tako po strukturi, anatomski in kemični sestavi raznolik glede na drevesno vrsto, kar pa pomeni, da je proces sušenja izredno zahtevna tehnološka operacija. Zaradi svojih posebnosti je poznavanje anatomske zgradbe lesa in njegovih lastnosti izredno pomembna za pravilno razumevanje procesa sušenja in zagotavljanja optimalnih pogojev za učinkovito in kvalitetno sušenje. Prav dobro poznavanje lesa in njegovih posebnosti glede na drevesno vrsto in odstopanja znotraj drevesne vrste, kar je posledica različnih pogojev v katerih drevo raste je osnova za pravilno določitev sušilnih pogojev pri tehničnem sušenju.

Les sušimo iz razloga njegove uporabe. Lesu povečamo dimenzijsko stabilnost, biološko odpornost, mehanske lastnosti, zmanjšamo težo in zagotovimo lažjo obdelavo. Spremenijo se tudi toplotne, energijske, električne in akustične lastnosti.

Na gibanje vode v lesu vpliva predvsem njegova prevodnost ali permeabilnost heterokapilarnega tkiva z pikenjsko povezavo in difuzivnost, ki je pomembna pri higroskopski ali vezani vodi.

Z kvalitetnim sušenjem lesa določamo kvaliteto izdelka, tako v obdelovalnem procesu, kot na mestu njegove uporabe ali vgraditve, kjer so različni vlažnostni pogoji.

Ker je les higroskopičen material ima pri danih pogojih svojo ravnovesno vlažnost in naloga sušenja je, da se zagotovi končna količina vode v lesu, ki odgovarja ravnovesni vlažnosti lesa v pogojih njegove namestitve.

Kvalitetno sušimo les takrat, kadar lahko zagotovimo optimalne pogoje, ki uravnavajo hitrost sušenja glede na lastnosti lesa.

Sušenje je tudi z vidika stroškov zelo pomemben del v procesu predelave in obdelave lesa, ker je časovno dolg v primerjavi z drugimi tehnološkimi postopki in energijsko zahteven. Čas sušenja je odvisen od načina sušenja in je povezan z stroški zalog, ki so glede na način sušenja lahko zelo različne pri enaki potrebi osušenega lesa.

Poraba energije je prav tako odvisna od vrste parametrov, ki definirajo stroške sušenja. Način sušenja, uporabljena tehnološka oprema, kvaliteta tehnološke opreme, vrsta lesa in vsebnost vode v lesu ali začetna vlažnost.

Začetna vlažnost lesa je tista, ki pove koliko vode mora les zgubiti, da dosežemo želeno vlažnost v lesu in se po (J. Krpan, 1965) razdeli v štiri skupine:

- svež les.....do najvišje možne vsebnosti vode
- polsuh les.....do 55%
- predsušen les.....do 20%
- suh les.....do 15%

1.1 DELITEV SUŠENJA

Sušenje lesa delimo na : -naravno sušenje
-tehnično sušenje

Naravno sušenje spada med najstarejše in energijsko najcenejše načine sušenja. Hiba takega načina sušenja je predvsem velika poraba prostora, dolg čas sušenja in količina potrebnega ter dolgo vezanega kapitala v zalogah. Čas sušenja lesa na ta način je odvisen od drevesne vrste, debeline in klimatskih pogojev, ki so glede na geografski položaj različni. Z naravnim sušenjem lahko dosežemo omejeno osušenost lesa, ki je enaka ravnovesni vlagi, ki jo je mogoče doseči v posameznih klimatskih conah.

Torej hitrost naravnega sušenja definirajo temperatura zraka, relativna zračna vlaga in hitrost zraka nad površino sušечеega lesa. Pri naravnem sušenju se proces sušenja lesa odvija z različno hitrostjo, ki je lahko preoster ali pa pride celo do navlaževanja, kar pomeni, da les v določenih pogojih zaradi svoje higroskopičnosti vlago iz zraka vpija, ker je trenutna ravnovesna vlaga višja od vsebnosti vlage v lesu.

Prehitro sušenje lahko omejimo z pravilnim postavljanjem kop in postavljanjem barier, ki zmanjšujejo hitrost zraka in s tem intenzivnost izhlapevanja vode iz površine lesa.

Tehnično sušenje lesa se je začelo razvijati skladno z potrebami po večji količini lesa in tehnološkimi postopki, ki so omogočili masovno proizvodnjo izdelkov iz lesa.

Če vzamemo za izhodišče sušēči les, potem lahko delimo tehnično sušenje na:

- stacionarno- saržno ali komorsko sušenje, kjer material miruje, spreminjajo pa se pogoji sušenja
- pretočno ali kanalsko, kjer se material giblje skozi posamezne cone z določenimi pogoji

Na osnovi temperature ločimo tehnično sušenje na:

- nizkotemperaturno.....15 - 45⁰C
- normalnotemperaturno.....40 - 90⁰C
- visokotemperaturno.....90 -130⁰C

Glede na način tehničnega sušenja ločimo:

- normalnotemperaturno komorsko konvekcijsko
- kondenzacijsko
- vakuumsko
- sušenje z infrardečimi žarki
- visokofrekvenčno
- sušenje v tekočinah in pregretilih parah
- solarno sušenje

Kar v 90% se uporablja normalnotemperaturno komorsko sušenje z delno izmenjavo zraka. (sušenje lesa, skup. avt., 1994)

UVOD V POGLAVJE 2

Zrak je eden od bistvenih elementov za življenje na našem planetu. Ker se ukvarjamo z sušenjem, poskušajmo odgovoriti na sledeče vprašanje:

Kaj vse sušimo na zraku?

Odgovore napišite na kos papirja, nato ga dopolnite z odgovori tistih, ki ste jim to vprašanje zastavili in če menite, da je možnih še več odgovorov, jih poiščite preko spleta.

Verjetno ste na spisek odgovorov napisali tudi sušenje las, kar je pogosta uporaba zraka za sušenje in ker to počnemo običajno z sušilnikom za lase, se ponuja že naslednje vprašanje:

Zakaj iz sušilnika las piha toplel zrak in kaj vpliva na hitrost sušenja?

Na vrsto vprašanj, ki se pojavljajo v zvezi z sušenjem različnih sušin in tudi sušenje lesa, bomo odgovorili v tem poglavju.

2 SESTAVA IN LASTNOSTI ZRAKA

Zrak spada med pline, ki ga sestavlja 78% dušika, 21% kisika in 1% drugih plinov.

Takemu zraku rečemo suhi zrak. Normalni zrak pa je sestavljen iz suhega zraka in določene količine vodnih par, ki odgovarja določenim pogojem.

Absolutna vlažnost zraka je definirana z razmerjem med maso vodne pare in maso suhega zraka.

$$Y = m_{vp} / m_{sz} \quad [\text{kg/kg}]$$

Y.....absolutna vlažnost zraka [kg/kg]

m_{vp}masa vodne pare [kg]

m_{sz}masa suhega zraka [kg]

Absolutna vlažnost zraka je pri različnih temperaturah vedno enaka, kar pomeni, da temperatura nima nobenega vpliva.

S temperaturo se spreminja relativna zračna vlaga, katera izraža stopnjo nasičenosti zraka z vodno paro. Glede na temperaturo se spreminja količina vodne pare, ki jo sprejme zrak, ta je nenasičen v območju sprejemanja vodne pare z določeno relativno zračno vlago in nasičen, ko ne more več sprejeti vodne pare.

Nasičen zrak ima relativno zračno vlago 100%, kar pomeni, da pri tej temperaturi ne sprejema več vodne pare oziroma se višek vodne pare izloči v obliki kondenzata-vode.

Od nasičenosti zraka z vodno paro je odvisna tudi hitrost sušenja, kar pomeni, da pri nizki relativni zračni vlagi poteka proces sušenja hitro (ostrina sušenja je velika), pri 100% relativni zračni vlagi pa je proces sušenja nemogoč, saj zrak ne sprejema več vodnih par, v določenih pogojih pride celo do procesa navlaževanja lesa.

Relativno zračno vlago računamo s pomočjo tlakov par in sicer razmerjem med delnim tlakom in tlakom nasičenja vodnih par.

$$\Phi = p_v / p_n$$

Φrelativna zračna vlaga

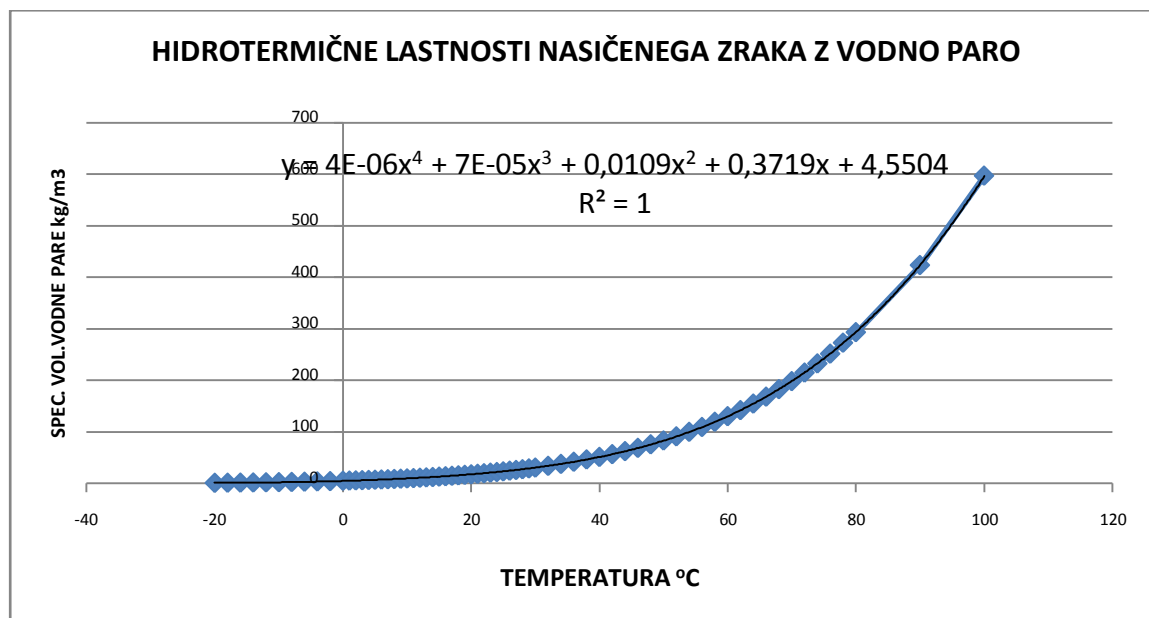
p_vdelni tlak vodne pare [Pa]

p_ntlak nasičenja vodne pare [Pa]

Preglednica 1: Hidrotermične lastnosti nasičenega zraka z vodno paro

Temperature zraka °C	Nasičena vlažnost g/m ³	Parni tlak nasičene pare Pa	Temperature zraka °C	Nasičena vlažnost g/m ³	Parni tlak nasičene pare Pa
-20	0,881	102,9	30	30,37	4241
-18	1,059	124,7	32	33,82	4753
-16	1,267	150,4	34	37,59	5318
-14	1,513	180,9	36	41,72	5940
-12	1,800	216,9	38	46,24	6624
-10	2,136	259,4	40	51,16	7375
-8	2,529	309,4	42	56,52	8198
-6	2,986	368,1	44	62,36	9100
-4	3,517	436,8	46	68,69	10086
-2	4,133	517,2	48	75,57	11162
0	4,847	610,8	50	83,02	12353
1	5,192	656,6	52	91,08	13613
2	5,558	705,5	54	99,79	15002
3	5,946	757,5	56	109,2	16511
4	6,358	812,9	58	119,3	18147
5	6,795	871,8	60	130,2	1,992.10 ⁴
6	7,258	934,5	62	1420	2,184.10 ⁴
7	7,748	1001,2	64	154,6	2,391. 10 ⁴
8	8,267	107,20	66	168,1	2,615. 10 ⁴
9	8,816	1147,2	68	182,6	2,856.10 ⁴
10	9,396	1227,0	70	198,2	3,116.10 ⁴
11	10,01	1311,6	72	214,8	3,396. 10 ⁴
12	10,66	14014	74	232,6	3,696. 10 ⁴
13	11,34	1496,5	76	251,5	4,019. 10 ⁴
14	12,06	1597,3	78	272,8	4,365. 10 ⁴
15	12,82	1703,9	80	293,3	4,736. 10 ⁴
16	13,63	1816,8	90	423,5	7,011. 10 ⁴
17	14,47	1936,2	100	597,0	10,133. 10 ⁴
18	15,36	2060			
19	16,30	2196			
20	17,29	2337			
21	18,33	2485			
22	19,42	2642			
23	20,57	2808			
24	21,77	2982			
25	23,04	3166			
26	24,37	3360			
27	25,76	3564			
28	27,23	3778			
29	28,76	4004			

Vir:Gspan, 2003

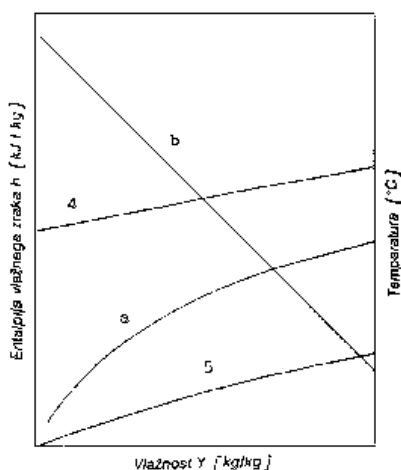


Slika 1: Diagram in matematični opis hidrotermičnih lastnosti nasičenega zraka z vodno paro

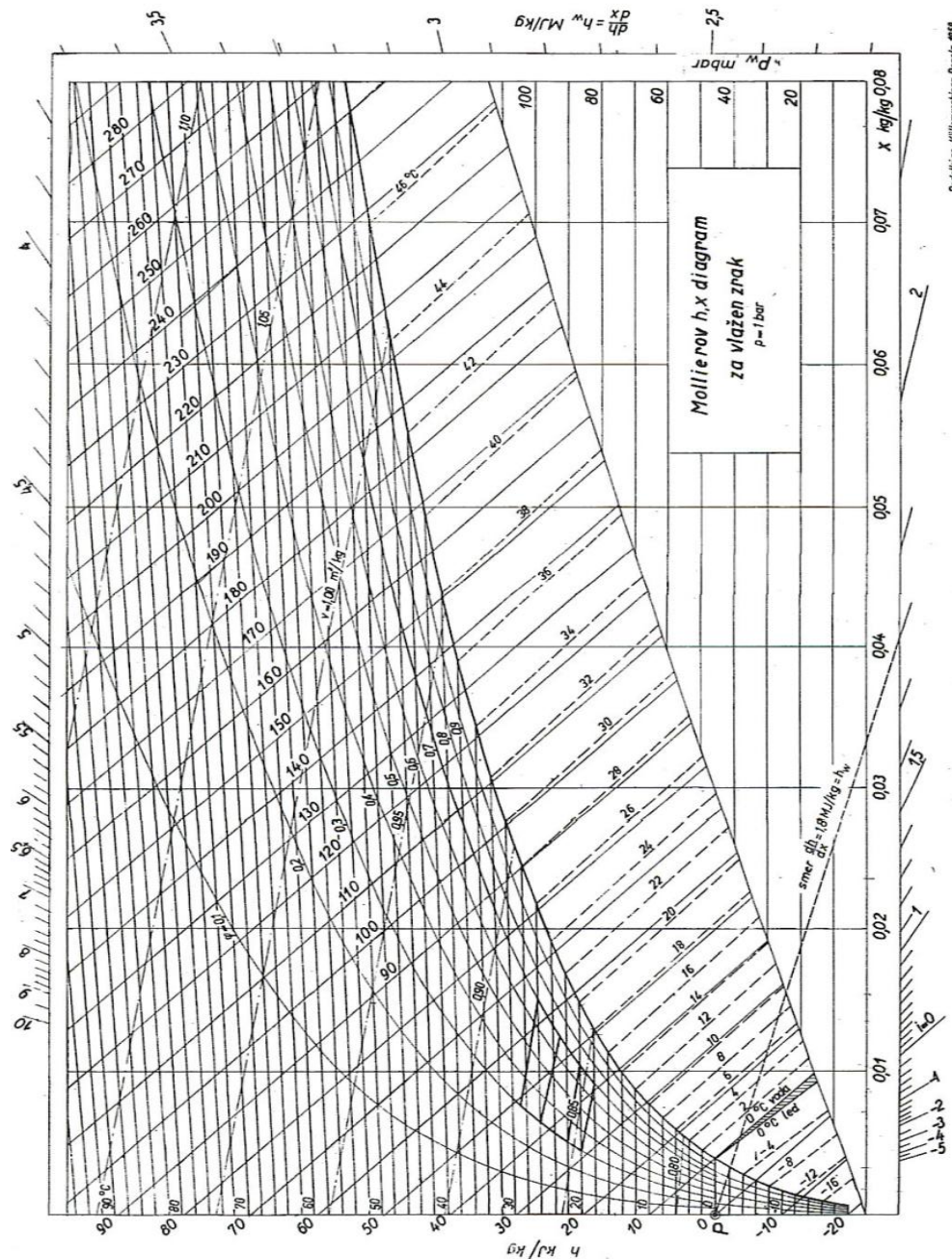
2.1 MOLLIEROV h, Y IN PSIHROMETRSKI DIAGRAM

Entalpija vlažnega zraka je enaka vsoti entalpije suhega zraka in vodne para. Za opis toplotnega stanja se najpogosteje uporablja dva podatka ob tretji veličini, ki je konstanta in je običajno zunanji tlak.

Mollierov diagram je na sliki 2 za vlažni zrak, pri tlaku 1 bar, iz njega pa lahko odčitamo potek izotermnih sprememb (4), tlak nasičenja, odvisno od vlažnosti (5), relativno zračno vlažnost, odvisno od temperature (a) in potek adiabatnega ohlajevanja (b).

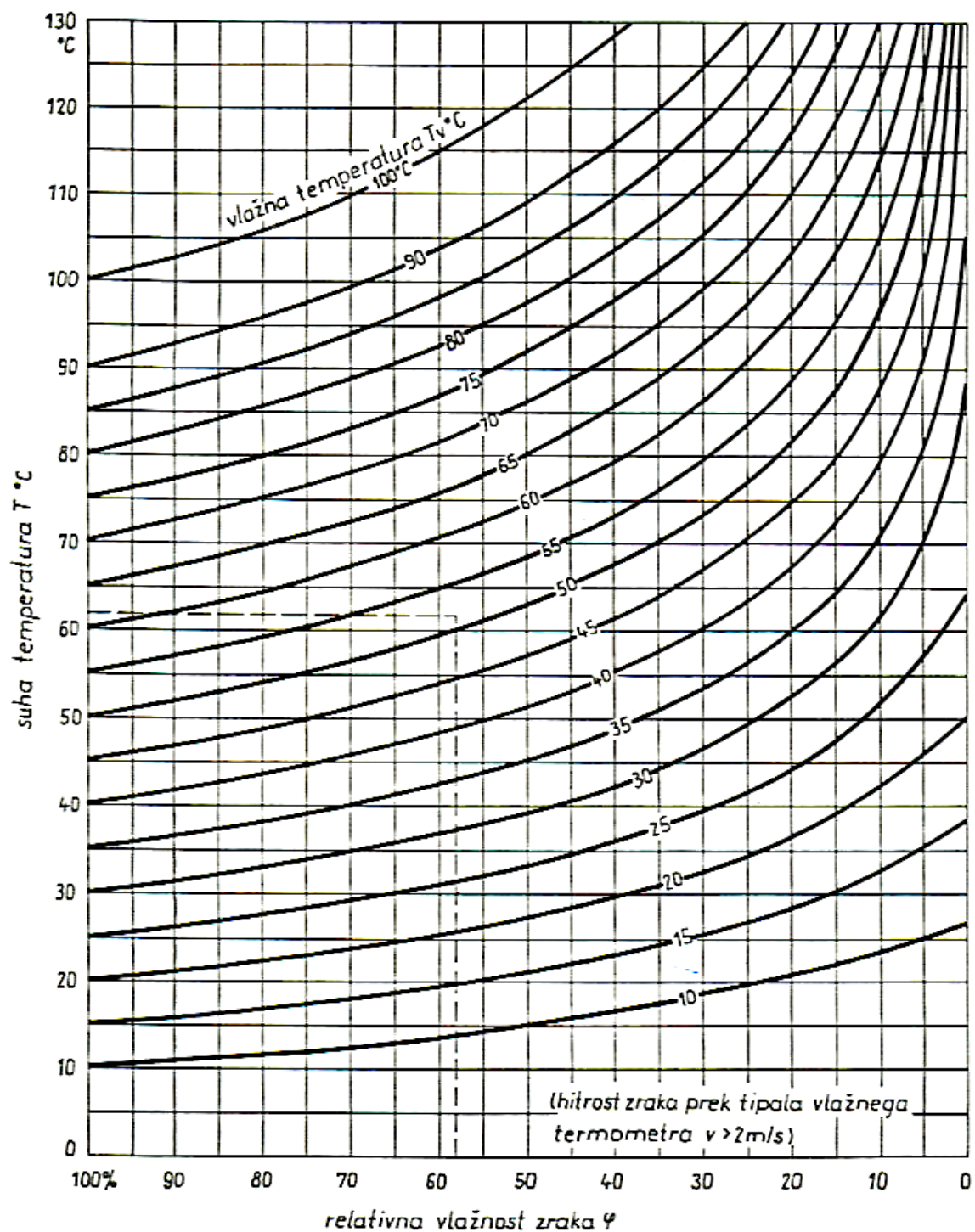


Slika 2: Mollierov diagram
Vir: sušenje les, skup.avtor. 1994



Slika 3: Mollierov diagram h, x za vlažen zrak
Vir: Kraut, 1981

Običajno pa za praktično delo in ugotavljanje relativne zračne vlage, ki definira hitrost sušenja zadostuje psihrometrski diagram. Na njemu s pomočjo dveh podatkov odčitamo tretjega. Naprimer, če želimo sušiti pri določeni temperaturi z željeno ostrino sušenja, kar pomeni pri določeni relativni vlažnosti zraka je s tem definirana mokra temperatura, oziroma z odčitano suho in mokro temperaturo dobimo relativno zračno vlago, ki definira hitrost sušenja. Na sliki 4 je psihrometrski diagram, ki velja pri hitrostih zraka večjih od 2 m/s. K ostrini sušenja smo sedaj ob temperaturi in relativni zračni vlagi dodali še tretji pomemben podatek, hitrost gibanja zraka preko sušečega lesa. Vsi trije podatki definirajo klimo v sušilni komori ali na prostem pri naravnem sušenju.



Slika 4: Psihrometrski diagram
Vir: sušenje lesa, M.G., N.M., V.V., 1985

2.2 SUŠENJE ZRAKA

Pri komorskem sušenju z zrakom poznamo več načinov, ki jih v glavnem delimo na:

-odprte sisteme

-zaprte sisteme

Že sama delitev nam pove, da se v odprtih sistemih uporablja zrak, ki ga iz okolja sušilnice zajemamo in ga v celoti ali delno vodimo preko ogrevalnih sistemov v komoro. Pri tem načinu gre za celotno ali delno zamenjavo zraka v sušilni komori, kar je odvisno od želenega stanja vhodnega zraka. Ker je ostrina sušenja za vsako stopnjo sušenja drugačna, je tudi priprava vstopnega zraka različna, tako po temperaturi, kot relativni zračni vlagi. Zrak, ki se nahaja v okolici sušilnice ima različna stanja, glede na zunanje pogoje, v sušilni komori pa zagotovimo želene pogoje tako, da pripravimo vstopni zrak z mešanjem zunanjega in komorskega iztopnega zraka in mu z segrevanjem znižamo relativno zračno vlago in povečamo njegovo kapaciteto sprejemanja vodnih par iz lesa.

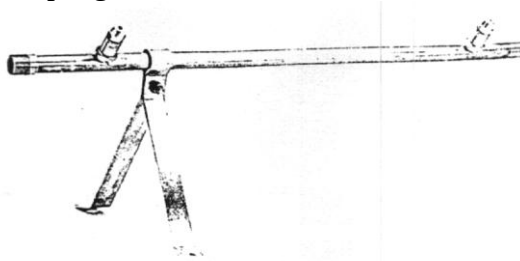
Enako tudi pri celotni zamenjavi zraka z dvigom temperature znižujemo relativno vlažnost zraka, oziroma ga sušimo. Pri delni ali celotni zamenjavi izgublamo energijo, zato je to eden od energetskega zelo potratnih načinov sušenja, kar se pozna pri stroških sušenja.

Zaprti sistem predstavlja energetskega učinkovitejši sistem, saj operiramo izključno z komorskim zrakom, ki ga na iztopni strani ohladimo, tako, da se izloči en del vodnih par v obliki kondenzata, ki teče iz sušilnice, ohlajen zrak pa zopet segrejemo in mu tako znižamo relativno zračno vlago.

Vodimo ga v sušilno komoro, kjer je spet sposoben prevzemati vodno paro, ki izhlapeva iz površine lesa.

2.3 VLAŽENJE ZRAKA

Vlaženje zraka je potrebno v primeru, ko je relativna zračna vlaga zraka ob vstopu v komoro prenizka in bi bila ostrina sušenja prevelika. Zrak vlažimo z dodajanjem vode v vstopni zrak s pomočjo pršil, ki vodo z določenim tlakom enakomerno pršijo v celotni volumen vstopajočega zraka. Zrak vlažimo z mrzlo, toplo vodo ali paro. Vsi trije načini različno spreminjajo karakteristiko vstopnega zraka, relativno zračno vlažnost in temperaturo.



Slika 5: Vlaženje z razpršilnimi šobami za vodo
Vir: M-R, prospekt

2.4 HITROST ZRAKA

Hitrost zraka je eden od parametrov, ki definira hitrost sušenja. Večja je hitrost hitrejša je izhlapevanje vode iz površine lesa. Pomembno je, da je hitrost zraka optimalna, kar pomeni, da je prilagojena predvsem materialu, ki ga sušimo, da je poraba energije ekonomična in čas sušenja kratek. Pomembno je tudi zagotoviti enakomerno hitrost v vseh delih sušilne komore, kar je pogoj za enakomerno sušenje v vseh delih zložaja.

Za sušenje se uporabljajo hitrosti zraka, ki običajno dosegajo 2 m/s, večje hitrosti uporabljamo pri dobro permeabilnih in tanjših lesovih.

Hitrost zraka povečamo običajno z ventilatorji, ki jih delimo na aksialne in radialne ventilatorje.

2.4.1 Aksialni ventilatorji

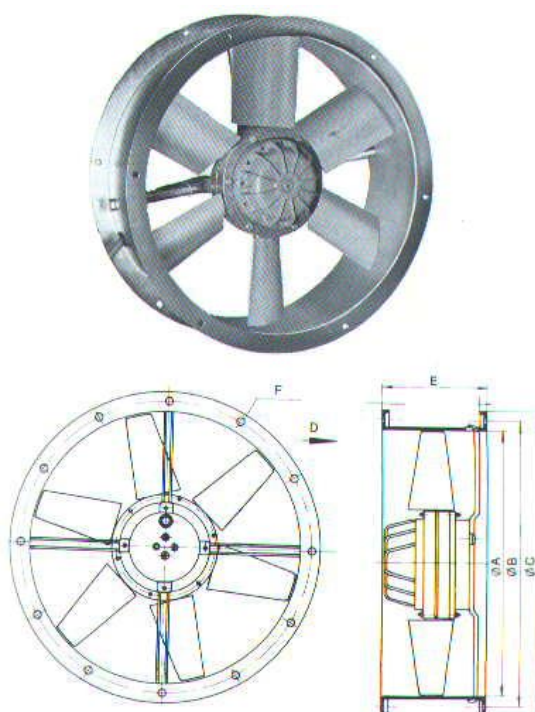
Aksialni ventilatorji delujejo kot propelerji, kar pomeni, da se zrak giblje v smeri pogonske osi. Poznamo enosmerne in dvosmerne (reverzibilne) aksialne ventilatorje, ki so primerni predvsem za velike količine zraka in manjše tlačne razlike.



Slika 6: Aksialni ventilatorji

Vir: www.lh-mh.com/htmlpage/ProductsRange.htm

Velikost in moč aksialnega ventilatorja je odvisna predvsem od izvedbe sušilnice in načina delovanja. Za dober aksialni ventilator je pomembno, da ima ustrezne radialno-aksialne ležaje in pravilno obliko lopat. Oblika lopat mora zagotavljati enakomerne razlike v tlaku po celotni površini pretoka zraka, kar zagotavlja tudi dobre izkoristke in manjšo porabo energije. Lopate morajo imeti ustrezen aeroprofil, širina se od korena lopate proti obodu zmanjšuje in ima aerodinamično zvitje. Aksialni ventilatorji imajo lahko direkten ali indirektni prenos.



Slika 7: Aksialni ventilator z direktnim prenosom

Vir: katalog imp



Slika 8: Aksialni ventilator z indirektnim prenosom

Vir: www.peerlessblowers.com/products/propeller_fans/

Idealno porabo moči ventilatorja (brez izgub) lahko izračunamo na naslednji način:

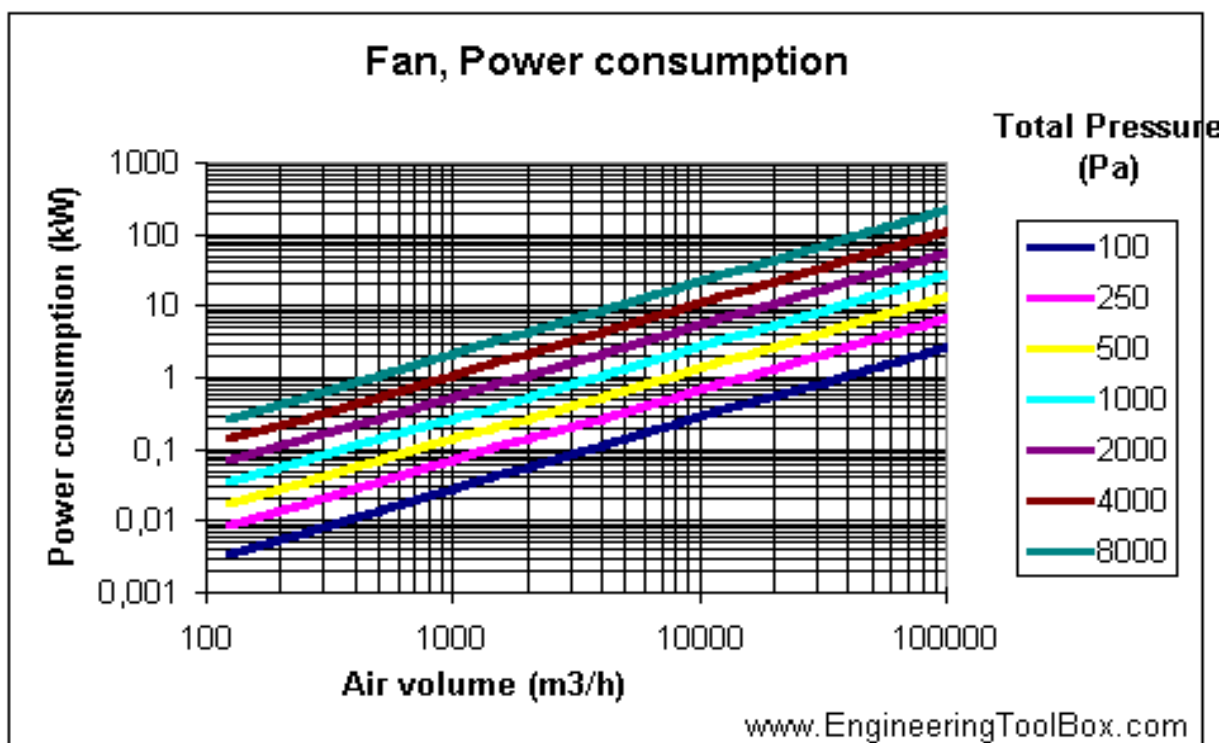
$$P_i = dp \cdot q$$

kjer je:

P_i idealna poraba moči (W)

dp totalna razlika v tlaku(Pa)

q volumski pretok zraka(m^3/s)



Slika 9: Poraba moči za aksialnih ventilatorjev
Vir: www.engineeringtoolbox.com/fans-efficiency-po..

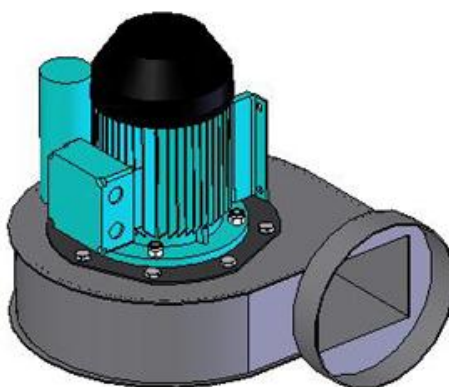
Upoštevati moramo predvsem podatke proizvajalca aksialnega ventilatorja, ker so razlike med njimi velike, zato nam slika 9 služi le kot približek.

Tipični izkoristki motorjev in jermenskih prenosov glede na moč(engineeringtoolbox):

- Motor..... 1kW - 0.4
- Motor10 kW - 0.87
- Motor100 kW - 0.92
- Jermenski prenos..... 1 kW - 0.78
- Jermenski prenos.....10 kW - 0.88
- Jermenski prenos.....100 kW - 0.93

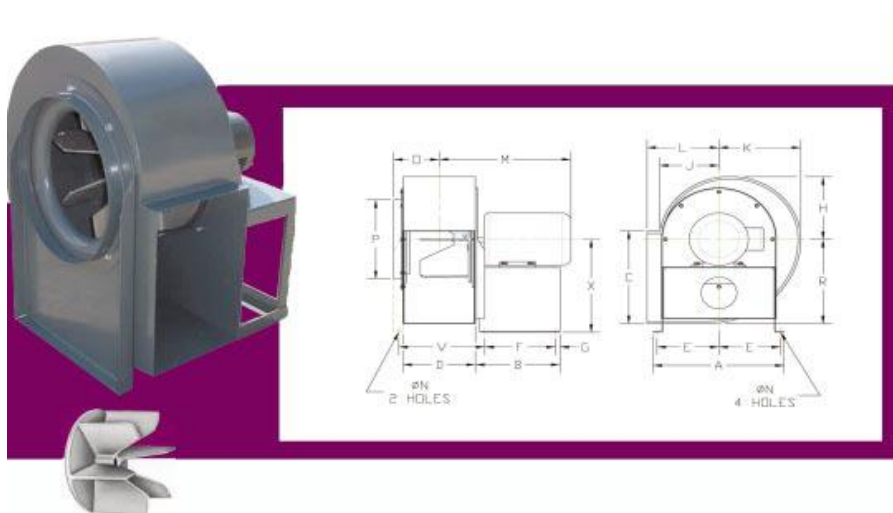
2.4.2 Radialni ventilatorji

Radialni ventila deluje tako, da vrteči rotor v smeri radia tlači plin v spiralno ohišje, primeren je za manjše količine in višje tlake.



Slika 10: Centrifugalni ventilator

Vir: www.lev-co.com/products.asp?SolutionID=35...



Slika 11: Centrifugalni ventilator

Vir: www.peerlessblowers.com/products/propeller_fans/

2.5 MERILNIKI ZA DOLOČANJE LASTNOSTI ZRAKA

Za sušenje lesa s pomočjo zraka moramo poznati tri glavne parametre:

- temperaturo zraka
- relativno vlažnost zraka
- hitrost zraka

2.5.1 Merjenje temperature

»**Celzijeva temperaturna lestvica** je lestvica za merjenje temperatur, ki jo je 1742 predlagal švedski astronom Anders Celsius. Stopinjo v tej lestvici navadno označujemo z oznako °C.

V Celzijevi lestvici ustreza 0 °C tališču ledu, 100 °C pa vrelišču vode, oboje pri standardnem atmosferskem tlaku. Takšna definicija je za današnjo rabo neprimerna, saj se zanaša na definicijo standardnega atmosferskega tlaka, vrednost tega pa je nadalje odvisna od definicije temperature. Sodobna definicija Celzijeve temperaturne lestvice je, da je temperatura trojne točke vode enaka 0,01 °C, velikost stopinje pa definira tako, da je 1 °C enaka 1/273,16 razlike med trojno točko vode in absolutno temperaturno ničlo.

Celsius je sprva hotel definirati lestvico obrnjeno, tako da bi voda vrela pri 0 stopinjah in zmrzovala pri 100. Da se je premislil in lestvico obrnil, sta najverjetneje pripomogla švedski naravoslovec Carl von Linné in Daniel Ekström, ki je Celsiusu izdeloval termometre.

Celzijeva temperaturna lestvica je po Evropi in večini sveta nadomestila starejšo Fahrenheitovo. V termodinamiki pa se ob omenjenih uporablja predvsem absolutna temperaturna lestvica.

Fahrenheitova temperaturna lestvica [*fårenhajtova* ~ ~] je lestvica za merjenje temperatur, ki jo je 1724 predlagal nemški fizik Daniel Gabriel Fahrenheit. Stopinjo Fahrenheita označujemo z oznako °F.

Za ničlo svoje lestvice je Fahrenheit vzel najnižjo temperaturo, ki jo je lahko ponovljivo dosegel z mešanico ledu in soli, kot drugo umeritveno točko pa je vzel temperaturo človeškega telesa. Interval med njima je sprva razdelil na 12 enot, pozneje pa vsako od njih na dodatnih 8 enot, torej skupno 96 *stopinj*. V tej temperaturni lestvici voda zmrzuje pri normalnem atmosferskem tlaku pri 32 °F in vre pri 212 °F.

Po Fahrenheitovi smrti so odkrili v njegovih meritvah napako, kar bi pomenilo, da bi bili temperaturi tališča in vrelišča vode v Fahrenheitovi lestvici pri nekaj drugačnih številkah od omenjenih. Namesto tega so raje preštevilčili lestvico tako, da sta tališče in vrelišče vode pri standardnih pogojih ostali pri 32 °F in 212 °F, pač pa je v tej revidirani lestvici temperatura človeškega telesa nekaj drugačna: 98,6 °F namesto prvotnih 96 °F.

Fahrenheitovo lestvico še vedno uporabljajo v ZDA in vse manjšem številu angleško govorečih držav, v Evropi in večini sveta pa jo je pri praktični rabi izpodrinila Celzijeva temperaturna lestvica. V termodinamiki pa se ob omenjenih uporablja predvsem absolutna temperaturna lestvica.« (Iz Wikipedije, proste enciklopedije)

»Iz Fahrenheitove lestvice lahko preračunamo temperaturo v Celzijevo:

$$T(^{\circ}\text{C}) = (T(^{\circ}\text{F}) - 32^{\circ}\text{F})/1,8$$

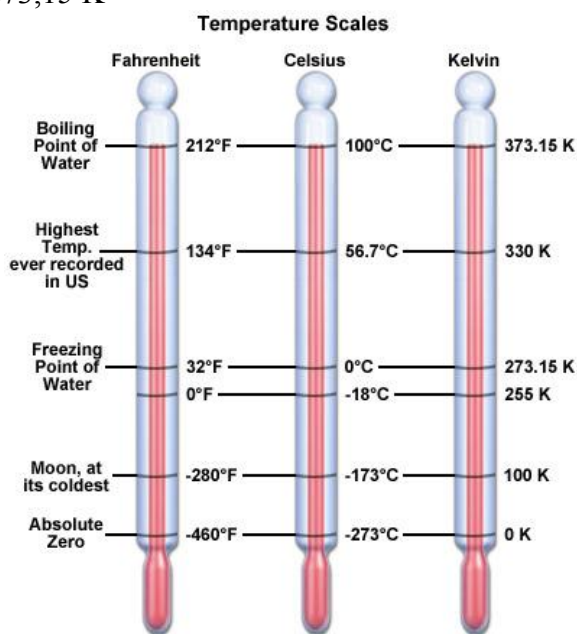
Formula za obratno pretvorbo je

$$T(^{\circ}\text{F}) = 1,8 T(^{\circ}\text{C}) + 32$$

Absolutna temperaturna lestvica (tudi *Kelvinova temperaturna lestvica*) je lestvica za merjenje temperatur, ki jo je leta 1848 predlagal škotski inženir in fizik William Thomson, kasneje povzdignjen v lorda Kelvina. Enota v tej lestvici je kelvin, ki je tudi osnovna enota SI za merjenje temperature.

Absolutna temperaturna lestvica ne pozna negativnih vrednosti - ničla v tej lestvici sovpada z absolutno ničlo. Lestvica je razdeljena na enote, imenovane kelvin (oznaka K). En kelvin je določen kot 1/273,16 razlike med temperaturo trojne točke vode in absolutno ničlo. Po velikosti intervala kelvin tako sovpada s stopinjo celzija, kar olajša pretvorbo:« (Iz Wikipedije, proste enciklopedije)

$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15 \text{ K}$$



Slika 12: Merjenje temperature v različnih stopinjah

Vir: www.magnet.fsu.edu/.../fullarticle.html

2.5.1.1 Termometri

Za merjenje temperature uporabljamo termometre, ki morajo pokrivati celotno območje temperature v sušilnici. Uporabljamo živosrebrne termometre, bimetalne termometre, termometer na tlak pare, električni uporovni termometer in termoelement z temperaturno skalo. Za krmiljenje sušenja z mikroprocesorsko tehniko uporabljamo termometre, ki višino temperature definira električna veličina. Senzorjev za merjenje temperature je na tržišču veliko vrst, z različno natančnostjo merjenja, različnimi območji merjenja in različnih izvedb, z neposrednim digitalnim izhodom itd.

Polek znanih termometrov poznamo še infrardeče termometre, ki meri temperaturo brezkontaktno in je prikazan na sliki 13. Temperaturo določi na osnovi jakosti toplotnega sevanja, ki ga sprejme od merjenca. Uporablja se za merjenje temperature težko dostopnih površin ali objektov, ki se gibljejo (strojne naprave) ali se jih med delovanjem ni mogoče dotakniti s kontaktnim termometrom (elektro naprave).



Slika 13: Infrardeči termometer

Vir: www.terming.si/index.cgi?k=751&j=1

Med sodobne merilnike sodijo tudi termografske kamere, ki so namenjene za ugotavljanje toplotnih izgub, kar je v procesu sušenja iz stroškovnega vidika še posebej pomembno. Visoko resolucijska termografska kamera zamenjuje preko stotisoč kontaktnih ali nekontaktnih termometrov. Na osnovi izmerjene temperature vsake posamezne točke, prikaže na zaslonu toplotno sliko celotne opazovane površine. Toplotna slika se osvežuje 50 krat na sekundo, kar omogoča zvezno in neutripajočo sliko kot jo poznamo pri snemanju z običajno video kamero. To omogoča hitro merjenje, ostre posnetke in ne utruja oči.



Slika 14: Termografska kamera

Vir: www.terming.si/index.cgi?k=751&j=1

2.5.1.2 Senzorji in aktuatorji

»Senzorji (tipala, odjemniki) so »naprave«, ki veličine iz okolja (iz »realnega sveta«) pretvorijo v obliko, primerno za nadaljnjo obdelavo z elektronskimi vezji. Najpogostejše veličine iz okolja so temperatura, tlak, pretok, sila, navor, hitrost vrtenja, pot pomika, kot zasuka in druge. Izhodni signal senzorja je najpogostejše v obliki električne napetosti, upornosti ali toka.

Senzorji nadomeščajo in dopolnjujejo človekova čutila.

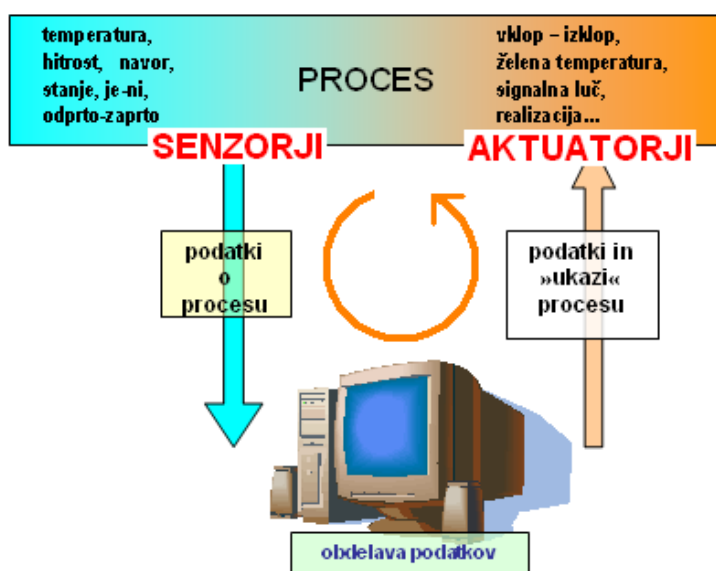
Naprimer uporovni temperaturni senzor KTY10 uporabljamo za merjenje temperature, saj se mu s temperaturo spreminja električna upornost. Z nekaj dodatnimi elektronskimi elementi in napajanjem dobimo vezje, ki daje na izhodu temperaturno odvisno električno napetost.

Z računalnikom napetost zajamemo in jo računsko obdelamo, rezultat je številsko izražena zunanja temperatura. V celotni merilni verigi je senzor prvi člen.

Podrobnejše podatke o senzorju moramo poiskati v dokumentaciji proizvajalca.

Aktuator je pretvornik, ki sprejme signal in ga pretvori v fizično akcijo, dejanje. To je mehanizem, preko katerega je mogoče vplivati oziroma učinkovati na okolico. Glede na uporabljeno tehnologijo so lahko električni, pnevmatični, hidravlični.

Mesto senzorjev in aktuatorjev v vodenju procesa je prikazano na spodnji sliki. Senzorji so za nadzorni računalnik vir podatkov o sistemu, aktuatorji pa so "podaljšana roka" za izvajanje posegov v sistemu. S tem je "krog" zaključen: podatki o procesu - obdelava podatkov - odziv, ukrepanje.



Slika 15: Povezava senzorja z računalnikom in aktuatorjem

Vir: files.gsobar.uni.cc/.../Senzorji_aktuatorji.html

Računalnik kot naprava je v bistvu zelo bogato elektronsko vezje oziroma množica takšnih vezij. Pri priključevanju naprav nanj moramo upoštevati pravila elektronike.

Pravimo, da moramo zagotoviti združljivost na fizičnem nivoju.

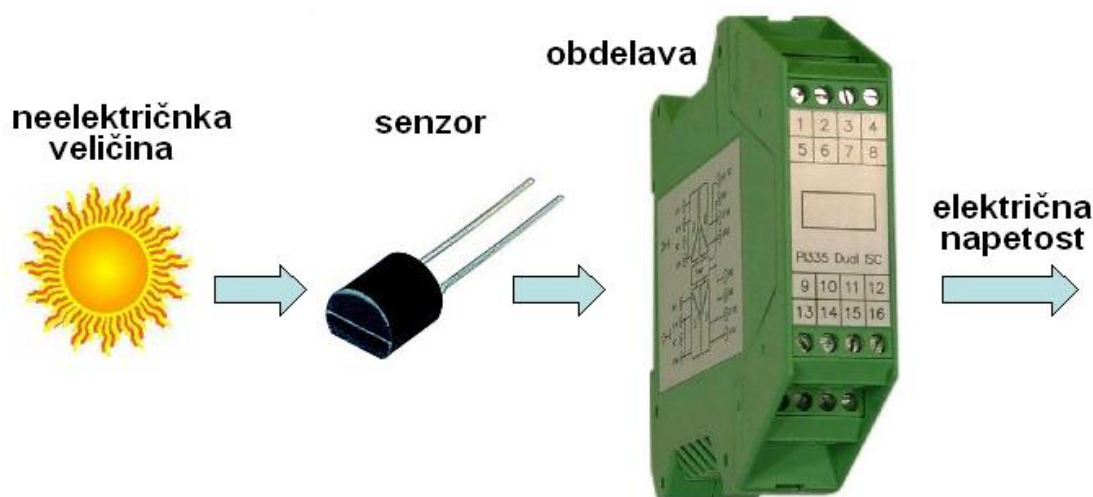
Edina oblika, ki je neposredno primerna za prenos podatkov v osebni računalnik, je električna napetost. Ta lahko zavzame le eno od dveh možnih stanj: visoko stanje in nizko stanje.

Običajno znaša visoko stanje 5V, nizko stanje pa 0V. Pri novejših digitalnih vezjih srečamo tudi nižje električne napetosti. Električni signali, ki lahko zavzamejo samo določene vrednosti (v našem primeru dve), se imenujejo digitalni ali diskretni signali. Za neposredno obdelavo v računalniku so primerni digitalni signali.

Računalnik lahko neposredno obdeluje le binarne signale oziroma podatke.

Če želimo signale iz senzorjev priključiti na računalnik, jih moramo najprej ustrezno »predelati«.

1. Pretvoriti jih moramo v električno napetost.
2. Električno napetost moramo pretvoriti v »digitalno« obliko.



Slika 16: Pretvorba neelektrične veličine v električno. Prvi je senzor, sledi še pretvorba v napetost, filtriranje, ojačenje. Pripravljen električni signal lahko priključimo v računalnik preko vmesnika.

Vir: files.gsobar.uni.cc/.../Senzorji_aktuatorji.html

Prvo nalogo – pretvorbo v električno napetost – opravijo senzorji in prilagodilna vezja:

- Senzor pretvori določeno fizikalno veličino v električno.
- Signal iz senzorja je lahko prešibek in ga je potrebno ojačiti.
- Signal iz senzorja lahko ni sorazmeren s temperaturo. To odvisnost želimo linearizirati.
- V signalu iz senzorja je lahko preveč motenj in električnega šuma in ga je treba filtrirati.

Pred obdelavo izmerjenih vrednosti z računalnikom pa je potrebno signale iz senzorjev "obdelati" z dodatnimi elektronskimi vezji.

Pri velikem številu merjenih veličin – na primer v proizvodnem obratu ali raziskovalnem laboratoriju – se kaj kmalu zgodi, da je senzorjev več kot razpoložljivih »vhodov« na računalniku. Zato podatke iz večjega števila senzorjev povežemo najprej na napravo, ki

podatke s senzorjev krožno bere, prebrane podatke pa sproti pošilja na izbrani »vhod«, (vrata, port) računalnika. Takšnemu načinu prenašanja podatkov pravimo multipleks.

Današnji merilni sistemi omogočajo zajemanje preko 200 merilnih vrednosti z istim merilnim sistemom.



Slika 17: Primer naprave za obdelavo do 256 merilnih signalov.

Vir: files.gsobar.uni.cc/.../Senzorji_aktuatorji.html

Programska oprema za vizualizacijo, nadzor in upravljanje procesov predstavlja svoj segment na področju programske opreme.

Podpirati mora - poleg splošnih programskih zahtev - še delo v realnem času, različne vrste komunikacije s procesom in zunanjim svetom.

Poseben poudarek je na zanesljivosti delovanja, saj gre za občutljive procesne sisteme.«
(files.gsobar.uni.cc/.../Senzorji_aktuatorji.html)

2.5.1.3 Temperaturni senzorji



KTY 10 silicijev temperaturni senzor KTY10-6=KTY81/210

Temperaturno območje od -50 do +150 stopinj C. Odlikujejo se po zelo tolerantnih uporih (do 1 %) z dobrimi, reproducirnimi temperaturnimi koeficienti. Majhnost vpliva na kratke odzivne čase (približno 2 s). Uporna temperaturna karakteristika s skoraj linearnim potekom. Toleranca 1 %.



Platinasti tenkoplastni temperaturni senzor M-FK 1020, PT 1 000

Tehnični podatki: Nazivna upornost $R_0=2000$ ohm pri 0 °C Točnost: razred B Skladnost s DIN EN 60751 Območje merjenja temperature: razred B: od -70 do +500 °C Temperaturni koeficient: $T_k = 3.850$ ppm/K Priključne žice: s platino oblečena nikljeva žica Dolgoročna stabilnost: maks. R_0 (znižanje upornosti) 0,04 % po 1.000 urah delovanja pri 500 °C Odpornost na udarce: najmanj 100 g pospešitev z 8 ms polovično sinusno krivuljo, odvisno od načina montaže Pogoji okolice: nezaščitenega lahko uporabljate le v suhem okolju Izolacijska upornost: več kot 10 Mohm pri 20 °C; več kot 1 Mohm pri 500 °C Lastno segrevanje: 0,2 K/mW pri 0 °C Odzivni čas: premikajoča se voda $v = 0,4$ m/s: $t_{0,5} = 0,2$ s; $t_{0,9} = 0,4$ s; zračni tok = 1 m/s: $t_{0,5} = 4,2$ s; $t_{0,9} = 12,7$ s Merilni tok: 100 ohm: 1,0 mA do 3,0 mA 500 ohm: 1,0 mA 1000 ohm: 0,3 do 1,0 mA.



Natančen temperaturni senzor P T 1000

Platinasta senzorja Pt100 / Pt1000 1/3 Din B, ki sta v kvalitetnem ohišju iz legiranega jekla (V4A), omogočata precizno zajemanje vrednosti s toleranco samo 0,1 stopinj C v območju od 0 do 100 stopinj C. Območja uporabe so npr. vremenske postaje, ogrevanja, klimatska tehnika, avtomobilska elektronika in industrija. Tehnični podatki: Zaščitna cev V4A legirano jeklo, žična izolacija - stekleni filament Velikost (D x premer) 20 x 6 mm, priključna žica ca. 300 mm.



DS18B21
PR35 PACKAGE

Temperaturni senzor z neposrednim digitalnim izhodom DS18B21

Temperaturni senzorji z digitalnim izhodom poenostavljajo nadziranje temperature. V vse senzorje je vgrajen digitalen termometer, tako da za odčitavanje ne potrebujemo A/D pretvornika. Uporabimo jih lahko kot termostate, programirljive termostate ter za beleženje temperature. Senzorje kalibrira že proizvajalec. Tehnični podatki: Območje merjenja temp. od -50 do +125 °C Ločljivost 0,5 °C Hitrost odčitavanja 1 s. Dolžina podatka 9 bitov.

(<http://www.conrad.si/>)

2.5.2 Merilniki relativne zračne vlage in senzorji

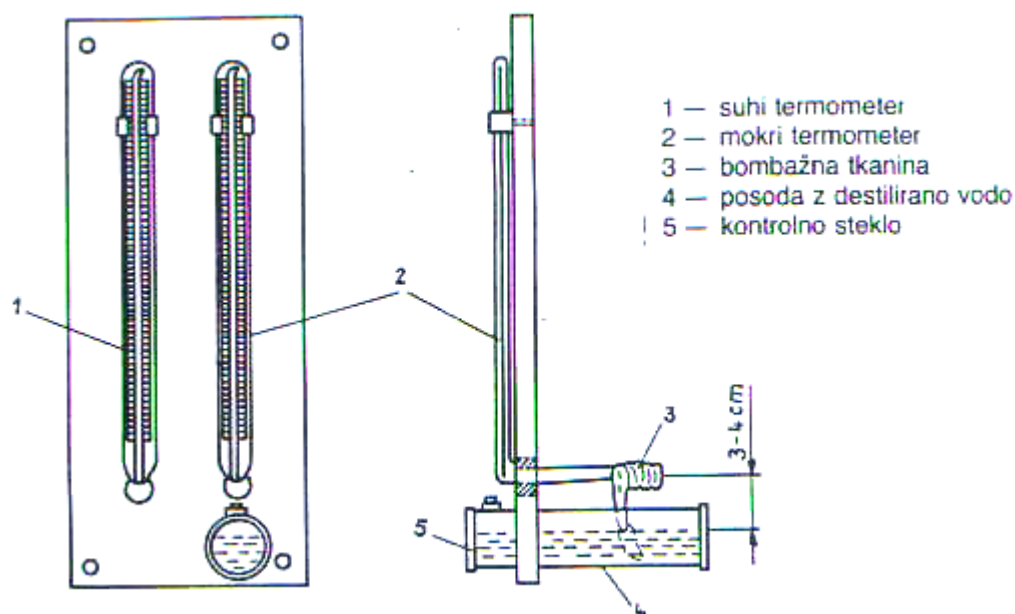
Relativno zračno vlago merimo z analognimi in digitalnimi instrumenti. Najpreprostejši in dovolj natančni higrometri uporabljajo za merjenje relativne zračne vlage naravni las, ki se pri povečani relativni zračni vlagi razteza in krči pri znižanju le te. Preko prenosa na kazalec iz skale za relativno zračno vlago odčitamo vrednost.



Slika 18: Higrometer

Vir: <http://www.conrad.si/>

Za zelo natančno merjenje relativne zračne vlage uporabljamo psihrometer, ki je sestavljen iz dveh živosrebrnih termometrov, od katerih eden meri suho, drugi pa mokro temperaturo, relativno zračno vlago pa odčitamo iz diagrama ali tabele.



Slika 19: Psihrometer
Vir: sušenje, MG, NM, VV, 1985

Elektronski senzorji relativne zračne vlage delujejo na principu pretvorbe električne veličine v digitalno obliko, ki omogoča mikroprocesorsko obdelavo in krmiljenje procesa sušenja.



Kapacitivnostni polimerni senzor vlage

Za merjenje relativne vlage zraka ali plinastih zmesi. Visokokakovostna izdelava na keramičnem substratu v tankoplastni tehniki, dolgotrajna stabilnost in natančnost, odpornost proti rosenju, kemična odpornost ter hitra odzivnost. Področja uporabe: medicina,

avtomobilizem, klimatske naprave, gradbeništvo, industrija, merilna tehnika. Tehnični podatki: Tip: KFS140-D Mere (D x Š x V) 5,0 x 3,8 x 0,4 mm Obratovalna napetost: maks. 12 V Merilno območje: 0-100 % r.v. Priključek: PTFE izolirane priključne žice Odzivni čas: 12 s Kapacitivnost: 150 pF Histereza: 1.5 %



Idealen je npr. za določanje relativne zračne vlažnosti v notranjih ali zunanjih prostorih. Temperaturna kompenzacija poteka na tiskanem vezju senzorja in zato ne zahteva dodatnih komponent. Majhna oblika (24 x 12 x 5 mm) kot tudi široko območje merjenja od 20 do 90 % relativne zračne vlažnosti omogoča različna področja uporabe. Območje obratovalne temperature od 0 do 50 °C. Merilna napetost 1 V AC (50 Hz do 1 kHz) Sprememba impedance 60 kohm do 30 kohm.



Senzor vlage, obratovalna temperatura od 0°C do 60°C

Za merjenje relativne zračne vlažnosti. Podatki: Kapaciteta 122 pF 15 % Območje merjenja vlažnosti 10 do 90 % Obratovalna temperatura 0 do 60 °C Maks. obratovalna napetost 15 V AC (izmenična napetost) Odzivni čas (90 % vrednosti) pri 25 °C v razgibanem zraku: A) v območju Frel je 10 do 43 % manj kot 3 min. B) v območju Frel je 43 do 90 % manj kot 5 min. (<http://www.conrad.si/>)

2.5.3 Merilniki hitrosti zraka

Merjenje hitrosti zraka se v sušilnici vrši občasno z anemometri, ki delujejo na različne načine. Najpogostejši način pri sušenju na prostem je merjenje hitrosti zraka z krilnimi anemometri, različne izvedbe delujejo na enakem principu, tako da se število vrtljajev rotorja, ki je odvisna od hitrosti zraka pretvori v analogni ali digitalni signal na podlagi katerega je možno odčitati hitrost zraka običajno v m/s ali km/h. Drugi način, ki se uporablja za merjenje hitrosti zraka v zložaju, kjer smo omejeni z prostorom, pa je merjenje na podlagi diference tlakov, ki nastanejo med zastojnim tlakom in podtlakom, ki nastane pri pravokotnem strujanju zraka, glede na odprtino na strani podtlaka.



Slika 20: Krilni anemometer

Vir: <http://www.conrad.si/>

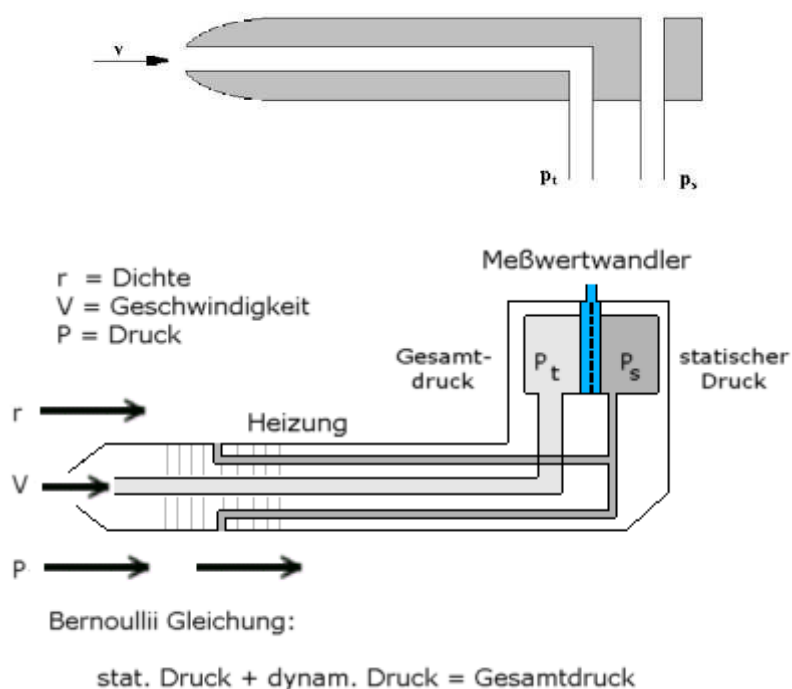
Ročni merilnik vetra 3000 omogoča zaznavanje aktualne hitrosti vetra v km/h, m/s, miljah in knotih/vozlih. Ker je naprava vodoodporna, jo lahko uporabljajo tako susilničarji, kot tudi amaterski vremenoslovci, pomorščaki, padalci, zmajarji, modelarji - torej vsi, ki za svoje delo potrebujejo te podatke. Za varovanje baterij ima naprava vgrajen avtomatski izklop. Tehnični podatki: Merjenje hitrosti vetra od 0,2 do 30 m/s Ločljivost 0,1 za vse enote Mere (Š x V x G) 39 x 98 x 17 mm



Slika 21: Skodelični anemometri

Vir: <http://www.conrad.si/>

Za merjenje hitrosti zraka v zložaju pa se uporablja Pitot-Prandtlova cev. Osnovno načelo Pitot-Prandtlove cevi sta dve cevi od katerih je ena usmerjena v smeri toka, druga pa pravokotno na smer toka.



Slika 22: Pitot-Prandtlova cev

Vir: commons.wikimedia.org/wiki/Image:Pitot_tube_w...

Cev, ki leži v smeri toka, je na nasprotnem koncu zaprta, zaradi česar se tok plina tam zaustavi, na račun tega pa naraste tlak na tem mestu. Ta tlak imenujemo totalni tlak p_t . V

cevi, ki leži pravokotno na smer toka, pa se hitrost ne spremeni in na tem mestu se meri t.i. statični tlak p_s .

Iz Bernoullijeve enačbe ob predpostavki, da je potencialna energija konstantna, dobimo naslednjo enačbo:

$$p_s + \frac{1}{2}\rho v^2 = p_t$$

iz katere izrazimo hitrost v :

$$v = \sqrt{\frac{2(p_t - p_s)}{\rho}}$$

Napake merjenja se pojavljajo, če se gostota plina spreminja, npr. zaradi temperature, se zaradi tega spreminja tudi izmerjena hitrost.

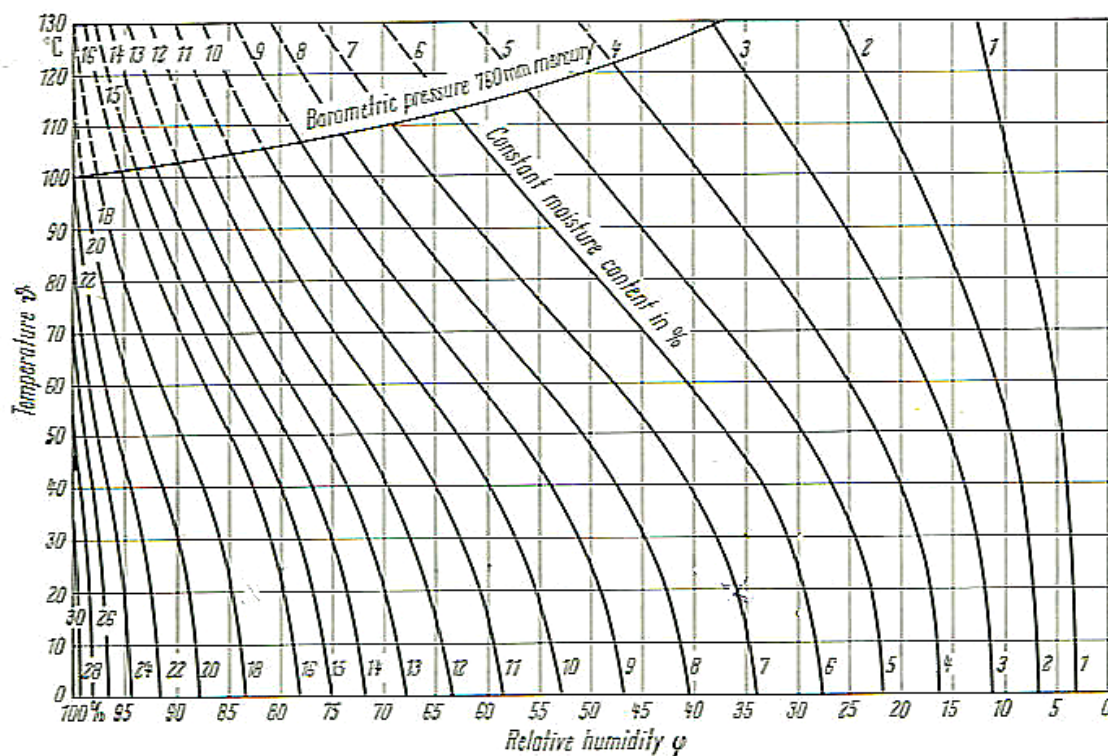
Zgornja enačba ni najbolj ustrezna v naslednjih pogojih:

- Pri nizkih hitrostih je tudi totalni tlak nizek in napaka merilnika tlaka je lahko celo večja od izmerjene vrednosti, kar pomeni veliko napako pri merjenju.
- Pri visokih hitrostih (npr. pri nadzvokni hitrosti) se pred cevjo pojavi udarni val, zaradi česar naraste totalni tlak. Da je merjenje hitrosti po tem postopku možno tudi v tem primeru, je potrebno izvesti nekatere popravke.

Pitot-Prandtlova cev se največ uporablja pri merilcu hitrosti letala in za merjenje hitrosti zraka v težko dostopnih mestih, kot so zložaji. (http://sl.wikipedia.org/wiki/Pitot-Prandtlova_cev)

2.6 PSIHROMETRSKI NOMOGRAM IN TABELA

Les je higroskopičen material, kar pomeni, da spreminja svojo ravnovesno vlago glede na temperaturo in relativno zračno vlago. Torej pri vsaki temperaturi in relativni zračni vlagi ima les določeno ravnovesno vlago, ki jo bi dosegel, če bi bil dovolj dolgo izpostavljen enakim pogojem. Ravnovesno vlago odčitamo iz nomograma, ki je prikazan na sliki 23 in tabeli.



Slika 23: Nomogram lesne ravnovesne vlažnosti
Vir: suš.lesa, skup. avt. 1994

Na tabeli pa so prikazane relativna zračna vlaga zgoraj in ravnovesna lesna vlažnost spodaj v odvisnosti od temperature suhega termometra in psihrometske razlike v temperaturi.

suha temperatura °C	Psihrometerska razlika																			
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
0	91	82	73	64	56	47	39	31	23	14										
	21	17,3	14,4	12,3	10,6	9,2	7,8	5,4	5	3										
2	91	83	75	67	59	50	43	36	28	20	13	6	1							
	21,5	17,7	14,9	12,8	11,2	9,8	9,5	7,3	5	4,7	3,3	1,5	0,3							
4	93	84	77	70	59	51	49	42	35	27	21	15	8	3						
	22,3	18,3	15,5	13,5	11,9	10,5	9,3	8,2	7,1	5,9	4,8	3,4	2	0,6						
6	93	86	79	73	64	57	53	47	40	33	28	22	16	10	5	2				
	22	18	16,1	14,1	12,5	11,1	10	8,9	7,9	6,9	5,9	4,8	3,8	2,2	1,2	0,5				
8	94	87	81	75	69	63	57	51	45	39	34	28	23	17	12	6	2	1		
	23,6	19,4	16,6	14,7	13	11,7	10,6	9,5	9,7	7,8	6,9	5,9	4,9	3,9	2,8	1,6	0,7	0,3		
10	94	87	82	76	71	66	60	55	49	44	39	33	28	23	19	14	9	4		
	24,2	20	17,1	15,2	13,6	12,2	11,1	10,1	9,3	8,5	7,7	6,9	6	5,2	4,4	3,5	2,4	1,2		
12	94	89	83	78	72	67	63	58	52	48	43	38	34	28	24	20	15	10	6	4
	24,7	20,3	17,5	15,6	14,1	12,7	11,6	10,6	9,8	9,1	8,3	7,5	6,7	6	5,3	4,6	3,7	2,8	1,7	0,9
14	95	90	84	79	74	69	65	60	55	51	46	42	38	33	29	25	21	16	12	9
	25,1	20,7	17,9	16	14,5	13,1	12,1	11,1	10,3	9,6	8,8	8,1	7,4	6,7	6,1	5,4	4,7	4	3,1	2,1
16	95	90	85	80	76	71	67	62	58	53	49	45	41	37	33	29	25	21	18	14
	25,5	21	18,2	16,4	14,8	13,5	12,5	11,5	10,7	10	9,3	8,8	7,9	7,3	6,7	6,2	5,5	4,9	4,2	3,4
18	95	91	86	81	77	73	69	65	60	56	52	48	45	40	37	34	30	26	23	19
	25,8	21,3	18,5	16,7	15,2	13,9	12,9	11,9	11,1	10,3	9,7	9	8,4	7,8	7,3	6,8	6,2	5,6	5	4,3
20	95	91	87	82	78	74	70	66	62	58	54	51	47	44	40	37	33	30	27	23
	26,1	21,5	18,8	17,1	15,5	14,2	13,2	12,2	11,4	10,7	10	9,3	8,8	8,3	7,8	7,2	6,7	6,2	5,6	5,1
22	95	91	87	83	79	75	71	68	64	60	56	53	50	47	43	40	37	34	30	27
	26,4	21,7	19	17,3	15,8	14,5	13,4	12,4	11,7	11	10,3	9,7	9,1	8,6	8,1	7,7	7,2	6,7	6,2	5,7
24	95	92	88	84	80	76	73	69	66	62	59	55	52	49	46	43	40	37	34	31
	26,7	21,9	19,2	17,5	16	14,8	13,7	12,8	12	11,2	10,6	10	9,5	9	8,5	8	7,6	7,1	6,7	6,2
26	96	92	88	84	81	77	74	71	67	64	61	57	54	51	48	45	42	39	37	34
	26,7	22	19,3	17,6	16,1	15,9	14,8	13,8	12,8	12	11,3	10,8	10,1	9,6	9,2	8,7	8,2	7,8	7,4	7
28	96	92	89	85	81	78	75	72	69	65	62	59	56	53	50	47	45	42	39	36
	26,9	22,2	19,5	17,8	16,3	15,8	14,7	13,7	12,8	12,1	11,4	10,8	10,2	9,8	9,3	8,9	8,4	8	7,5	7,2
30	96	93	89	86	82	79	75	73	70	66	64	60	57	55	52	49	47	44	41	39
	27,1	22,3	19,5	17,9	16,5	15,3	14,2	13,3	12,5	11,8	11,3	10,7	10,2	9,7	9,3	8,9	8,4	8,1	7,6	7,3
32	96	93	90	87	83	80	77	73	71	68	65	62	59	56	53	51	48	46	43	41
	27,1	22,4	19,6	17,9	16,6	15,4	14,4	13,5	12,7	12	11,4	10,8	10,3	9,9	9,5	9,1	8,7	8,3	7,9	7,6
34	96	93	90	87	83	80	77	74	71	69	66	63	60	57	55	53	50	48	45	43
	27,2	22,4	19,7	18	16,7	15,5	14,5	13,6	12,8	12,1	11,6	11	10,5	10,1	9,7	9,3	8,9	8,5	8,1	7,8
36	96	93	90	87	84	81	78	75	72	69	67	64	62	59	57	54	52	49	47	45
	27,2	22,4	19,7	18,1	16,8	15,6	14,6	13,7	12,9	12,3	11,7	11,2	10,7	10,2	10	9,5	9,2	8,8	8,4	8,1
38	96	94	90	87	85	82	79	76	73	70	68	66	63	60	58	55	53	51	49	46
	27,2	22,4	19,7	18,1	16,8	15,7	14,7	13,7	13	12,4	11,9	11,3	10,8	10,3	10,3	9,9	9,5	9,1	8,8	8,5
40	96	94	91	88	85	82	79	76	74	71	69	66	64	61	59	56	54	52	50	48
	27,3	22,4	19,7	18,1	16,8	15,7	14,8	13,8	13,1	12,6	11,9	11,4	10,9	10,5	10,1	9,7	9,3	9	8,7	8,3
45	97	94	91	89	86	83	81	78	75	74	71	68	68	64	62	59	57	55	53	51
	27,3	22,5	19,7	18,1	16,9	15,8	14,8	14	13,3	12,7	12,1	11,6	11	10,6	10,2	9,8	9,5	9,2	9,8	8,5
50	97	95	92	89	87	84	82	79	77	74	73	70	68	66	61	56	56	58	56	54
	27,1	22,3	19,7	18	16,8	15,7	14,8	13,9	13,3	12,7	12,2	11,6	11,2	10,7	10,3	9,9	9,6	9,3	9	8,7
55	97	96	93	90	88	85	83	81	78	76	73	72	70	68	66	63	62	60	58	56
	26,7	22	19,4	17,8	16,6	15,5	14,6	13,9	13,3	12,7	12,1	11,6	11,1	10,7	10,2	9,9	9,6	9,3	9	8,7
60	97	95	93	90	88	86	83	81	79	77	75	73	71	69	67	65	63	62	60	58
	26,4	21,7	19,2	17,6	16,4	15,4	14,5	13,7	13,1	12,5	12	11,5	11,1	10,6	10,2	9,8	9,5	9,3	9	8,7
65	98	96	93	91	88	86	84	82	80	78	76	74	72	71	69	67	65	63	62	60
	25,8	21,3	19	17,3	16	15,1	14,3	13,6	13	12,4	11,9	11,3	10,9	10,5	10,1	9,8	9,4	9,2	8,9	8,6
70	98	96	93	91	89	87	85	82	81	79	77	75	73	72	70	68	66	65	63	62
	25,3	20,9	18,7	17	15,8	14,8	14	13,3	12,7	12,2	11,6	11,1	10,8	10,3	9,9	9,6	9,3	9,1	8,8	8,5
75	98	96	94	92	90	88	85	83	82	80	78	76	74	73	71	69	68	66	65	63
	24,9	20,5	18,3	16,7	15,4	14,5	13,8	13,1	12,4	11,9	11,4	11	10,6	10,2	9,8	9,5	9,2	9	8,6	8,4
80	98	96	94	92	90	88	86	84	82	81	79	77	75	73	72	71	69	67	66	64
	24,4	20,1	18	16,4	15,1	14,3	13,6	12,9	12,2	11,7	11,2	10,8	10,4	10	9,6	9,3	9	8,8	8,5	8,2
85	98	96	95	93	91	89	87	85	83	82	80	78	76	75	73	72	70	68	67	66
	23,8	19,6	17,6	16,1	14,9	14	13,3	12,7	12	11,5	11,1	10,6	10,2	9,8	9,5	9,2	8,9	8,6	8,3	8
90	98	96	95	93	91	89	87	85	84	82	80	79	77	76	74	73	71	69	68	66
	23,4	19,3	17,2	15,7	14,6	13,8	13,1	12,4	11,9	11,3	10,9	10,5	10,1	9,7	9,3	9	8,8	8,4	8,1	7,8
95	98	96	95	93	91	89	87	86	84	82	81	79	78	76	75	74	72	70	69	67
	22,9	18,9	16,8	15,4	14,4	13,6	12,9	12,2	11,7	11,2	10,8	10,3	9,9	9,5	9,2	9	8,7	8,3	8	7,7
100	98	96	95	93	91	89	87	86	85	83	81	79	78	77	76	74	73	71	70	68
	22,5	18,5	16,4	15,1	14,2	13,4	12,7	12,1	11,6	11,1	10,6	10,1	9,8	9,4	9,1	8,9	8,6	8,2	7,9	7,6
	Relativna zračna vlaga %																			
	Ravnotevna vlažnost [esa %																			

suha temperatura °C		Psihrometerska razlika																			
		10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30
0																					
2																					
4																					
6																					
8																					
10																					
12																					
14		4																			
16		1,1																			
		11	2																		
18		2,6	0,5																		
		16	12	8	6																
20		3,7	2,8	2,2	1,5																
		20	17	14	11	6	5														
22		4,5	3,9	3,3	2,8	1,6	1,2														
		24	21	18	15	12	10	7													
24		5,2	4,7	4,2	3,6	3	2,4	1,7													
		28	25	22	19	17	14	12	10	7											
26		5,7	5,2	4,9	4,4	3,9	3,3	2,8	2,2	1,7											
		31	28	26	23	20	18	16	13	11											
28		6,6	6,1	5,7	5,3	4,9	4,4	4	3,5	3	2,5	1,5									
		34	32	29	26	24	22	20	17	15	12	8	4								
30		6,8	6,4	6	5,7	5,3	4,9	4,5	4,1	3,6	3,2	2,2	0,7								
		37	34	32	29	27	25	23	20	19	16	12	8	2	1						
32		6,8	6,5	6,2	5,9	5,5	5,1	4,8	4,3	4	3,6	2,7	1,7	0,4	0,2						
		39	36	34	32	30	28	25	23	21	19	15	11	8	4						
34		7,2	6,8	6,6	6,2	5,9	5,5	5,1	4,8	4,5	4,1	3,3	2,5	1,8	1,1						
		41	39	37	34	32	30	28	26	24	22	19	15	11	8	4					
36		7,4	7,1	6,8	6,5	6,1	5,8	5,4	5,1	4,9	4,6	3,8	3,1	2,5	1,9	1					
		43	40	38	36	34	32	30	28	26	24	21	17	14	11	7	2				
38		7,8	7,4	7,1	6,8	6,5	6,2	5,8	5,5	5,3	5	4,4	3,8	3,3	2,7	2,1	0,6				
		44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	23	20	16	13	10	5				
40		8,1	7,8	7,5	7,2	6,8	6,6	6,3	6	5,7	5,4	5	4,5	4,1	3,6	3,1	1,8				
		46	44	42	40	38	36	34	33	30	28	26	22	19	16	13	8	2			
42		8	7,7	7,4	7,1	6,8	6,6	6,3	6	5,7	5,4	4,9	4,5	4,1	3,6	3,1	1,9	0,5			
		49	48	45	43	42	40	39	37	35	33	30	27	24	22	19	13	9	5		
44		8,2	7,8	7,6	7,4	7,1	6,8	6,6	6,4	6,1	5,8	5,4	4,9	4,5	4,1	3,7	2,8	1,9	1		
		52	50	48	46	45	43	41	40	38	37	34	31	28	26	23	18	14	9	8	
46		8,3	8	7,8	7,5	7,3	7,1	6,8	6,6	6,4	6,1	5,7	5,3	5	4,6	4,3	3,5	2,8	2	1,2	
		54	53	51	49	48	46	45	43	41	40	38	34	32	29	26	22	18	14	10	6
48		8,3	8,1	7,9	7,7	7,4	7,2	6,9	6,7	6,6	6,4	5,9	5,5	5,2	4,9	4,6	3,8	3,2	2,6	2	1,3
		56	54	53	52	50	48	47	46	44	43	40	37	34	32	30	25	21	17	14	10
50		8,4	8,1	7,9	7,5	7,2	7	6,8	6,6	6,4	6,2	5,8	5,3	5	4,8	4,4	3,5	2,9	2,6	2,6	2,6
		58	57	55	54	52	50	48	47	46	45	42	40	37	35	33	28	24	21	17	14
52		8,3	8,1	7,9	7,6	7,4	7,2	7	6,8	6,6	6,4	6	5,6	5,3	5,1	4,9	4,2	3,7	3,3	2,8	2,4
		60	58	57	55	54	52	51	49	48	47	44	42	40	37	35	31	27	23	20	17
54		8,2	8	7,8	7,5	7,3	7,1	7	6,8	6,7	6,4	6	5,7	5,4	5,2	4,9	4,3	3,9	3,5	3,1	2,7
		62	60	59	57	55	54	52	51	50	48	46	44	42	39	37	33	29	26	23	20
56		8,1	7,9	7,7	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,6	6,4	6	5,7	5,4	5,2	4,9	4,4	3,9	3,5	3,2	2,8
		63	61	60	58	57	55	54	53	51	50	48	46	44	41	39	35	31	28	25	22
58		7,9	7,7	7,5	7,3	7,2	7	6,8	6,6	6,5	6,3	5,9	5,6	5,4	5,2	4,8	4,4	4	3,6	3,2	2,9
		64	63	61	60	58	57	56	55	53	52	49	47	45	43	41	37	33	30	27	24
60		7,8	7,6	7,4	7,2	7	6,8	6,6	6,4	6,3	6,1	5,8	5,5	5,3	5,1	4,8	4,4	4	3,6	3,3	2,9
		68	64	63	61	60	58	57	56	54	53	51	49	46	45	42	38	35	31	28	26
62		7,6	7,4	7,2	7	6,8	6,6	6,5	6	6,1	6	5,7	5,4	5,2	4,9	4,8	4,4	4	3,6	3,3	2,9
		66	65	64	62	61	60	58	57	56	55	53	50	48	46	44	40	36	33	30	27
64		7,5	7,2	7	6,9	6,7	6,5	6,3	6,1	6	5,9	5,6	5,3	5,1	4,9	4,7	4,3	4	3,6	3,2	2,9
		67	66	65	64	62	61	60	59	57	56	53	52	50	47	45	42	38	35	32	29
66		7,4	7,1	6,9	6,8	6,6	6,4	6,2	6	5,9	5,8	5,4	5,2	5	4,8	4,6	4,2	3,9	3,5	3,1	2,8
		Relativna zračna vlaga %																			
		Ravnovesna vlažnost leša %																			

	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
0	91	82	73	64	56	47	39	31	23	14										
	21,0	17,3	14,4	12,3	10,6	9,2	7,8	5,4	5,0	3,3										
2	91	83	75	67	59	50	43	36	28	20	13	6	1							
	21,5	17,7	14,9	12,8	11,2	9,8	8,5	7,3	5,0	4,7	3,3	1,5	0,3							
4	93	84	77	70	59	51	49	42	35	27	21	15	8	3						
	22,3	18,3	15,5	13,5	11,9	10,5	9,3	8,2	7,1	5,9	4,8	3,4	2,0	0,6						
6	93	86	79	73	64	57	53	47	40	33	28	22	16	10	5	2				
	22,9	18,9	16,1	14,1	12,5	11,1	10,0	8,9	7,9	6,9	5,9	4,8	3,6	2,2	1,2	0,5				
8	94	87	81	75	69	63	57	51	45	39	34	28	23	17	12	6	2	1		
	23,6	19,4	16,6	14,7	13,0	11,7	10,6	9,5	8,7	7,8	6,9	5,9	4,9	3,9	2,8	1,6	0,7	0,3		
10	94	87	82	76	71	66	60	55	49	44	39	33	28	23	19	14	9	4		
	24,2	20,0	17,1	15,2	13,6	12,2	11,1	10,1	9,3	8,5	7,7	6,9	6,0	5,2	4,4	3,5	2,4	1,2		
12	94	89	83	78	72	67	63	58	52	48	43	38	34	28	24	20	15	10	6	4
	24,7	20,3	17,5	15,6	14,1	12,7	11,6	10,6	9,8	9,1	8,3	7,5	6,7	6,0	5,3	4,6	3,7	2,8	1,7	0,9
14	95	90	84	79	74	69	65	60	55	51	46	42	38	33	29	25	21	16	12	9
	25,1	20,7	17,9	16,0	14,5	13,1	12,1	11,1	10,3	9,6	8,8	8,1	7,4	6,7	6,1	5,4	4,7	4,0	3,1	2,1
16	95	90	85	80	76	71	67	62	58	53	49	45	41	37	33	29	25	21	18	14
	25,5	21,0	18,2	16,4	14,8	13,5	12,5	11,5	10,7	10,0	9,3	8,6	7,9	7,3	6,7	6,2	5,5	4,9	4,2	3,4
18	95	91	86	81	77	73	69	65	60	56	52	48	45	40	37	34	30	26	23	19
	25,8	21,3	18,5	16,7	15,2	13,9	12,9	11,9	11,1	10,3	9,7	9,0	8,4	7,8	7,3	6,8	6,2	5,6	5,0	4,3
20	95	91	87	82	78	74	70	66	62	58	54	51	47	44	40	37	33	30	27	23
	26,1	21,5	18,8	17,1	15,5	14,2	13,2	12,2	11,4	10,7	10,0	9,3	8,8	8,3	7,8	7,2	6,7	6,2	5,6	5,1
22	95	91	87	83	79	75	71	68	64	60	56	53	50	47	43	40	37	34	30	27
	26,4	21,7	19,0	17,3	15,8	14,5	13,4	12,4	11,7	11,0	10,3	9,7	9,1	8,6	8,1	7,7	7,2	6,7	6,2	5,7
24	95	92	88	84	80	76	73	69	66	62	59	55	52	49	46	43	40	37	34	31
	26,7	21,9	19,2	17,5	16,0	14,8	13,7	12,8	12,0	11,2	10,6	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,6	7,1	6,7	6,2
26	96	92	88	84	81	77	74	71	67	64	61	57	54	51	48	45	42	39	37	34
	26,7	22,0	19,3	17,6	16,1	15,9	14,8	13,8	12,8	12,0	11,3	10,8	10,1	9,6	9,2	8,7	8,2	7,8	7,4	7,0
28	96	92	89	85	81	78	75	72	69	65	62	59	56	53	50	47	45	42	39	36
	26,9	22,2	19,5	17,8	16,3	15,8	14,7	13,7	12,8	12,1	11,4	10,8	10,2	9,8	9,3	8,9	8,4	8,0	7,6	7,2
30	96	93	89	86	82	79	75	73	70	66	64	60	57	55	52	49	47	44	41	39
	27,1	22,3	19,5	17,9	16,5	15,3	14,2	13,3	12,5	11,8	11,3	10,7	10,2	9,7	9,3	8,9	8,4	8,1	7,6	7,3
32	96	93	90	87	83	16	77	73	71	68	65	62	59	56	53	51	48	46	43	41
	27,1	22,4	19,6	17,9	16,6	15,4	14,4	13,5	12,7	12,0	11,4	10,8	10,3	9,9	9,5	9,1	8,7	8,3	7,9	7,6
34	96	93	90	87	83	80	77	74	71	69	66	63	60	57	55	53	50	48	45	43
	27,2	22,4	19,7	18,0	16,7	15,5	14,5	13,6	12,8	12,1	11,6	11,0	10,5	10,1	9,7	9,3	8,9	8,5	8,1	7,8

RELATIVNA ZRAČNA VLAŽNOST IN LESNA RAVNOVESNA VLAŽNOST V ODVISNOSTI MED SUHIM TERMOMETROM IN PSIHROMETRSKO RAZLIKO

POVZETEK IN RAZMISLEK OB POGLAVJU 2

V poglavju 2 smo obdelali lastnosti zraka- parametre, ki vplivajo na klimo in hitrost sušenja. Za parametre, ki definirajo hitrost sušenja (temperatura, relativna zračna vlažnost in hitrost zraka) smo obdelali različne merilne naprave in senzorje. Ukvarjali smo se z ravnovesno vlažnostjo lesa in parametri, ki jo definirajo. Spoznali smo, da se vsi higroskopski materiali prilagajajo klimi v kateri se nahajajo.

Razmislek:

Ali smo res oblečeni v suha oblačila in se brišemo s suho brisačo po umivanju?
Analiziraj parametre, ki določajo stopnjo suhosti higroskopskih materialov?
Utemelj odvisnost med suho temperaturo in psihrometrično razliko!
Kako vpliva psihrometrična razlika na relativno zračno vlažnost in ravnovesno vlažnost?

UVOD V POGLAVJE 3

Les je higroskopičen in heterogen, zaradi svoje anatomske zgradbe, zato si bomo v naslednjem poglavju ogledali njegovo zgradbo iz makroskopskega in mikroskopskega vidika. Sušenje lesa spada med najbolj zahtevne procese sušenja, saj so razlike tako med drevesnimi vrstami, kot znotraj posamezne drevesne vrste, ki so pogojene z različno podlago, nadmorsko višino in geografsko širino. Posamezni anatomske elementi vplivajo na hitrost sušenja in kvaliteto. Svež les vsebuje tako prosto vodo, ki se nahaja v lumnih celic, kot vezano vodo v celičnih stenah. V procesu sušenja odstranimo vso prosto vodo in del vezane vode. Hitrost sušenja je odvisna tudi od količine vode, ki jo moramo odstraniti iz lesa, ta pa je povezana z gostoto lesa in posledično drevesno vrsto.

Kakšna je razlika med listavci in iglavci?

Naštej vse razlike, ki jih ta trenutek veš, če meniš, da jih je več jih poišči v literaturi najbližje knjižnice in na spletu.

Zakaj je sušenje hrasta zahtevnejše in počasnejše od sušenja smreke?

Na osnovi logike utemelji razliko! Če z odgovorom niste zadovoljni poskusite še druge poti.

3 ZGRADBA LESA IN LASTNOSTI LESA Z VIDIKA SUŠENJA

Za kvalitetno sušenje lesa je najpomembnejše dobro poznavanje lesa in njegove anatomske zgradbe, ki nam omogoča razumevanje procesa sušenja in nastajanje napak pri tem procesu. Zgradba lesa in posebnosti posameznih vrst lesa so tiste, ki narekujejo režim in hitrost sušenja.

»Les je količinsko in tudi sicer že od nekdaj ena najpomembnejših surovin. Njegova poraba tudidanes nenehno narašča, v razvitih deželah predvsem na račun velike porabe papirja. Les nastaja ob blagodejnem učinku na okolje. Gozdovi predstavljajo najpomembnejši vir lesa kot surovine.

Ker je njihov prirastni potencial omejen in ker se površine gozdov v nekaterih predelih stalno zmanjšujejo, bo bodoča oskrba z lesom v veliki meri odvisna tudi od lesnih plantaž.

Na svetu uspeva veliko število lesnih vrst, ki predstavljajo potencialen vir lesa. Od tega je približno 30.000 drevesnih listavcev in približno 520 drevesnih iglavcev. Največje število lesnih vrst prihaja iz tropskih gozdov, ki so botanično izredno bogati. Za razliko od njih, so evropski gozdovi z nekaj deset drevesnimi vrstami botanično dokaj enolični, vendar imajo lesne vrste praviloma širok spekter uporabe, njihove tehnološke lastnosti pa so dobro poznane.

Botanično je les sekundarni ksilem, ki ga kambij v procesu sekundarne (debelitvene) rasti producira navznoter, t.j. v smeri stržena. Tehnično ga je mogoče definirati kot trdo vlakneno snov pod skorjo debel in vej dreves in grmov.

Zaradi več funkcij ki jih les opravlja v živih rastlinah, je njegova zgradba zelo pestra.

Sestavljajo ga različna tkiva in celice kot so: osnovno vlakneno tkivo iz raznih tipov vlaken, trahejni členi, aksialni in trakovni parenhim itd. Kemično ga sestavljajo celuloza, hemiceluloze oz. polioze in lignin ter večinoma specifični nizko molekularni organski "ekstraktivi" in neorganske mineralne snovi, ki jih skupaj označujemo kot pepel.

Bistvene prednosti lesa kot materiala so njegova obnovljivost, razširjenost, vsestranska uporabnost, visoka trdnost glede na gostoto, relativna enostavnost in čistost pridobivanja, predelave in obdelave. V splošnem je za predelavo lesa značilna relativno majhna poraba energije na enoto mase.

Pri lesu cenimo med drugim njegovo "toplino" zaradi vzajemnega učinka toplih barv, zlasti črnjav in nizke toplotne prevodnosti. Privlačita nas njegova "naravnost" in dekorativnost, ki je posledica najrazličnejših barvnih in zgradbenih "tekstur". Dragoceni glasbeni instrumenti predstavljajo idealno združitev nepreosljivih fizikalnih in dekorativnih lastnosti lesa. Kljub temu, da se nekatere tradicionalne rabe lesa opuščajo, iznajdljivost in moderne predelovalne in obdelovalne tehnologije širijo spekter njegove uporabe.

Predelavo in obdelavo lesa otežujejo in zmanjšujejo njegovo uporabnost predvsem heterogenost, izrazita anizotropija, biološka razgradljivost, rastne napetosti in visoka variabilnost.

Les je heterogen, ker ga sestavlja več različnih specializiranih tkiv, heterogenost pa povečujejo še razlike med ranim in kasnim lesom, mladostnim in zrelim lesom, beljavo in jedrovino ter pojav reakcijskega lesa in najrazličnejših anomalij (grče itd.).

Anizotropen je les predvsem zaradi različne usmerjenosti tkiv, ki ga gradijo: osnovno vlakneno tkivo in trahejno omrežje potekata longitudinalno oz. aksialno, trakovno tkivo pa radialno.

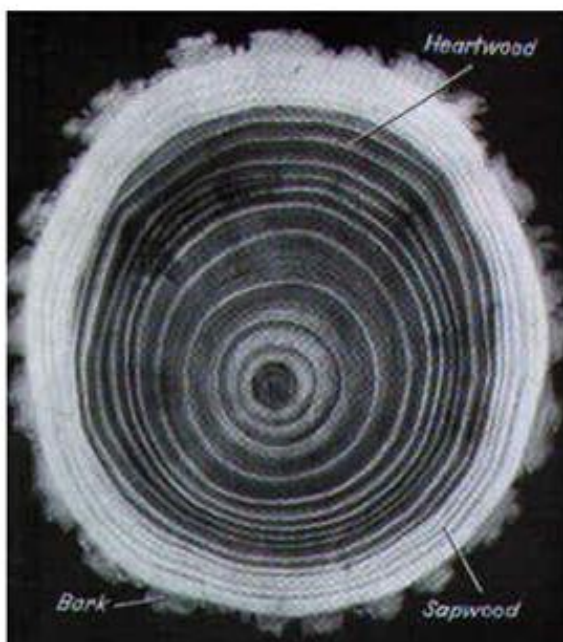
Anizotropnost je tudi posledica značilnega priraščanja v plasteh. V zmernem pasu kot letnih prirastnih plasti, ki so v prečnem in radialnem prerezu vidne kot branike z letnicami med njimi.

Zaradi takšne zgradbe je les ortotropen material s svojimi in neodvisnimi lastnostmi v smeri treh medsebojno bolj ali manj pravokotnih osi, prečne, radialne in tangencialne.

Pri nizkih vlažnostih in nizkih obremenitvah lahko les obravnavamo kot linearno elastičen material. V resnici pa so les in materiali izdelani na osnovi lesa viskoelastični in obremenjeni izkazujejo poleg trenutne elastične deformacije še viskoelastično in mehanosorptivno lezenje; prvega v pogojih konstantne vlažnosti, drugega pa v pogojih spremenljive vlažnosti. Na splošno se realizira vpliv vlažnosti na mehanske lastnosti le v higroskopskem območju, t.j. od "absolutne" suhosti do točke nasičenja celičnih sten.« (Čufar, 2002)

3.1 MAKROSKOPSKA IN MIKROSKOPSKA ZGRADBA LESA

Makroskopska zgradba lesa je tista, ki jo zaznamo z prostim očesom in lahko ločimo posamezne dele zgradbe lesa, bodisi v prečnem, tangencialnem ali radialnem prerezu. Na prečnem prerezu debla lahko najprej določimo osnovno sestavo iz skorje, ki opravlja funkcijo varovanja drevesa, prevodno funkcijo ali živi del drevesa opravlja beljava, osrednji del, ki je izgubil fiziološko funkcijo prevodnosti vode in ga imenujemo tudi mrtvi del, pa je jedrovina, ki je lahko obarvana ali pa ne.



Slika 24: Osnovna makroskopska zgradba lesa
Vir: PWT, Kollmann

Zgradba lesa je heterogena, kar pri sušenju povzroča določene težave in je potrebno režim vedno prilagoditi najbolj zahtevnim delom, ki sestavljajo les kot celoto.

»V nadaljevanju podajamo definicije naštetih pojmov iz knjige Les & skorja (Torelli 1990):

Skorja - vsa tkiva zunaj vaskularnega kambija.

Lubje ali ritidom - mrtvi del skorje - vse mrtvo tkivo zunaj najmlajšega felogena.

Kambij - je sloj aktivno se delečih celic, ki navzven proizvajajo sekundarni floem (del skorje), navznoter pa sekundarni ksilem (les).

Beljava je (navadno) periferni del debela ali veje s še živimi (parenhimskimi celicami), ki vsebujejo rezervne snovi (npr. škrob).

Jedrovina predstavlja notranje plasti lesa v rastočem drevesu, kjer so celice odmrle, rezervne snovi, ki so jih le-te vsebovale (npr. škrob), pa so se odstranile ali spremenile v jedrovinske snovi. Jedrovina je lahko neobarvana (smreka, jelka), večinoma pa obarvana (dob, rdeči bor, itd.); tedaj jo imenujemo **črnjava**.

Stržen je sredica stebela oz. debela, ki sestoji predvsem iz parenhima ali mehkega tkiva.

Prirastna plast je plast lesa ali skorje, ki je očitno nastala v eni rastni periodi; pogosto, zlasti pri lesnatih rastlinah jo je mogoče deliti na rani in kasni les oz. skorjo. Če nastane v normalnih okoliščinah v enem letu le ena prirastna plast (drevesa zmerne podnebne pasu), tedaj jo imenujemo letna prirastna plast. V prečnem prerezu vidimo prirastno plast kot prirastni kolobar.

Branika - v lesu ali skorji letna prirastna plast v prečnem ali radialnem prerezu

Letnica je meja med branikama oz. letnima prirastnima kolobarjema.

Pri tem je treba poudariti, da lupinasto priraščajo vsa drevesa, vendar prirastne plasti pri različnih vrstah niso enako razločne. Najbolj so razločne pri rastlinah zmerne pasu in samo v tem primeru jih lahko poimenujemo branike. Zaradi sezonske aktivnosti kambija in zato ker med rastno sezono variira količina razpoložljivih hormonov in hrane potrebnih za nastanek branike, pri večini lesnih vrst iz zmerne pasu lahko znotraj branike razlikujemo rani in kasni les.

Pri tropskih lesnih vrstah so prirastne plasti pogosto manj razločne. Pri njih navadno tudi ni znano koliko prirastnih plasti nastane v enem letu oz. kolikokrat v letu je rast prekinjena. V splošnem velja da v tropskem podnebju ni tako drastične prekinitve priraščanja, kot v zmerni klimi. Kambijeva aktivnost variira predvsem v odvisnosti od menjavanja sušnih in deževnih dob. Pri tropskih vrstah znotraj prirastne plasti navadno ni mogoče razlikovati ranega in kasnega lesa. Lesno tkivo iglavcev in listavcev se med seboj bistveno razlikuje. V nadaljevanju naštevamo le glavne zgradbene značilnosti obeh skupin lesnih vrst.

Lesno tkivo iglavcev je sestavljeno pretežno iz aksialnih traheid, ki predstavljajo do 95% celotnega tkiva. Na trakovno tkivo, ki je sestavljeno iz parenhimskih celic ali iz parenhimskih celic in trakovnih traheid, odpade največ 10% lesa. Smolni kanali, so lahko aksialni, ali pa radialni. Obdani so z epitelimi celicami.

Traheide so praviloma razporejene v radialnih nizih. Celice enega radialnega niza so potomke iste kambijeve inicialke. Imajo isto tangencialno dimenzijo, radialna dimenzija celic pa se zmanjšuje od ranega proti kasnem lesu. Celice na prehodu iz ranega v kasni les oblikujejo prehodni les.

Traheida - neperforirana lesna celica, ki jo s kongeneričnimi elementi (traheidami) povezujejo obokane pknje.

Parenhim - tkivo iz značilno zidakastih ali izodiametričnih celic s tankimi stenami in z enostavnimi pknjami. Predvsem je namenjen skladiščenju in distribuciji ogljikovih hidratov.

Rani les - pri iglavcih je les z relativno širokimi celičnimi lumni in tankimi stenami, ki nastaja na začetku raste vegetacijske sezone.

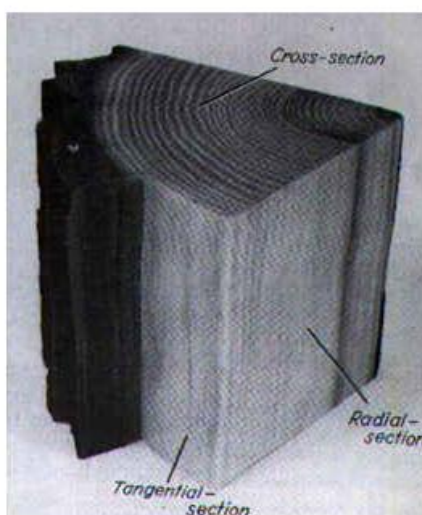
Kasni les - les z relativno ozkimi lumni in debelimi stenami, ki nastaja na koncu (vegetacijske) periode.

Smolni kanal - cevast medcelični prostor, ki ga obdaja epitel in ki v beljavi vsebuje smolo.

Epitel - plast sekrecijskih parenhimskih celic, ki obdajajo intercelularni kanal ali votlino.

Epitelna celica - specializirana parenhimska celica, element epitela.«

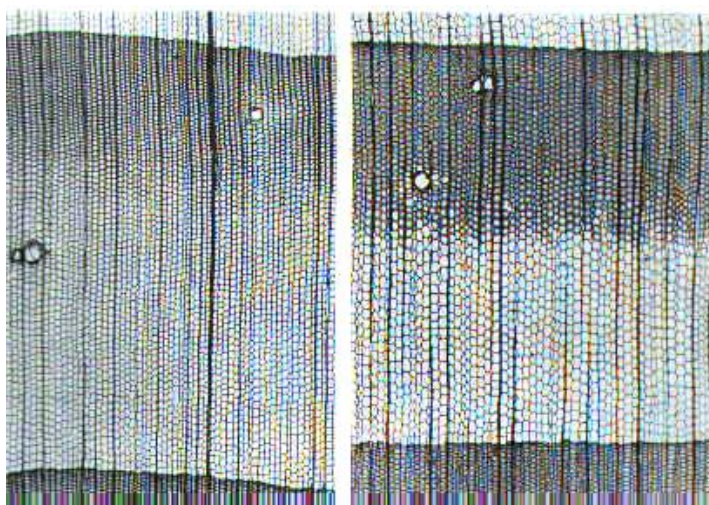
Makroskopsko in mikroskopsko obravnavano les iz treh prerezov, to je iz prečnega, radialnega in tangencialnega prereza ali strani pogleda.



Slika 25: Osnovni prerezi

Vir:PWT,Kollmann

Če na prečnem prerezu opazujemo les, potem opazimo branike. Branika je enoletni prirast lesne mase in je sestavljen iz ranega in kasnega lesa. Anatonski elementi enega in drugega lesa se razlikujejo predvsem v debelini celičnih sten in večje so razlike, težje sušimo les.

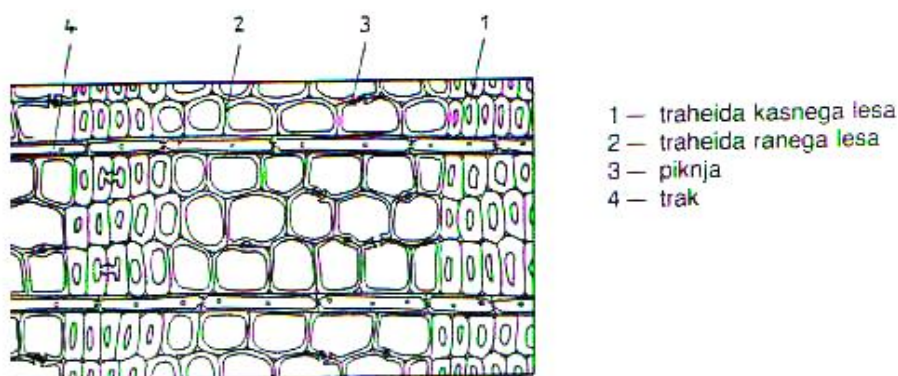


Slika 26: Prečni prerezi iglavca

Vir:PWT,Kollmann

Iglavci spadajo med primitivnejše drevesne vrste, ker je delitev funkcij posameznih elementov neizrazita. Traheide, ki sestavljajo les iglavcev v pretežni meri opravljajo tako prevodno, kot mehansko funkcijo, kar pomeni, da so razlike v debelini celične stene posledica le obdobje intenzivnosti rasti in različnosti glede na drevesno vrsto. Splošno veljavno pravilo

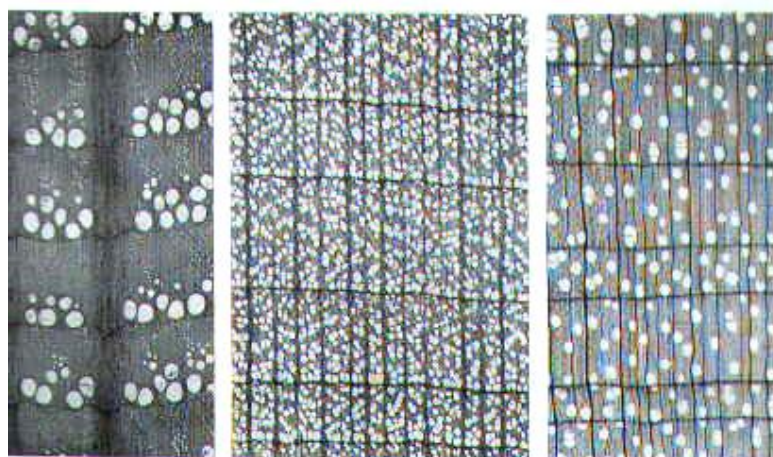
je, da se iglavci sušijo lažje in hitreje. Problematici so smolni kanali pri iglavcih, ki jih imajo.



Slika 27: Značilni prerez iglavcev

Vir:suš.les,MG,NM,VV,1985

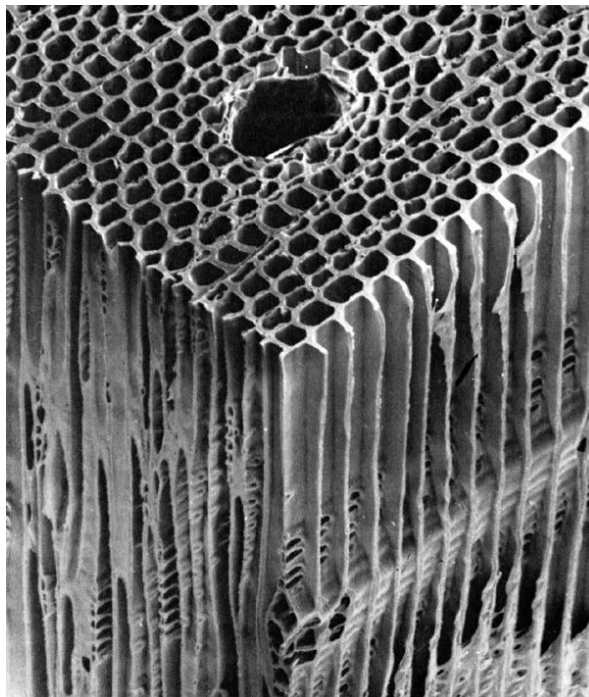
Listavce ločimo na venčasto porozne in raztreseno (difuzno) porozne. Listavci imajo delitev funkcij na višji razvojni stopnji, zato je tudi njihova sestava bolj raznolika. Traheje opravljajo prevodno funkcijo in imajo tanke stene, lesna vlakna ali libniiformska vlakna pa opravljajo mehansko funkcijo, zato imajo celične stene debelejše in težko prehodne za vodo.



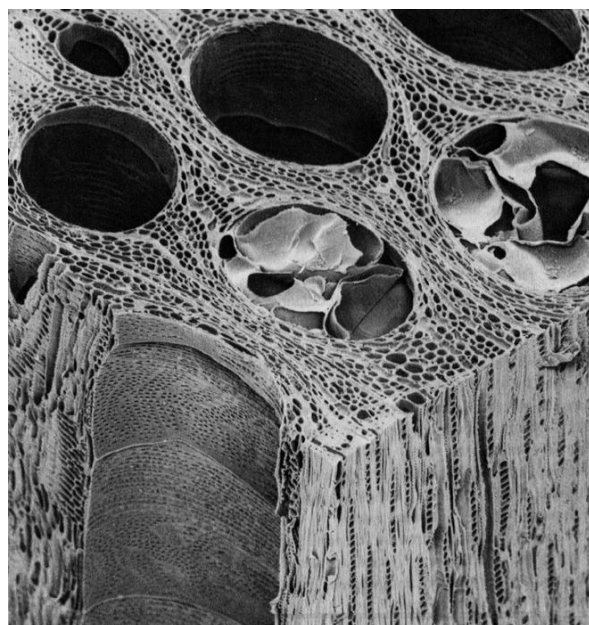
Slika 28: Venčasto in raztreseno porozni listavci

Vir:PWT,Kollmann

Velik vpliv na hitrost sušenja imajo trakovi, ki prekinjajo vzdolžne celice v prečni smeri, njihova količina pa povzroča tudi napake pri sušenju-razpoke. Trakove ločimo na enoredne in večredne, kar je odvisno od drevesne vrste, prav tako je tudi količina trakov odvisna od drevesne vrste.



Slika 29: Tri-dimenzionalni izgled lesa bora posnet z vrstičnim elektronskim mikroskopom
Vir: Čufar, 2002

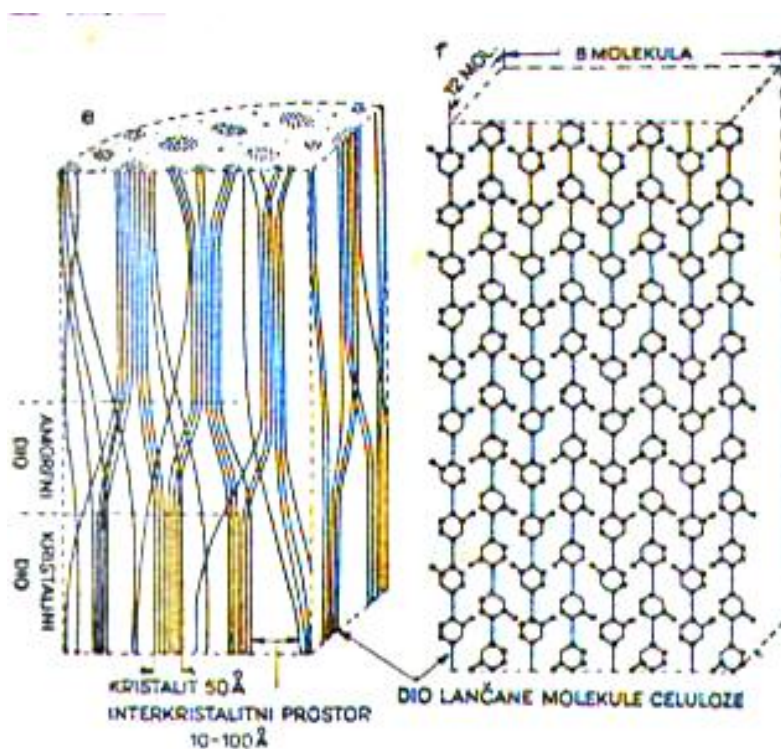


Slika 30: Tri-dimenzionalni izgled lesa robinije posnet z vrstičnim elektronskim mikroskopom
Vir: Čufar, 2002

3.2 ZGRADBA CELIČNE STENE

Celice iz katerih je zgrajena lesna masa nastajajo v kambijalni coni drevesa in gradijo navznoter beljavo, ki prehaja v jedrovino, navzven pa v skorjo. Žive celice skrbijo za komunikacijo med koreninami in listi oziroma iglicami.

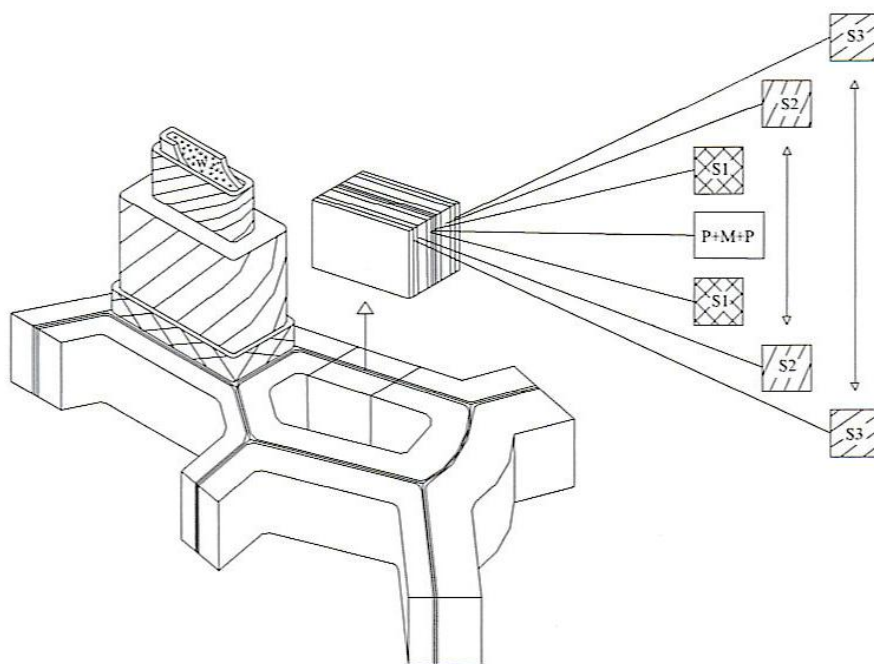
Celične stene nastajajo s pomočjo kristalitov, ki ga sestavljajo paralelno sestavljene verižne molekule celuloze. Kristalit je sestavljen iz snopa 12x8 verižnih molekul in je osnovna gradbena enota celične stene.



Slika 31: Del fibrile sestavljen iz kristalitov, z amorfnim in kristalnim delom
Osnovni snop verižnih molekul

Fibrile pod različnim kotom gradijo celično steno, ki je zgrajena iz primarnega in sekundarnega sloja, ki ga sestavlja zunanji, srednji sloj in podsloj.

Gledano od lumna navzven, ločimo sekundarno steno (S), primarno steno (P) in srednjo lamelo (M), ki predstavlja plast med celicami (Slika 32).



Slika 32: Shematski diagram orientacije celuloznih fibril v primarni in sekundarni steni vlaken. M - srednja lamela, P - primarna stena, S1, S2 in S3 - sloji sekundarne stene S. Delež S2 je največji. V S2 fibrile potekajo v strmem Z heliksu

Vir: (nekoliko spremenjeno po Panshin in de Zeeuw 1980 in (Čufar, 2002))

»**Primarna stena (P)** je sestavljena iz mešanice celuloze, hemiceluloz in lignina. Pletež celuloznih fibril je ohlapen. Te so na zunanji strani orientirane bolj ali manj aksialno, na notranji strani pa prečno. Nekateri avtorji omenjajo več slojev primarne stene (P0, P1), ki pa jih je težko razločiti. Primarna stena je v splošnem debela le 0,1 do 0,2 μm in predstavlja prvo steno, ki obdaja celico ob njenem nastanku v kambiju.

Sekundarna stena vsebuje tri sloje **S1**, **S2** in **S3**. Sloji imajo različno orientirane plasti celuloznih fibril, ki so med seboj prekržane kot v vezanem lesu.

Zunanji **sloj S1** je v splošnem debel le nekaj desetink μm . Sestoji iz več tankih lamel z izmeničnim S- in Z- heliksom. Celulozne fibrile potekajo pod velikim kotom oz. imajo »položen heliks«.

Sloj S2 predstavlja največji delež celične stene (do 75%). Debel je od enega do nekaj μm . Celulozne fibrile v sloju S2 potekajo pretežno v Z heliksu. Kot celuloznih fibril je majhen oz. imajo fibrile "strm heliks", kar pomeni da celulozne fibrile potekajo skoraj vzporedno z osjo celice. Zaradi velikega deleža ta sloj v veliki meri določa fizikalne lastnosti celične stene in določa tudi lastnosti lesa (npr. majhno aksialno krčenje).

Za notranji **sloj S3** je značilen velik fibrilarni kot oz. "položen heliks. Sloj S3 je debel le pribl. 0,1 μm . Nekateri avtorji sloj S3 označujejo kot terciarno lamelo (T), drugi spet kot terciarno steno. Pri vrstah, ki imajo helikalne (spiralne) odebelitve je ta sloj mestoma odebeljen.

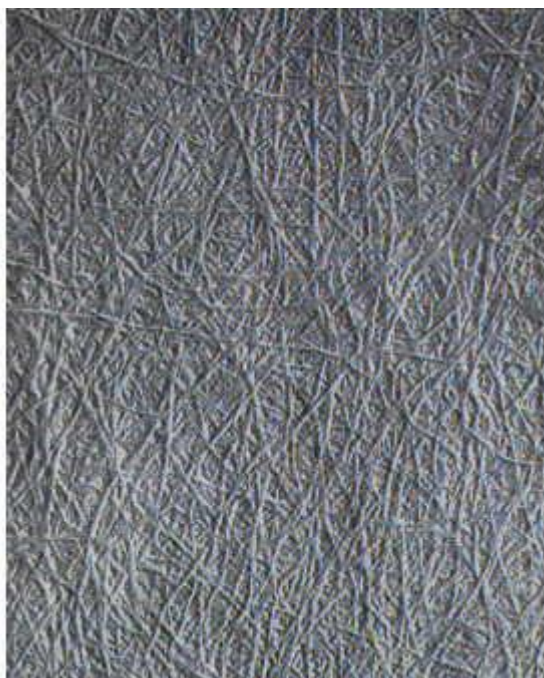
Helikalne odebelitve so tako sestavni del S3. Domnevno nimajo zaznavnega vpliva na fizikalne in mehanske lastnosti celične stene. Helikalne odebelitve v traheidah iglavcev so pomembne kot diagnostičen znak pri rodovih *Pseudotsuga* in *Taxus*. Helikalne odebelitve imajo tudi traheje listavcev nekaterih listavcev, npr. rodovi *Acer*, *Carpinus* in *Tilia*.

Pri nekaterih vrstah se na notranjem sloju sekundarne stene nahaja še **bradavičasti sloj (W)**. Najprej so ga odkrili v traheidah iglavcev, nato pa še v vlaknih, traheidah in trahejnih členih

listavcev. Premer bradavic je $0,05 - 0,5 \mu\text{m}$. Glavne sestavine bradavic so lignin in hemiceluloze. Bradavice naj bi nastale iz dodatnega stenskega materiala in ostankov citoplazme, ki se odloži na S3. Bradavičasti sloj sega tudi v pikenjsko votlino in ima znaten vpliv na difuzijo vode skozi celično steno.« (Čufar, 2002)

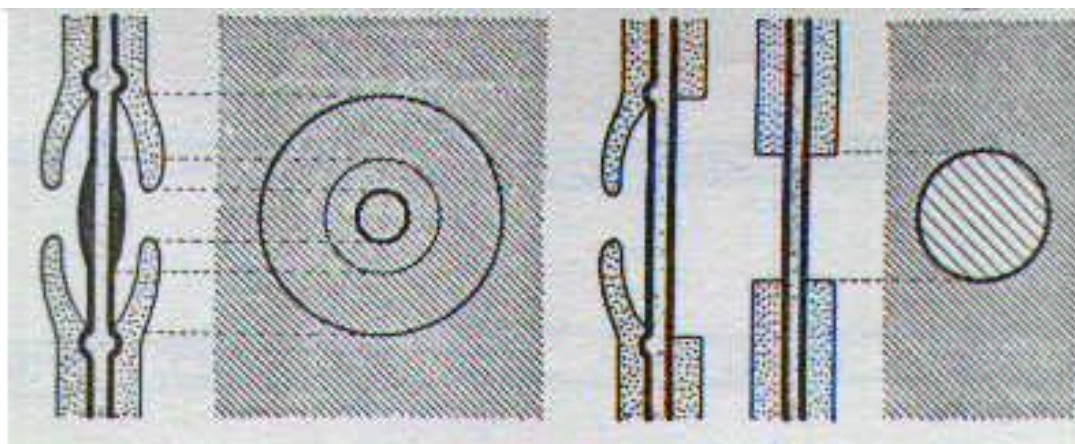
Torej celična stena je sestavljena iz več plasti ali membran, ki formirajo celico v obliki cevi z lumenom v sredini. Lumen je prostor v katerem se nahaja prosta voda.

Izgled primarne stene celice pa je prikazana na spodnji sliki (elektronski mikroskop; 32000 x povečava).

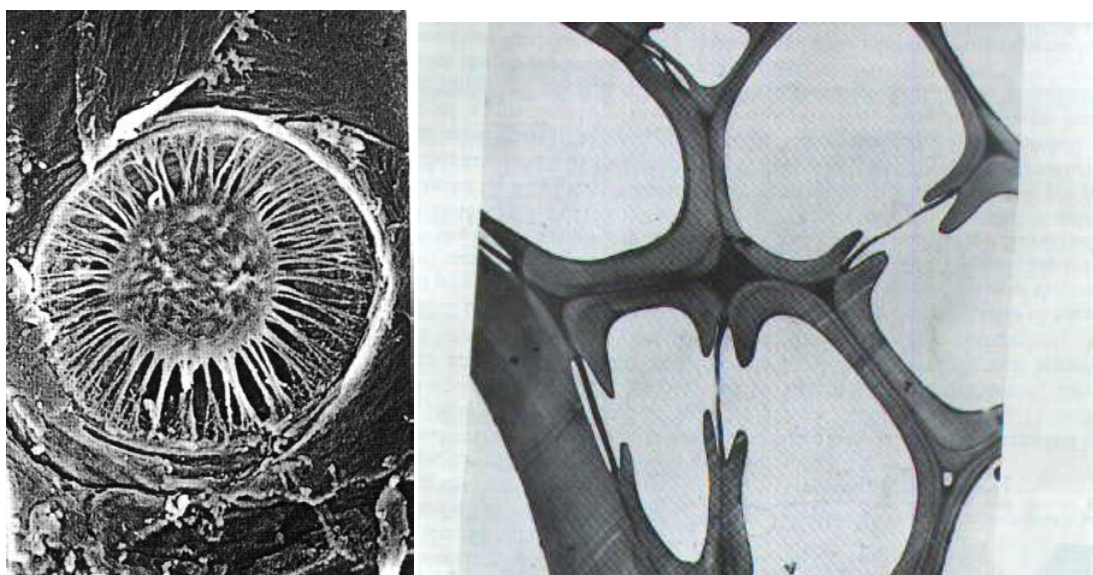


Slika 33: Primarna stena celične stene
Vir: PWT, Kollmann

Za sušenje lesa so izrednega pomena povezave med posameznimi celicami, ki omogočajo v obdobju žive celice gibanje vode v lese, v procesu sušenja pa prehod vode iz notranjosti na površino. Prosta ali kapilarna voda se giblje po lumnih celic, med celicami pa prehaja skozi pikenje. Pikenje služi svojemu namenu le če so v celični steni obeh celic, drugače govorimo o slepih piknjah. Pari pikenj so lahko enostavni, obokani ali polobokani sestavljeni iz enostavne in obokane pikenje. Enostavni pari so med parenhimskimi celicami, obokani med drugimi celicami polobokani pa med parenhimskimi in drugimi celicami. Pikenska membrana je sestavljena iz obeh primarnih plasti celice in srednje lamele, če je osrednji del odebeljen se imenuje torus.



Slika 34: Piknja obokana, polobokana in enostavna



Slika 35: Piknje med celičnimi stenami 3400x
Vir: PWT, Kollmann

Za normalno sušenje je pomembno, da je vlažnostni gradient tak, da dopušča prehajanje proste vode skozi piknje. Če z ostrino sušenja prekoračimo dovoljene meje pride do zaprtja ali aspiracije piknje, voda ostane ujeta v lumnih celic in onemogočen je normalni masni tok vode iz notranjosti na površino lesa.

3.3 GOSTOTA LESA

Gostota lesa je odvisna od drevesne vrste, znotraj iste drevesne vrste se razlikuje glede na rastiščne pogoje in anatomsko zgradbo. Gostota je masa lesa izražena v kg na volumen v m³. Gostota v absolutno suhem stanju pomeni, da je vlažnost 0% in je drugačna, kot pri določeni vlažnosti lesa, saj se do TNCS (točke nasičenja celičnih sten) volumen spreminja, nad TNCS pa gostota raste še hitreje.

Nominalna gostota je razmerje med maso v absolutno suhem stanju in max. volumnom, ki je pri katerikoli vlažnosti nad TNCS.

Preglednica 2: Gostota lesa v absolutno suhem stanju

Vrsta lesa	minimalna	Gostota [kg/m ³] povprečna
Listavci		
Brest	440	640
Breza	460	610
Bukev	490	680
Gaber	500	790
Hrast dob	390	620
Hrast graden	460	660
Jesen	410	650
Javor	480	590
Jelša	450	510
Kostanj	460	510
Lipa	320	490
Oreh		640
Topol	370	410
Iglavci		
Smreka	300	430
Jelka	320	410
Bor	300	490
Macesen	400	550
Duglazija	420	560
Tropski lesovi		
Balsa	50	130
Ebenovina	1100	1150
Evkalipt	720	850
Gvajak	950	1220
Hikori	660	760
Mahagonij	410	550
Palisander		850
Tik	440	630

Vir:Novak, 2001, str. 24

»Gostota se spreminja tudi v nihajočih klimatskih razmerah, ko se zaradi higroskopnosti lesa spreminja tudi njegova vlažnost. Poleg vlažnosti na gostoto lesa vplivajo še zgradba lesa

(denimo širina branike, delež kasnega lesa, delež različnih anatomskih tkiv), vrsta in količina ekstraktivov ter kemična zgradba. Znano je, da imajo iglavci z ožjimi branikami večjo gostoto, venčasto porozni listavci pa manjšo (Slika F). »(Gorišek, 2006 b)

»Pomembno je poudariti tudi velike gostotne razlike v isti braniki (letnem prirastnem plašču), posebno pri iglavcih, pri katerih je razmerje gostot od 1:2,3 pri jelovini do 1:4 pri borovini, in pri venčasto poroznih listavcih, kjer je to razmerje približno 1:2,5. Pri raztreseno poroznih vrstah je razlika gostot precej manjša (na primer pri bukovini 1:1,5). Zaradi razlik v gostoti je tudi krčenje ranega in kasnega lesa različno, kar povzroča nastajanje strižnih napetosti in ob prekoračitvi trdnosti tudi razslojevanje, najpogosteje na meji med ranim in kasnim lesom.« (Gorišek, 2006 b)

»Gostota lesa vpliva tudi na količino vode, ki jo vsebuje svež les, in na količino vode, ki jo moramo izločiti med sušilnim postopkom. Zato težavno sušenje gostejših lesov ni samo posledica slabše prevodnosti in difuzivnosti, ampak tudi večjih količin izločene vode kljub enaki spremembi lesne vlažnosti.« (Gorišek, 2006 b)

Preglednica 3: Razvrstitev nekaj lesnih vrst po gostotnih razredih

OCENA	Gostota ρ_0 (kg/m ³)	Lesna vrsta
Izjemno in zelo nizka	< 200 200-300	balza, zeleni bor
Nizka	300-450	smreka, jelka, bor, topol, trepetlika, jelša
Srednja	450-600	macesen, kostanj, lipa, češnja
Srednje visoka	600-700	javor, breza, bukev, hrast, jesen, oreh, tik
Visoka in zelo visoka	700-800 800-1000	robinija, gaber, bangossi, palisander, evkalipt

Vir: Gorišek, 2006 b

Preglednica 4: Uporabnost lesnih vrst po gostotnih razredih

OCENA	Gostota ρ_0 (kg/m ³)	NAMEN UPORABE
Izjemno in zelo nizka	< 200 200-300	izolacijske plošče, celuloza in papir, luščen furnir, lažji okvirji
Nizka	300-450	celuloza in papir, iverne plošče, rezan in luščen furnir, pohištvo in drugi izdelki
Srednja	450-600	celuloza in papir, iverne plošče, rezan in luščen furnir, vezan les, notranje in zunanje obloge, stavbno pohištvo, talne obloge, pohištvo
Srednje visoka	600-700	gradbeništvo, drogovi, piloti, železniški pragovi, ročaji orodij, podi (kjer se zahteva velik obrabni odpor), pohištvo (pogojno), struženi izdelki
Visoka in zelo visoka	700-800	

Vir: Gorišek, 2006 b

3.4 VODA V LESU

Vodo v lesu delimo na prosto, vezano vodo in vodne pare. Pri sveže posekanem drevesu je vsebnost proste vode največja, to je voda, ki se nahaja v celičnih lumnih. Vezana ali higroskopna voda je voda v celičnih stenah, ki se nahaja v interkristalinih prostorih. Vodne pare so v praznih prostorih lumnov celice, njihova količina pa je zanemarljiva.

Največja vlažnost drevesa je na periferiji, v aktivnem ali živem delu drevesa in upada proti sredini ali strženu, vendar ni nikoli nižja od TNCS. TNCS je za vsako drevesno vrsto različna, saj je odvisna od anatomske zgradbe, je pa vedno takrat, ko so lumni izpraznjeni, kar pomeni, da je odstranjena prosta ali kapilarna voda. TNCS se običajno giblje med 22% in 35% vlage v lesu.

Vlažnost lesa je razmerje med maso vode v lesu in maso absolutno suhega lesa.

$$u = (m_{H_2O} / m_0) \times 100\%$$

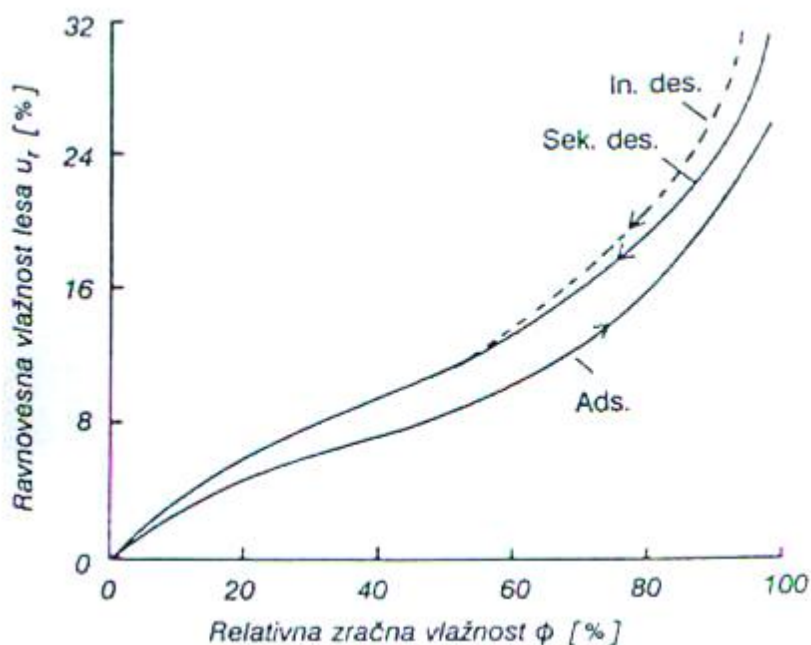
Razlike v vlažnosti med beljavo in jedrovino so lahko zelo velike, kar je značilno za iglavce, pri listavcih pa je manj izrazita.

Preglednica 5: Masa vode v lesu in vlažnost svežega lesa

Drevesna vrsta	Kategorija	Gostota svež. lesa	Gostota abs. suhega lesa	Vsebnost vode	
		kg/m ³	kg/m ³	masa kg/m ³	vlažnost %
IGLAVCI					
Bor	beljava	980	420	560	133
	jedrovina	550		130	31
Smreka	beljava	960	390	570	146
	jedrovina	520		130	33
Jelka	beljava	980	370	610	165
	jedrovina	510		140	38
Macesen	beljava	940	470	470	100
	jedrovina	610		140	30
LISTAVCI					
Bukev		1060	560	500	89
Hrast		1000	570	430	75
Breza		950	510	440	86
Jelša		930	430	500	116
Jesen		860	570	290	51
Javor		970	540	430	80
Kostanj		1060	450	610	135
Brest		1120	460	660	143

3.5 HIGROSKOPIČNOST LESA

Če se vlažnost lesa nahaja pod TNCS, lahko sprejema ali oddaja vodo, kar pomeni, da je higroskopičen. Proces sušenja se imenuje desorpcija, proces navlaževanja pa adsorpcija. Les se suši ali vlaži, glede na zunanje pogoje, ki jih definira relativna zračna vlaga, les pa z desorpcijo ali adsorpcijo teži k higroskopskem ravnovesju oziroma ravnovesni vlažnosti lesa. Ravnovesna vlažnost lesa je v procesu desorpcije vedno višje od ravnovesne vlažnosti lesa v procesu adsorpcije, zato dobimo histerezo.



Slika 36: Sorpcijska histereza lesa
Vir:sus.les,skup.a.,1994

»Za les je značilno, da so sorpcijske izoterme sigmoidne oblike in sestavljajo histerezo zanko. Za ugotavljanje ravnovesne vlažnosti posameznih materialov v odvisnosti od temperature in relativne zračne vlažnosti okolja uporabljamo nomogram, ki sicer velja za smrekovino, vendar je v praksi z zadovoljivo natančnostjo namenjen tudi za druge srednje goste lesne vrste. Pri natančnejših določitvah ravnovesnih vlažnosti lesa moramo poleg temperature in relativne zračne vlažnosti še sorpcijsko zgodovino, sorpcijsko histerezo, gostoto lesa, kemične lastnosti (ekstraktivi), vpliv morebitnih predhodnih hidrotermičnih postopkov in napetostna stanja.« (Gorišek, 2002, str. 33)

3.6 RAVNOVESNA VLAŽNOST LESA

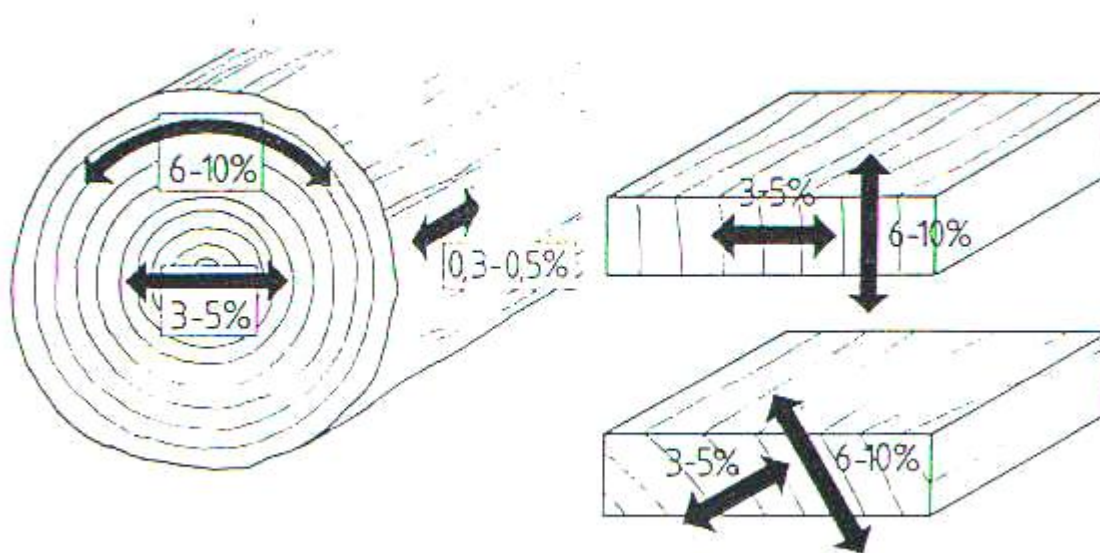
Les sušimo z namenom, da ga bomo predelali in vgradili v doličen izdelek, ki bo izpostavljen določenim pogojem. Izdelek se običajno nahaja pri neki povprečni temperaturi in relativni zračni vlagi, kateri pa odgovarja določena ravnovesna vlaga lesa. Naloga sušenja je ta, da se les posuši na ravnovesno vlago, ki jo zahteva izdelek, saj z tem zagotovimo dimenzijsko stabilnost izdelka in kvaliteto.

Ravnovesno vlago odčitamo iz nomograma ali tabel, ki so v prejšnjih poglavjih.

3.7 KRČENJE IN NABREKANJE LESA

Krčenje in nabrekanje lesa je posledica sušenja ali vpijanja vode v celične stene.

Glede na anatomsko zgradbo lesa je krčenje različno v longitudinalni, radialni in tangencialni smeri, ter je v grobem 1 : 10 : 20.



Slika 37: Krčenje v glavnih anatomskih smereh
Vir: sus.les, skup.a., 1994

Preglednica 6: Tabela gostote lesa r_0 , r_{15} in krčenje

KRČENJE OD 30% DO 0% VLAŽNOSTI LESA						
Vrsta lesa	Gostota Absolutno suhega lesa r_0	Gostota pri Vlažnosti lesa 15%	Krčenje vzdolžno β_l	Krčenje Radialno β_r	Krčenje Tangencialno β_t	Krčenje volumsko β_v
	kg/m ³	kg/m ³	%	%	%	%
LISTAVCI						
Brest	640	680	0,3	4,6	8,3	13,8
Breza	610	650	0,6	5,3	7,8	14,2
Bukev	680	720	0,3	5,8	11,8	17,5
Gaber	790	830	0,5	6,8	11,5	19,7
Hrast	660	700	0,4	4,9	9,4	14,1
Javor	550	600	0,5	3,0	8,0	11,8
Jelša	510	550	0,4	4,3	9,3	13,6
Jesen	650	690	0,2	5,0	8,0	13,6
Kostanj	530	570	0,6	4,3	6,4	11,6
Lipa	490	530	0,3	5,5	9,1	14,4
Oreh	640	680	0,5	5,4	7,5	13,9
Topol	420	460	0,3	5,2	8,3	14,3
Vrba	520	560	0,5	3,9	6,8	11,5
IGLAVCI						
Bor	490	520	0,4	4,0	7,7	12,4
Jelka	410	450	0,1	3,8	7,6	11,7
Macesen	550	590	0,3	3,3	7,8	11,8
Smreka	430	470	0,3	3,6	7,4	12,0
TROPSKI						
Abahi	350	400	—	2,2	4,5	9,5
Avodire	510	550	—	1,9	6,5	11,6
Balsa	140	170	0,6	3,0	3,7	7,3
Gvajak	1230	1250	0,1	5,6	9,3	15,0
Limba	510	580	0,3	3,5	6,3	10,5
Mahagoni	550	600	0,3	3,2	5,1	8,4
Okume	420	460	0,2	4,1	6,6	10,9
Tik	630	690	0,6	2,9	5,2	9,4

Vir: suš. les, MG, NM, VV, 1985

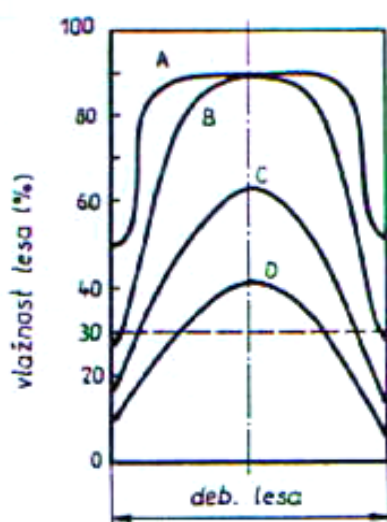
3.8 GIBANJE VODE V LESU

Voda se v lesu giblje iz mesta višje vlažnosti, proti mestu z nižjo vlažnostjo. Sušenje je proces, ki vzpostavi take pogoje, da se vrši izhlapevanje iz površine lesa, kar pomeni, da je nižja vlažnost lesa v zunanjih plasteh, višja pa v notranjosti lesa. Gibanje vode skozi strukturo lesa poteka kot masni tok proste ali kapilarne vode, seveda pri pravilni ostrini sušenja in kot difuzijski transport vezane vode v celičnih stenah in difuzije par v celičnih lumnih.

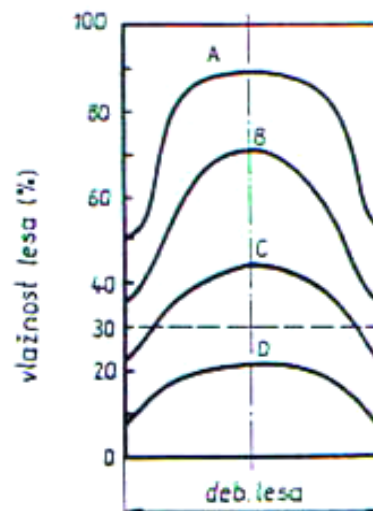
3.9 PREVODNOST LESA

Les je heterokapilaren sistem, ki ga tvorijo celični lumni in odprtine v pikenjski membrani. Prevodnost ali permeabilnost lesa za masni tok fluida je povezana z poroznostjo in povezavami med celičnimi lumni, zato je pomembno število in velikost odprtin v pikenjski membrani. Prevodnost ali permeabilnost lesa je tista, ki določa vlažnostni gradient in hitrost sušenja. Pri dobropermeabilnih drevesnih vrstah je tako sušenje hitrejše in obratno pri slabopermeabilnih.

a) Manj prehodan (manj permeabilen) les



b) Prehodan (permeabilen) les



A — razpored vlage lesa po debelini v začetku sušenja

B, C, D — razpored vlage po debelini pri napredovanju sušenja

Slika 38: Vlažnost lesa po debelini

Vir:suš.les,MG,NM,VV,1985

3.10 VLAŽNOSTNI GRADIENT IN SUŠILNA OSTRINA

Vlažnostni gradient je razlika med vlažnostjo zunanjih plasti in notranje srednje plasti, oziroma razlika med najvišjo in najnižjo vlažnostjo v kosu lesa, na katero ima velik vpliv debelina sušечеlega lesa.

Ostrina sušenja je razmerje med povprečno trenutno vlažnostjo lesa in ravnovesno vlažnostjo lesa, ki jo definira določena klima.

$$o = u / u_r$$

Ostrina sušenja je 1 pri enaki dejanski vlažnosti lesa in ravnovesni vlažnosti lesa, kar pomeni, da se les ne suši. Sušenje se začne pri ostrini sušenja, ki je večja od ena. Ostrina sušenja je optimalna takrat, ko določeno drevesno vrsto posušimo brez napak v določenem času.

POVZETEK IN RAZMISLEK OB POGLAVJU 3

V tem poglavju smo spoznali zapletenost zgradbe lesa in njegovo različnost. Osnove anatomske zgradbe nam dajo odgovor na zastavljena vprašanja v uvodu poglavja. Ni dovolj, da poznamo samo pogoje v katerih se les suši, predvsem je hitrost sušenja in kvaliteta posušenega lesa odvisna od poznavanja lesa, njegove anatomske zgradbe in posebnosti, ki izhajajo iz te heterogene zgradbe, drevesne vrste in gostote, ter vsebnosti vode. Pomembne so tudi dimenzijske spremembe, ki nastanejo pri sušenju lesa v območju pod točko nasičenja celičnih sten.

Razmislek:

Analiziraj vpliv anatomske zgradbe lesa na hitrost sušenja?

Poišči korelacijo med anatomsko zgradbo lesa, gostoto lesa in vsebnostjo vode v lesu pri sušenju!

Poveži parametre iz drugega poglavja z znanjem iz tretjega poglavja!

UVOD V POGLAVJE 4

V procesu sušenja gre za odzemanje vode iz lesa in če želimo proces nadzorovati in pravilno voditi, moramo vedeti koliko vode je v lesu. Pomembno je ugotoviti tako začetno vlažnost lesa, kot trenutno vlažnost lesa, ki se v procesu sušenja spreminja, zato uporabljamo različne metode.

Vprašajmo se kako bi izvedeli koliko vode je v lesu in kako bi spremljali spremembe?

Z odgovorom na to vprašanje morda odkrijemo kakšno novo metodo??

Najpogostejše uporabljene metode za določanje vlažnosti lesa so opisane v tem poglavju.

4 DOLOČANJE VLAŽNOSTI V LESU

Določanje vlažnosti v lesu je eden od relevantnih podatkov, tako pred sušenjem, kakor v procesu sušenja in procesu obdelave lesa. Vlažnost lesa je pomembna za njegovo uporabo in kvaliteto izdelka.

Vlažnost v lesu določamo:

- gravimetrično ali z tehtanjem
- z električnim merjenjem, ki pa temeljijo na različnih principih

V procesu sušenja moramo stalno zasledovati gibanje vlažnosti v lesu in prilagajati podatkom ostrino oziroma režim sušenja, kajti vlažnost lesa definira položaj procesa sušenja in določanje nadaljnjih korakov, bodisi ročnega ali elektronskega krmilja procesa sušenja.

4.1 METODA TEHTANJA

Metoda tehtanja je ene izmed najnatančnejših metod določevanja vlažnosti v lesu v kolikor je v procesu sušenja izločena le voda (lesovi, ki vsebujejo tudi druge hlapne snovi, predvsem smole, se pri tej metodi rezultat nekoliko popači).

Pomankljivost te metode je dolgotrajen postopek, ki traja več ur pri $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ sušenja do absolutne suhosti, oziroma do konstantne mase. Trajanje je odvisno od začetne vlažnosti lesa in bolj je les vlažen, dlje traja. Vzorec med sušenjem večkrat tehtamo, dokler se masa ne spreminja več, kar pomeni, da je vzorec posušen do najnižje možne suhosti lesa.

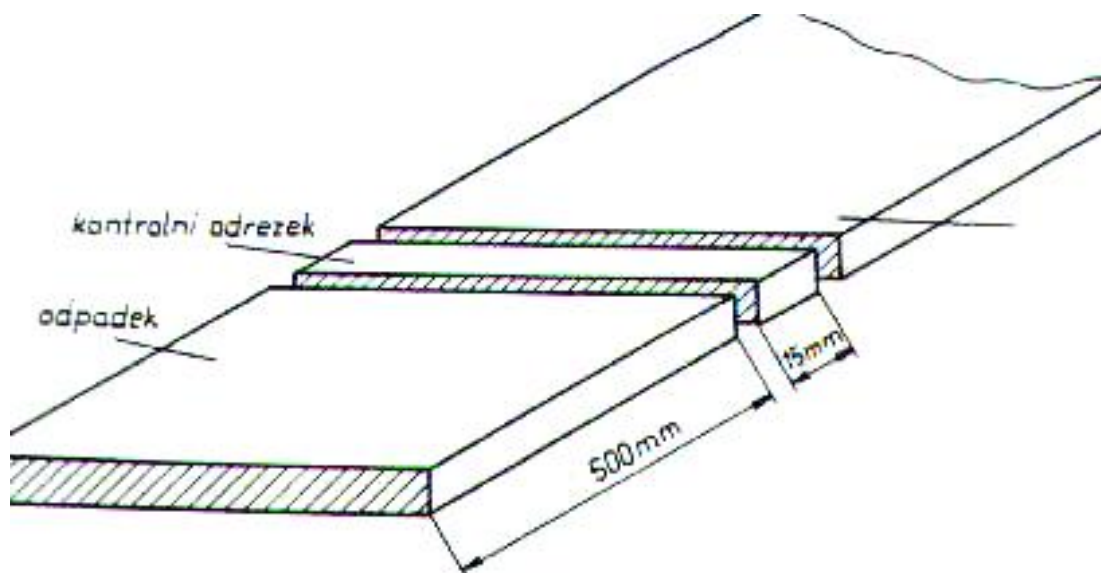
Vlažnost lesa izračunamo po naslednji formuli:

$$u = ((m_v - m_o) / m_o) \cdot 100 = (m_{\text{vode}} / m_o) \cdot 100$$

u	vlažnost lesa	[%]
m _v	masa vlažnega vzorca	[kg]
m _o	masa suhega vzorca abs.	[kg]
m _{vode}	masa vode	[kg]

Za zanesljivost izračuna, moramo hitro tehtati, da ne pride do sprememb v vsebnosti vode v vzorcih, vzorce pa moramo predtem zaščititi pred zunanjimi vplivi, tako, da jih zavijemo v folijo, kar se običajno uporablja v praksi.

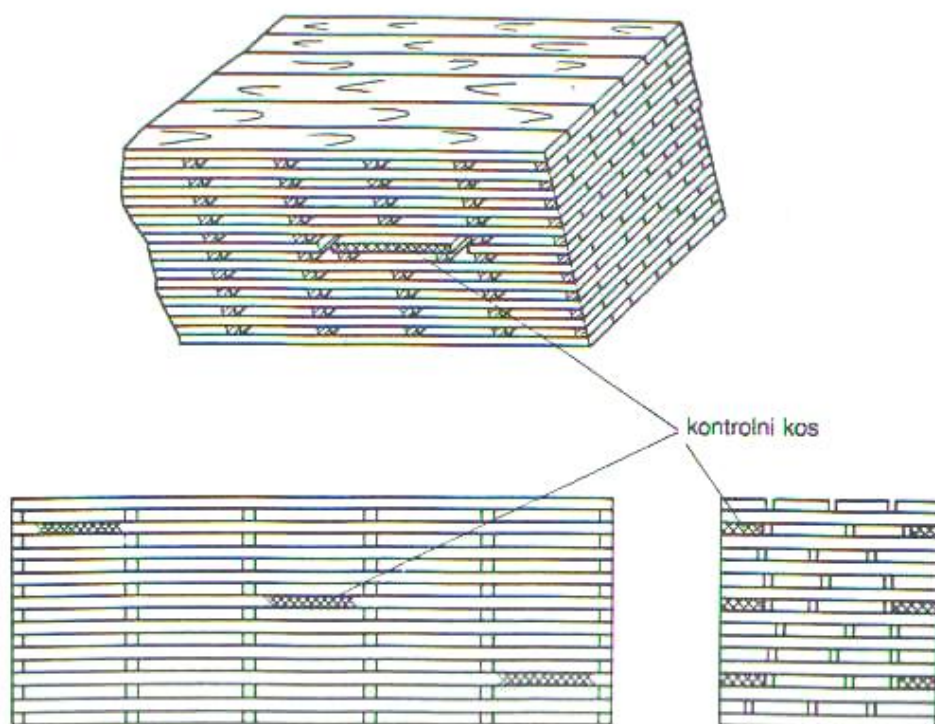
Za določanje povprečne vlažnosti lesa izberemo iz količine lesa, ki ga nameravamo sušiti, več desk iz katerih izrežemo kontrolne odrezke, ki naj ne bodo debelejši od 4 cm in so primerno oddaljeni od čela, tako, da je vsebnost vode v lesu prava in je realen podatek.



Slika 39: Kontrolni odrezek
Vir:MG,NM,VV, suš.lesa 1985

Kontrolni odrezki služijo torej za ugotavljanje povprečne začetne vlažnosti, na osnovi katere zastavimo začetne sušilne parametre. Ker les v procesu sušenja izgublja vodo, mu vlažnost pada, to pa sledimo z kontrolnimi kosi, ki jih izberemo iz zložaja, tako, da so enakomerno razporejeni po zložaju in predstavljajo povprečno vlažnost lesa v zložaju.

Če je odstopanje v vlžnosti lesa med posameznimi kontrolnimi kosi veliko, moramo preveriti delovanje sušilnice.



Slika 40: Izbira kontrolnih kosov
Vir:MG,NM,VV,suš.lesa 1985

Kontrolne kose med procesom sušenja tehtamo, tako, da jih vzamemo iz sušilnice, po tehtanju pa jih vrnemo na njihovo mesto, zato morajo biti oštevilčeni.

Vlažnost lesa lahko izračunamo, če smo iz kontrolnih odrezkov ugotovili začetno vlažnost lesa in maso kontrolnega kosa pred sušenjem ter trenutna maso kontrolnega kosa.

$$u_x = (M_x / M_z) \times (100 + u_z) - 100$$

u_x trenutna vlažnost lesa [%]

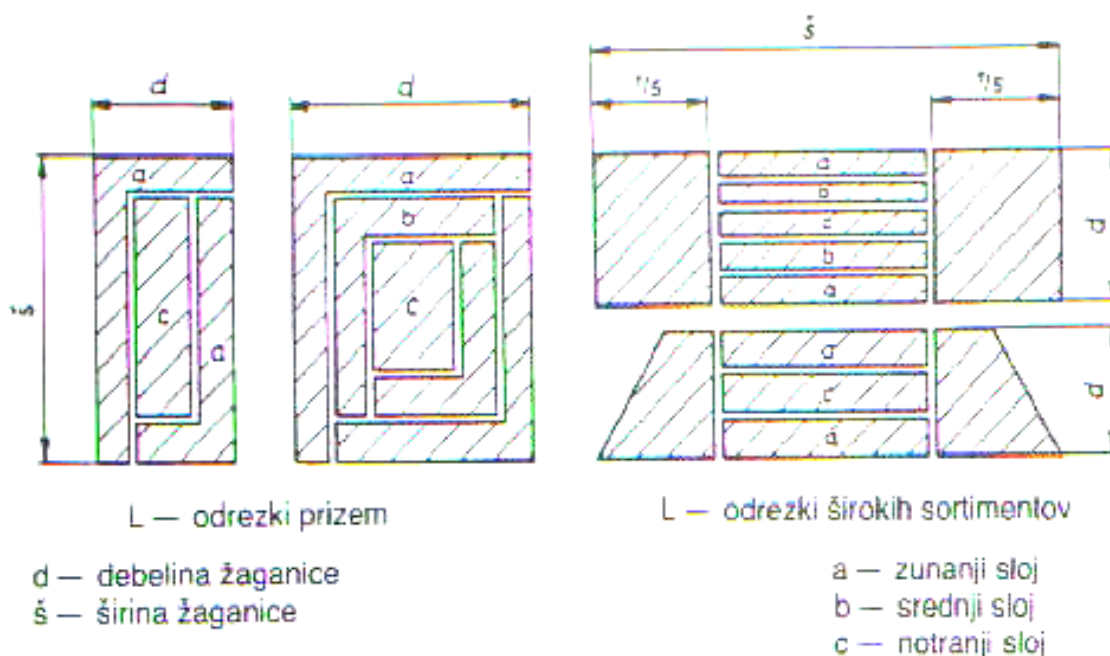
M_x trenutna masa kontrolnega kosa [kg]

M_z začetna masa kontrolnega kosa [kg]

u_z začetna vlažnost lesa [%]

Kontrolne kose uporabljamo pri ročnem in delno avtomatskem sušenju lesa na podlagi katerih predpisujemo režim sušenja, lahko pa jih uporabljamo tudi pri popolnoma avtomatiziranem procesu sušenja, za kontrolo. Kontrolne kose tehtamo vsaj enkrat dnevno.

Če želimo slediti vlažnost lesa po debelini deske, pa odrezeke razžagamo tako, da lahko po enakem načinu kot prej ugotavljamo vlažnost posameznih plasti. Prav tako je ta način primeren za ugotavljanje razlik v vlažnosti na koncu procesa sušenja, saj razlika v vlažnosti naj nebi presegala 2%/ cm.



Slika 41: Ugotavljanje vlažnosti po debelini
Vir:MG,NM,VV,suš.lesa 1985

4.2 NAPRAVE ZA ELEKTRIČNO MERJENJE VLAŽNOSTI LESA

Električno merjenje vlažnosti lesa je najpogostejši način, saj nam daje rezultat takoj in ni destruktiven. V praksi se uporabljata predvsem dva načina:

-uporovno merjenje vlažnosti lesa

-dielektrično ali kapacitivno merjenje vlažnosti lesa

Uporovno merjenje vlažnosti temelji na tem, da logaritem specifične upornosti lesa v določenem področju pada približno linearno z naraščanjem vlažnosti lesa. Uporaba uporovnega merilnika vlažnosti lesa je zato uporabna in zanesljiva v območju od 7% do 25% vlažnosti lesa oziroma do TNCS. Uporablja se ploščate elektrode za merjenje vlažnosti furnirjev in igelne elektrode, ki morajo biti zaščitene z izolativnim materialom, v les pa jih zabijemo od $1/4$ do $1/3$ globoko, kajti na tem mestu je približno povprečna vlažnost po debelini lesa in približno odgovarja vlažnosti lesa dobljeni z gravimetrično metodo.

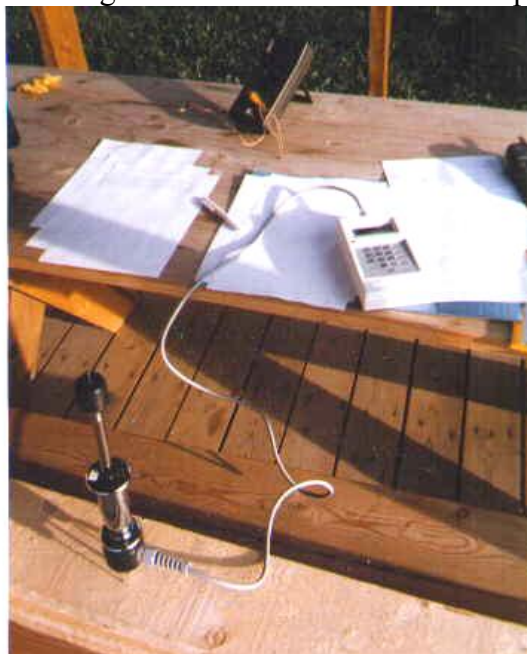
Na natančnost meritve z uporovnim vlagomerjem vpliva še:

-gostota, ki je obratnosorazmerna z električno upornostjo

-temperatura vpliva približno 0,15% vlažnosti lesa pri spremembi za 1°C

-vrsta lesa, anatomska zgradba in smer vlaken pri merjenju

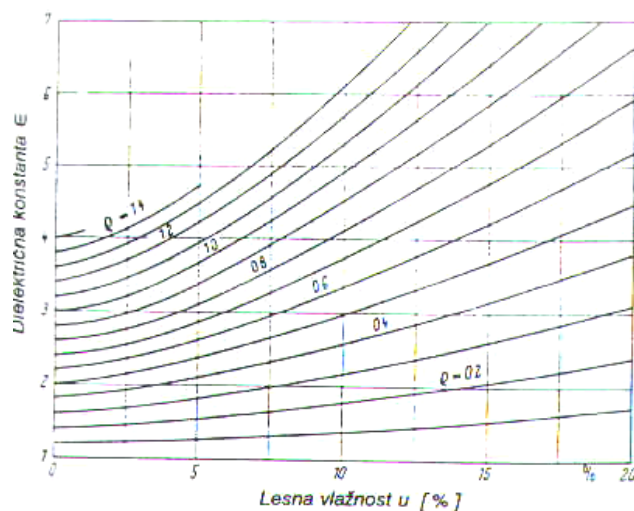
Pri večji količini lesa izmerimo vlago na več mestih in izračunamo povprečno vlažnost lesa.



Slika 42: Uporovni merilnik vlažnosti lesa

Kapacitivnostni merilniki merijo dielektrično konstanto lesa, ki narašča z vlažnostjo, gostoto in temperaturo. Delujejo z izmenično napetostjo visoke frekvence preko dveh ali več kontaktnih sond, ki morajo dobro prilegati na površino, drugače je meritev napačna.

Dielektrični merilnik meri v globino zato je podatek povprečna vlažnost lesa in se uporablja v območju, kot uporovni vlagomer. Predvsem je uporaben pri merjenju vlažnosti lesa izdelkov, ki so površinsko že obdelani, saj ga jih ne poškoduje. Ker na meritev vpliva tudi smer lesnih vlaken jih izločimo z večjim številom sond.



Slika 43: Dielektrična konstanta, odvisna od gostote lesa pri različni vlažnosti in ročni merilnik

Vir: (skup.avt., suš.lesa, 1994), (www.ndtjames.com/.../aquameter.html)

POVZETEK IN RAZMISLEK OB POGLAVJU 4

Najpogostejši metodi za določanje vlažnosti lesa sta gravimetrična metoda ali metoda tehtanja in metoda z električnimi merilniki vlažnosti lesa, ki delujejo na različnih principih. Metoda tehtanja je dolgotrajna, vendar izredno natančna, kar pa je izrednega pomena za vodenje kvalitetnega procesa sušenja. Električne metode so hitre, znesljive pa le v določenem področju vlažnosti lesa. Predvsem so primerne v produkcijskem okolju, kjer je les že posušen in se izvaja le kontrola in spremembe glede na klimo.

Razmislek:

Katero metodo določanja vode v lesu bi uporabili, če želite natančno ugotoviti začetno vlažnost lesa in zakaj?

Analizirajte uporabnost posamezne metode določanja vlažnosti lesa in v katerih konkretnih primerih bi jo uporabili?

UVOD V POGLAVJE 5

Z dobrim poznavanjem lastnosti zraka iz poglavja 2, lesa in njegove anatomske zgradbe, gostote, vsebnosti vode in njegove permeabilnosti iz poglavja 3 in natančnega določanja začetne in trenutne vlažnosti lesa iz poglavja 4, **se kaj takega, kar bomo izvedeli v poglavju 5, ne sme zgoditi.**

V realnih razmerah se napake dogajajo, zato bomo pregledali najpogostejše in analitirali vzroke za njihov nastanek.

Zakaj do napak pri sušenju pride?

Analiziraj možne vzroke za nastanek napak pri sušenju lesa, na podlagi dosedaj pridobljenega znanja!

5 NAPAKE PRI SUŠENJU LESA

Les je heterogen material, zato se v procesu sušenja pojavljajo različne notranje napetosti, katerih velikost je odvisna predvsem od ostrine sušenja v odvisnosti od anatomske zgradbe posamezne vrste lesa, rastnih pogojev in napetosti, ter neenakomerne porazdelitve vlažnosti v lesu. V procesu sušenja se pojavljajo še napake barvnih sprememb, plesni in gljiv.

Notranje napetosti lahko obravnavamo na različnih nivojih zgradbe lesa, tako na nivoju celične stene, kjer imajo svoj vpliv potek in različna orientacija mikrofibril, različne elastične lastnosti osnovnih komponent lesa, različnosti v prečnih prerezih celic.

Na nivoju branike razlike med ranim in kasnim lesom, različnimi celicami z različnimi reološkimi lastnostmi.

5.1 VRSTE NAPAK

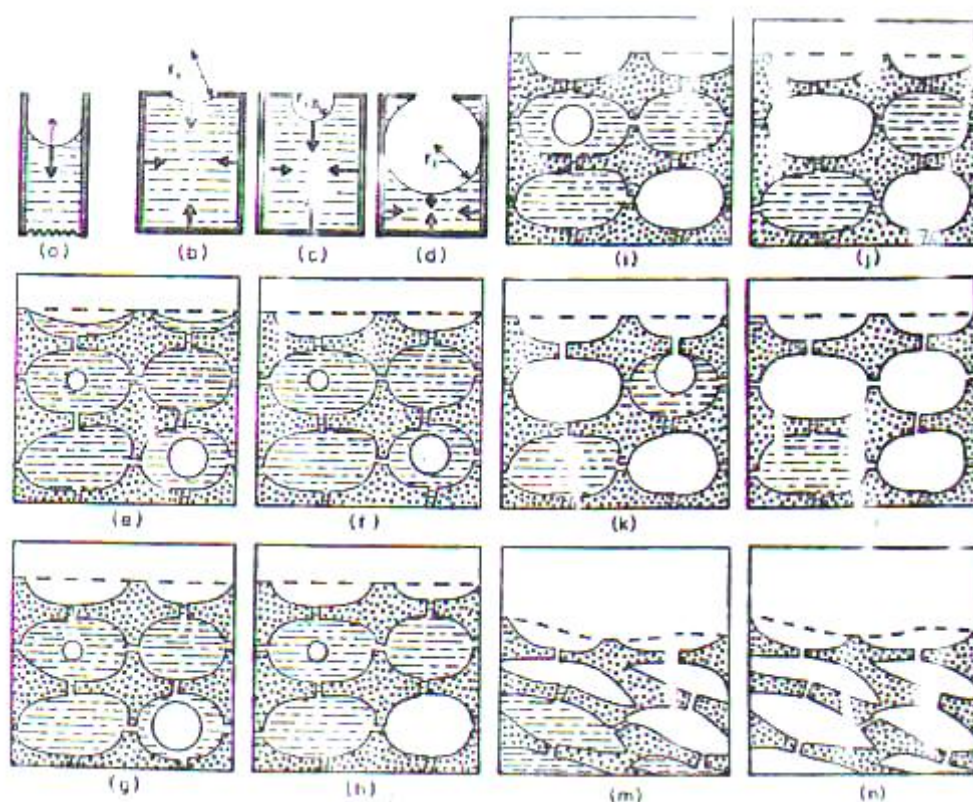
Vrste napak delimo na naravne, ki so že v svežem lesu in se vgradijo v les v kambijalni coni in napake, ki nastanejo v procesu higroskopskega krčenja ali sušenja.

Kot posledica sušenja lahko napake razdelimo na :

- kolaps, ki je značilen za vlažnost lesa, ko je v lumnih še prosta voda
- napake zaradi krčenja lesa, ko je vlažnost lesa pod TNCS (površinske in čelne razpoke, zaskoritev, notranje razpoke, zakrivljenost, koritavost, vitopirjenje, rombični prerez...)
- spremembe barve lesa
- napake zaradi gljiv

5.2 KOLAPS

Kolaps se zgodi, ko kapilarna tenzija prekorači tlačno trdnost in se lesno tkivo poruši ali kolabira. Kapilarna tenzija se močno poveča, ko se meniski umaknejo v odprtine pikenjske membrane in če les ne vsebuje zračnih mehurčkov, ki delujejo kot blažilniki, se kapilarna tenzija prenese na stene celic.



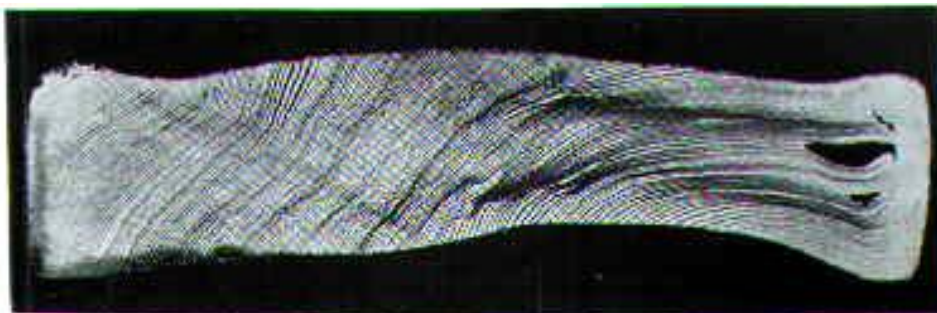
Slika 44: Izhlapovanje proste vode in kolaps

Vir: Skaar, C., wood-water, 1988

Kolaps je posledica prehitrega odstranjevanja proste ali kapilarne vode oziroma prevelike ostrine sušenja in previsoke temperature.

Zunanji izgled kolabiranega lesa je valovitost, ki je posledica sesedanja celičnih sten.

Napako je možno tudi nekoliko popraviti z rekondicioniranjem z nasičeno paro pri 100°C 4-8 ur, s tem se znotraj celic zviša tlak in proces obrne.



Slika 45: Kolaps
Vir: Kollmann, PWT, 1968

5.3 NAPAKE ZARADI NAPETOSTI

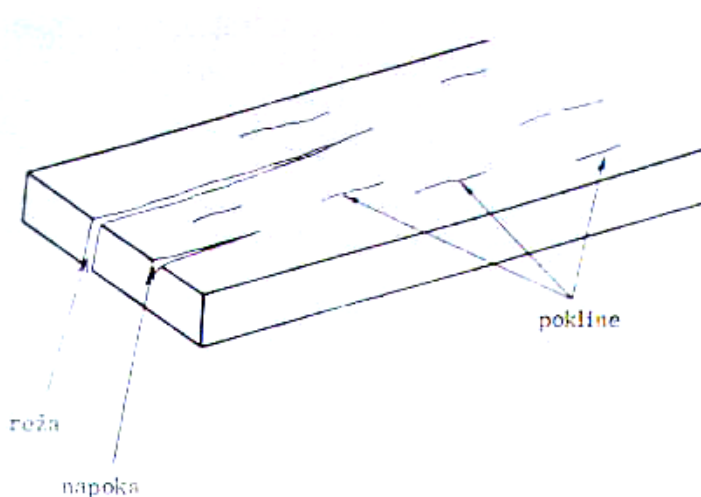
Prevelike napetosti vedno povzročijo napake, ki pa jih glede na vzrok delimo na:

Razpoke

Razpoke ločimo na zunanje in notranje razpoke.

Čelne razpoke spadajo med zunanje razpoke in so posledica hitrejšega kapilarnega in difuzijskega toka v longitudinalni smeri in so praviloma v radialni smeri.

Površinske razpoke pa so posledica prevelikih nateznih sil zunanjih plasti, ker notranjost lesa vsebuje več vode nedovolji krčenja površine in če so natezne sile površine večje od trdnosti lesa na površini, se pojavijo pokline.



Slika 46: Tipi zunanjih razpok
Vir: skup. Avt., suš. lesa, 1994

Zaskoritev nastane, če les še naprej sušimo z preveliko ostrino in postane zunanja plast plastična oziroma otrdi in se okoli notranje vlažne sredice naredi skorja. Ko se začne zaradi sušenja krčiti tudi notranjost lesa, ta skorje ne dopušča krčenja notranjosti in se natezne sile

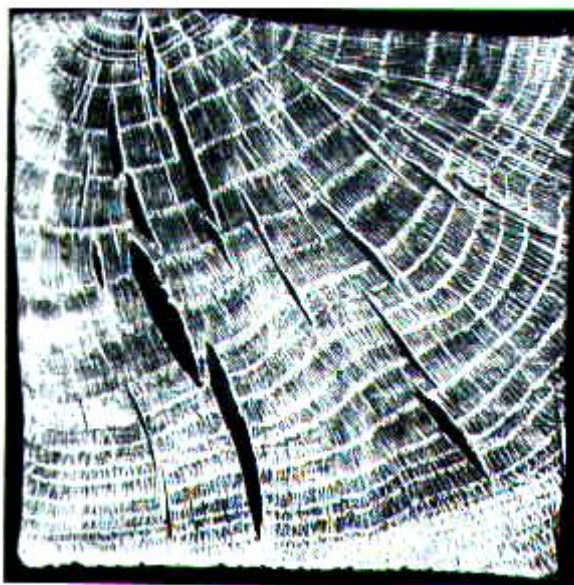
zunanje plasti počasi spremenijo v tlačne in zaprejo se zunanje razpoke, notranje plasti, pa so obremenjene na nateg.

Zaskorjen les se težko posuši do končne želene vlage in je praktično neuporaben, saj pri obdelavi poka in se krivi.

Reševanje problema se lotimo tako, da vspostavimo 100% relativno vlažnost in z tem zunanje plasti vlažimo in zmanjšujemo vlažnostni gradient .

Zaskoritev ugotavljamo z izdelavo vilic.

Notranje razpoke so posledica velikih notranjih nateznih sil, ki povzročijo, da vezivo med celicami popusti in nastane notranja razpoka, ki je običajno v smeri strženovih trakov, kjer se celice združujejo pravokotno. Tovrstne razpoke so posledica hitrega sušenja na začetku in nastajajo proti koncu sušenja.

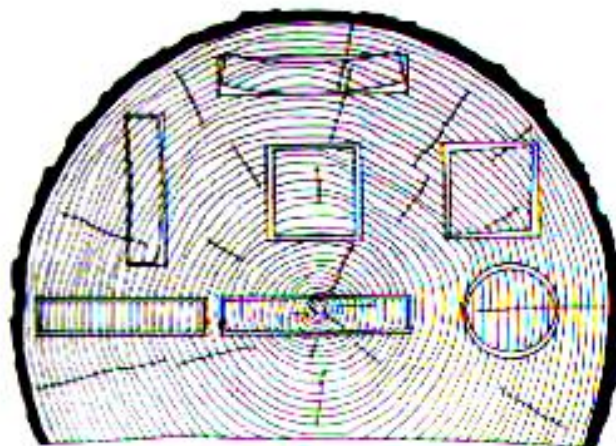


Slika 47: Notranje razpoke
Vir: Kollmann, PWT, 1968

Veženje ali preoblikovanje je posledica notranjih ali rastnih napetosti, krčitvena anizotropija, reakcijski les, devijacija aksialnih elementov, juvenilni les in neenakomerno sušenje (skup.avt., suš lesa, 1994).

Vitopirjenje, koritavost in rombični presek so posledica predvsem krčitvene anizotropije.

Periferni del debla je obremenjen na nateg, osrednji del pa na tlak z razžagovanjem se deske zakrivijo, sušenje pa ta efekt še poveča. Veženje pa povzroča tudi reakcijski les, ki je kompresijski pri iglavcih in tenziski pri listavcih ter ima nenormalne skrčke.



Slika 48: Krčitvene anizotropije
Vir: Kollmann, PWT, 1968

5.4 SPREMEMBE BARVE LESA

Spremembe barve lesa so posledica nepravilnega skladiščenja lesa pred in po sušenju, prepočasnega sušenja pri nižjih temperaturah, visoke relativne zračne vlage in nezadostnega kroženja zraka. Obarvanje povzročajo plesni in gljive, pri čemer prevladujejo gljive modrivke, ki so sive, modre ali črne barve in se pojavljajo v različnih oblikah, peg, pasov in madežev. Plesni se razvijejo pri nižjih temperaturah, obarvanje pa je posledica obarvanih spor. Tem spremembam barve rečemo biotska obarvanja in jih je možno odpraviti z nekajdnevno izpostavljenostjo lesa višjim temperaturam od 49-54°C.

Abiotske spremembe barve pa so :

Kondenzacijske lise, ki nastanejo na površini lesa zaradi kondenzacije vodne pare ali kaplajoče vode.

Čreslovinsko obarvanje, katerega vzrok je v oksidaciji akcesornih snovi, ki je značilno pri vlažnosti nad TNCS in zvišani temperaturi.

Črnilasti madeži so črno- modre barve in so značilni za lesove, ki vsebujejo tanine. Madeži nastanejo zaradi reakcije vlažnega lesa z železom.

Letvična progavost je posledica stika distančnih letev in je siva, modra ali rjava obarvana.

Sprememba barve zaradi temperature:

Sveži hrast spremeni barvo pri temperaturi višji od 40°C, nad 60°C spremenijo barvo javor-rdečkast, breza-siva lisasta, bukev-rdečkasta, jelša-rjava, lipa lisasta, oreh-rjav.

Iglavci spremenijo barvo pri temperaturah, ki so višje od 90°C.



Slika 49: Popolnoma uničen les zaradi gliv
Vir: Kollmann, PWT, 1968

POVZETEK IN RAZMISLEK OB POGLAVJU 5

Napake v procesu sušenja lesa se pojavijo kot posledica prevelikih napetosti v lesu, katere presežejo trdnostne lastnosti lesa in so različne glede na drevesno vrsto, predvsem pa so posledica prevelike ostrine sušenja. Napake so tudi biološke spremembe, s pojavom obarvanosti, plesni in napadom gljiv, kar pa pomeni ustvarjanje pogojev v katerih se te napake pojavijo.

Razmislek:

Analiziraj vzroke za nastanek napak v procesu sušenja!

Kaj vse moramo upoštevati, če se želimo izogniti nastanku napak v procesu sušenja?

Razmisli, kako napake v procesu sušenja vplivajo na kvaliteto izdelka in našo konkurenčnost na globalnem trgu!

UVOD V POGLAVJE 6

Sušenje na prostem je povezan z naravnimi danostmi, ki so značilne za določeno mikrolokacijo. Ta način sušenja je okoljsko in energetsko prijazen, je pa dolgotrajen.

V današnjem svetu je doseganje končne vlažnosti lesa pri sušenju na prostem nekoliko previsoka, glede na uporabljene tehnologije ogrevanja ali klimatizacijo prostorov v katerih se namestijo izdelki iz lesa. Produkcija izdelkov iz lesa je vse večja in zagotavljanje ustreznih količin lesa je zaradi dolgotrajnosti postopka problem. Veljalo bi razmisliti o kombiniranem načinu sušenja.

Zakaj bi les sušili na prostem, če je tehnično sušenje hitrejše?

Pri odgovoru poskusite upoštevati okoljske vidike, energijo z konkurenčnostjo in vezan kapital v zaloge lesa. Če menite, da je pomemben še kateri drugi vidik ga dodajte in podkrepite z argumenti.

6 SUŠENJE NA PROSTEM

Sušenje na prostem je najstarejši in naraven način sušenja lesa. Les se začne sušiti takoj, ko ga posekamo. Les je izpostavljen naravnim pogojem, ki jih definira temperatura, relativna zračna vlaga in veter ali klimatskim pogojem, ki so značilni za določeno področje, kjer les sušimo.

Tudi naravni pogoji so lahko preostri za kvalitetno sušenje, če je izrazita ena ali več komponent klime. Pri preveliki ostrini sušenja, lahko pri naravnem sušenju vplivamo z primerno postavitvijo kop in zasloni, ki zmanjšajo hitrost pretoka zraka skozi zložaje in tako omilimo klimo.

6.1 POGOJI SUŠENJA

Pogoji sušenja so odvisni predvsem od klime, ki je značilna za določeno geografsko področje. Zato je dobro, če si priskrbimo meteorološke podatke za kraj, kjer nameravamo sušiti, ker le tako lahko predvidevamo kako se bo les sušil in pravočasno uvedemo preventivne ukrepe v kolikor so ti potrebni.

Temperatura je pri naravnem sušenju relativno nizka in se v naših pogojih giblje nekje med -30°C , ki je značilna za mesec februar v katerem ponavadi nastopajo temperaturni minimumi in 39°C , ki se pojavlja poleti običajno v mesecu juliju, ki je znan po temperaturnih maksimumih.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Let.
AJDOVŠČINA	-15,5	-15,8	-8,9	-4,0	-2,4	4,7	5,7	6,6	2,0	-4,4	-8,4	-9,6	-15,8
KOPER	-10,2	-12,8	-5,8	-0,5	1,1	5,5	9,5	9,1	2,9	1,5	-6,9	-4,0	-12,8
LJUBLJANA	-25,4	-25,6	-15,7	-5,3	-2,8	3,7	5,1	3,4	-0,8	-6,7	-15,3	-20,2	-25,6
MARIBOR	-23,0	-28,5	-19,0	-5,8	-5,0	1,5	2,3	4,6	-1,0	-9,6	-11,3	-15,2	-28,5
NOVO MESTO	-27,9	-30,8	-15,9	-7,5	-4,7	1,0	3,4	4,3	-1,1	-7,8	-10,6	-21,4	-30,8
POSTOJNA	-20,7	-30,5	-24,4	-9,4	-5,6	-0,2	2,3	2,9	-3,4	-5,0	-11,8	-13,6	-30,5

Slika 50: Mesečni absolutni minimumi

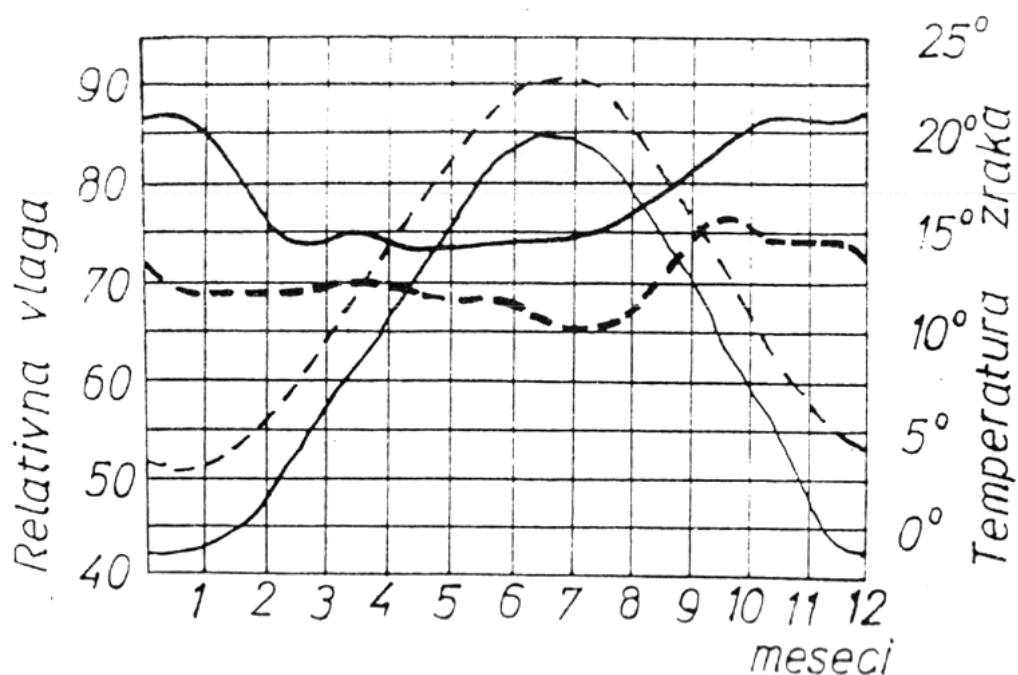
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Let.
AJDOVŠČINA	18,1	22,5	24,0	27,7	30,4	32,4	37,6	36,0	33,6	28,8	21,0	18,6	37,6
KOPER	16,6	18,7	21,8	26,5	31,2	32,0	36,6	35,4	31,2	26,0	20,8	17,6	36,6
LJUBLJANA	13,8	19,0	23,4	27,6	31,8	38,0	38,8	35,0	33,0	26,8	20,6	15,8	38,8
MARIBOR	14,6	20,2	23,3	25,2	31,2	35,0	39,2	36,0	32,2	26,5	20,3	16,5	39,2
NOVO MESTO	16,0	21,2	24,5	28,0	32,1	36,2	38,2	36,7	34,3	28,5	22,6	17,8	38,2
POSTOJNA	13,0	20,0	22,7	22,0	28,0	29,8	35,9	31,6	29,0	23,8	15,8	15,2	35,9

Slika 51: Mesečni absolutni maksimumi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Let.	Št.le.
AJDOVŠČINA	2,5	4,0	7,6	11,6	15,9	19,4	21,6	21,3	17,8	12,8	8,1	4,5	12,3	14
KOPER	4,5	5,6	8,7	12,7	17,0	20,7	23,3	22,9	19,8	14,4	9,6	6,4	13,8	7
LJUBLJANA	-1,6	0,3	4,9	9,9	14,3	18,0	19,6	18,9	15,2	9,9	4,6	0,5	9,5	30
MARIBOR	-2,1	-0,2	4,3	9,6	14,0	17,6	19,3	18,7	14,9	9,3	4,3	0,2	9,2	14
NOVO MESTO	-1,5	0,5	4,8	9,9	14,3	17,9	19,6	18,9	15,0	9,7	4,9	0,9	9,6	14
PLANINA	-1,1	0,6	4,2	8,8	13,0	16,6	18,1	17,8	14,5	9,5	5,1	1,2	9,0	14
POSTOJNA	-1,3	0,2	3,5	7,2	12,1	15,8	17,5	16,9	13,7	9,1	4,3	0,9	8,3	12

Slika 52: Srednje mesečne in letne temperature

Relativna zračna vlažnost zraka ima velik pomen pri hitrosti sušenja in se v naših krajih giblje med 50% in 90%. Najvišja je pri tleh in pada z višino, spreminja se celo na nivoju mikrolokacije.



Slika 53: Letno gibanje relativne vlažnosti zraka in temperature-Bled,NG

Vir:skup.avt.,suš.,lesa 1994

V Sloveniji lahko naravno les posušimo med 12% in 20% vlažnosti lesa, običajno pa se giblje vlažnost lesa med 14% in 18%.

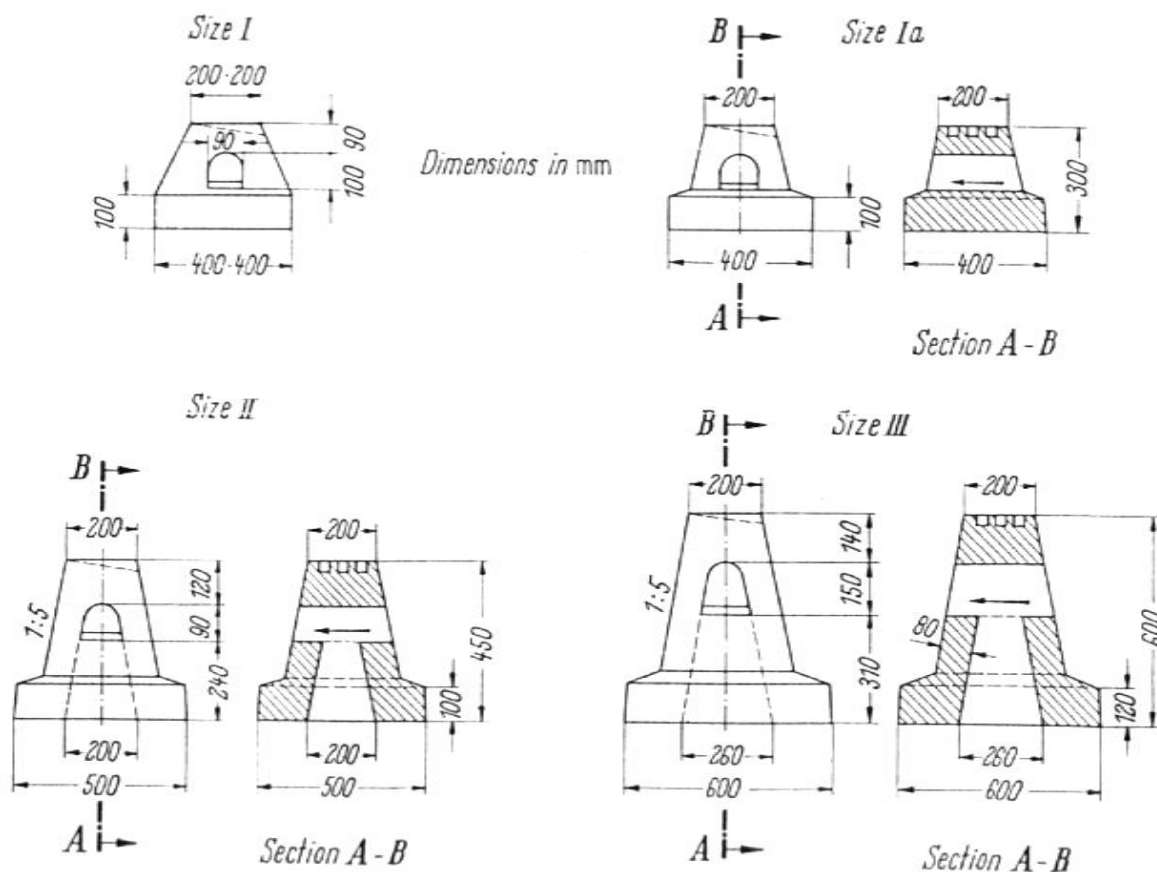
Hitrost zraka je tretji faktor, ki vpliva na hitrost sušenja, zato je pomembno, da so zložaji pravilno formirani in orientirani.

Polek naštetih vplivajo na naravno sušenje tudi padavine, prah in sončno obsevanje.

6.2 SKLADIŠČE ŽAGANEGA LESA

Skladišče žaganega lesa na prostem mora ustrezati osnovnim pogojem, od katerih je glavni ta, da je skladišče na odprtem prostoru zaradi stalnega pretoka zraka, da je na suhem terenu (asfalt, betonska podlaga ali tamponska podlaga iz grampza). Tla morajo biti odvodnjavana in nesmejo biti poraščena z rastlinami, zaradi nemotenega pretoka zraka.

Na tak prostor postavimo podstavke, ki so običajno betonski različnih oblik, višine od 30cm do 60cm.



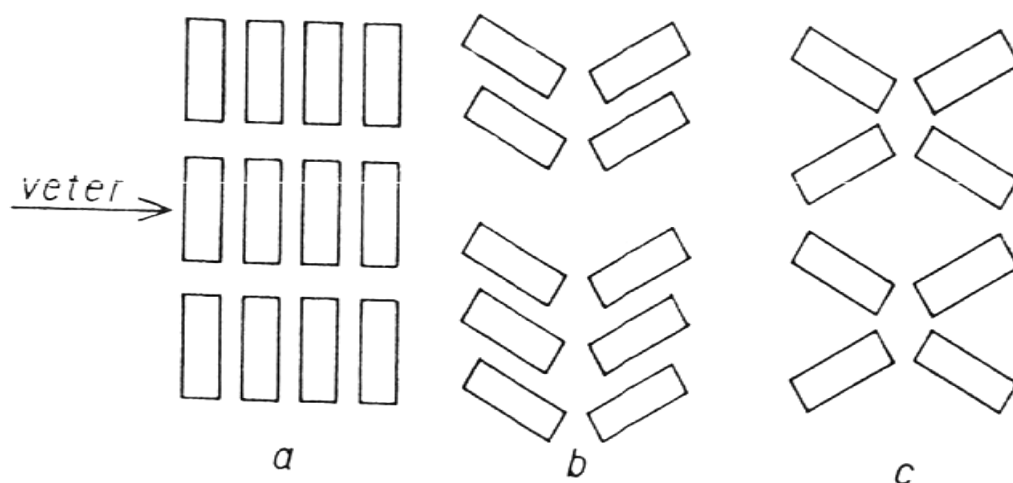
Slika 54: Betonski podstavki
Vir: Kollmann, PWT, 1968

Podstavke postavimo glede na načrt postavitve skladovnic, ki pa je odvisen od več faktorjev:

Glede na gibanje zraka so skladovnice lahko postavljene:

- pravokotno, kar zagotavlja dober pretok zraka le skozi prve skladovnice,
- v obliki črke V, 60° glede na smer vetra (ta način je najboljši iz stališča sušenja)
- v obliki črke X, tudi ta način zagotavlja dobro prezračevanje

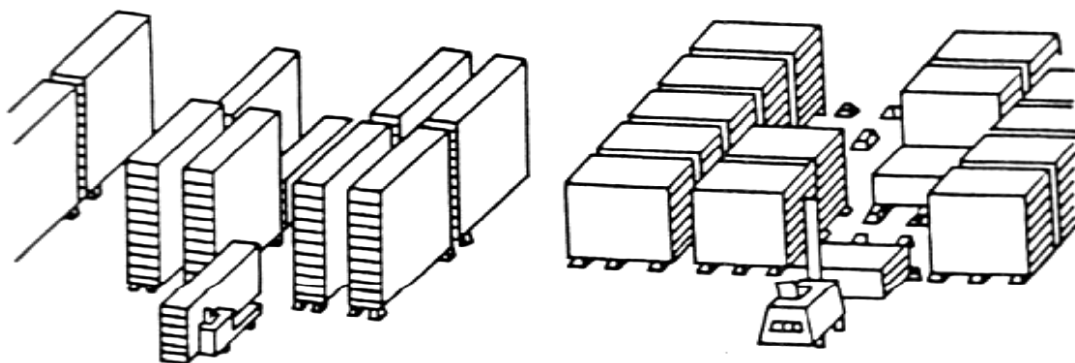
Prevladujoča smer vetra je tista, ki je najogostejše zastopana in se vidi iz rože vetrov.



Slika 55: Postavitev skladovnic glede na smer prevladujočega vetra

Vir: skup. avt., suš. lesa, 1994

Seveda moramo upoštevati tudi način transporta, ki definira način formiranja skladišča in širino transportnih poti, ki so odvisne od dolžine skladovnice in transportne naprave.



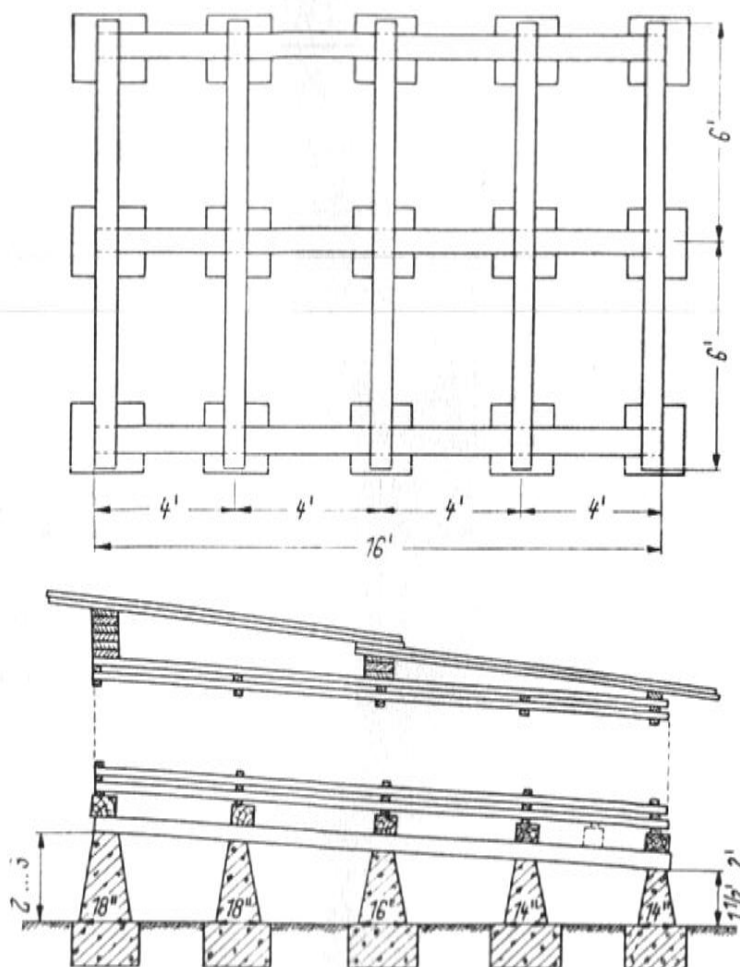
Slika 56: Formiranje skladišča glede na transport

Vir: skup. avt., suš. lesa, 1994

Pri dvorednih vzdolžnih formacijah je poraba skladiščnega prostora večja, je pa dostopnost do vsake skladovnice in hitrost sušenja večja, kar je pri grupiranih skladovnicah slabše, je pa poraba prostora manjša.

6.3 SKLADOVNICA

Skladovnica je sestavljena iz podstavkov, gredic, zložajev in strehe. Zložaj je transportna enota in jih zlagamo eno na drugo ločimo pa z gredicami v kolikor je skladovnica grajena s pomočjo viličarja. Če zlagamo skladovnico ročno vmesnih gredic ni. Pomembno je tudi pravilno letvičenje, kar pomeni, da morajo biti letvice zložene točno ena nad drugo, da se les ne krivi in v razdalji glede na debelino desk od 40cm do 120cm. Debelina letvic je 16mm za debelino lesa od 12-30mm, 25mm za debelino 30-60mm, za debelejšje deske pa 40mm.



Slika 57: Osnovna sestava skladovnice

Vir: Kollmann, PWT, 1968

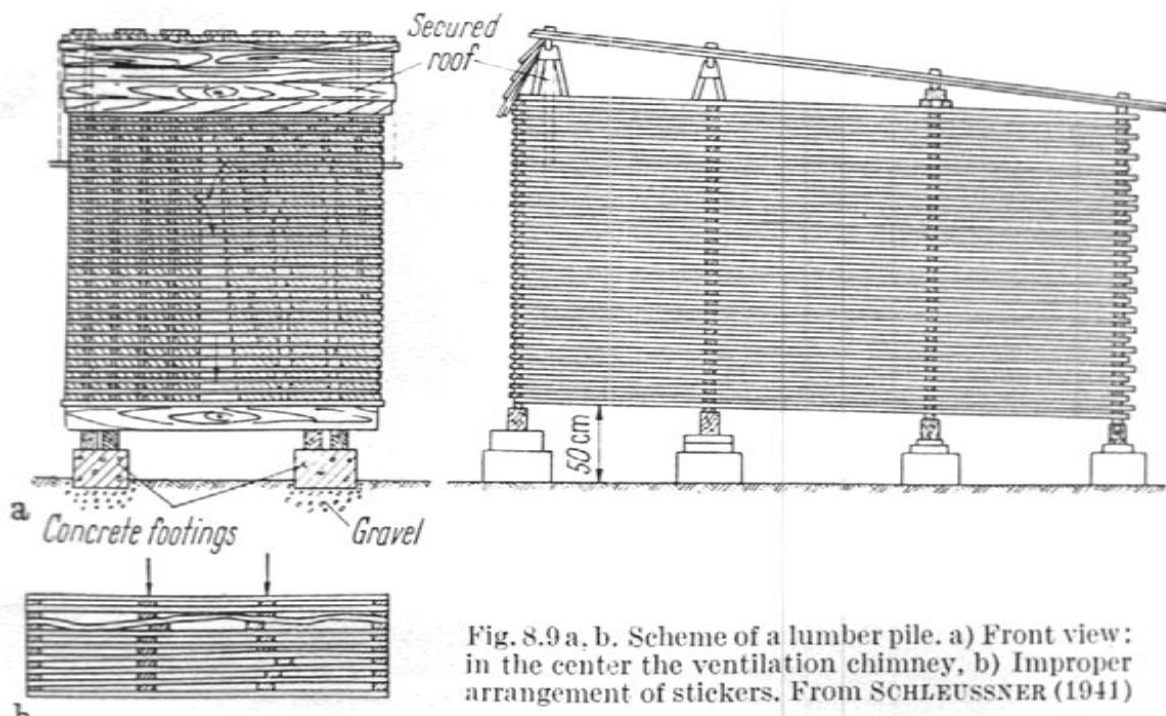
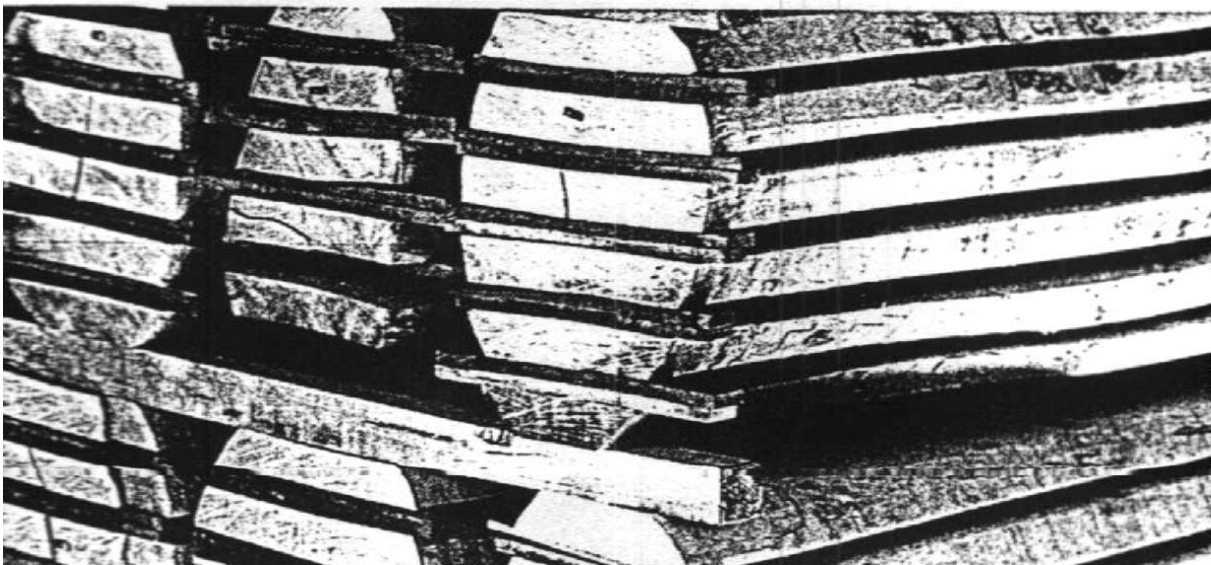


Fig. 8.9 a, b. Scheme of a lumber pile. a) Front view: in the center the ventilation chimney, b) Improper arrangement of stickers. From SCHLEUSSNER (1941)

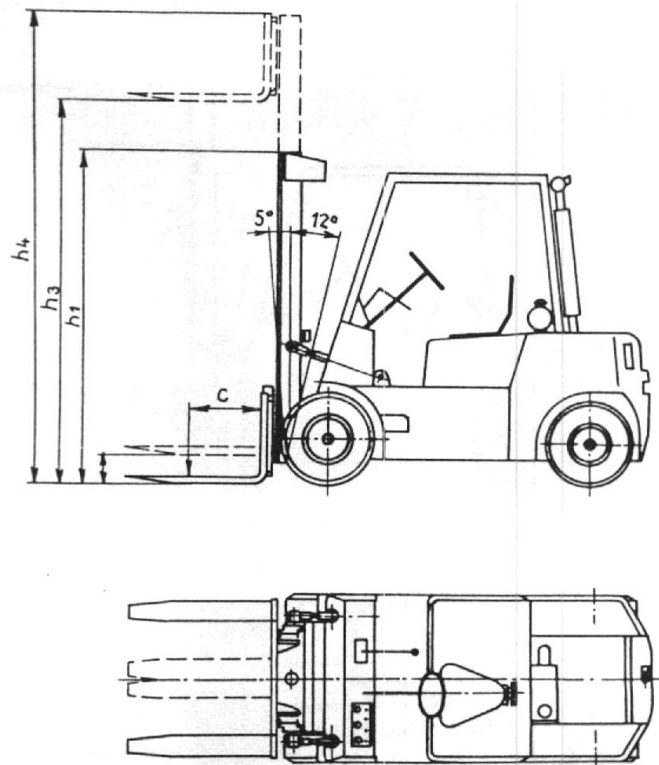
Slika 58: Skladovnica
Vir: Kollmann, PWT, 1968



Slika 59: Letvičenje bulsov
Vir: M-R prospekt

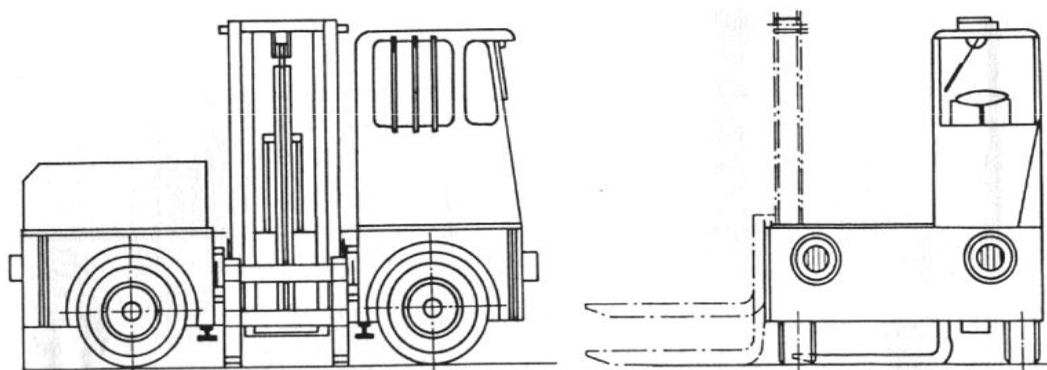
6.4 TRANSPORTNE NAPRAVE

Za transport se uporabljajo najpogosteje viličarji, dolžina vilic definira širino zložaja. Uporabljamo čelne in bočne viličarje različnih nosilnosti in velikost glede na velikost skladišča in pogostnost njihove uporabe.



Slika 60: Čelni viličar

Vir: M. Geršak, stroji in naprave v lesarstvu, 1987



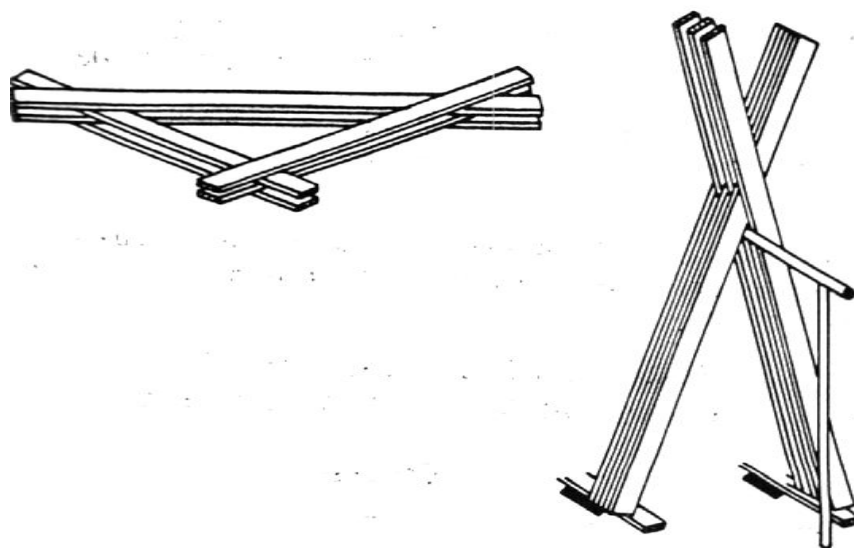
Slika 61: Bočni viličar

Vir: M. Geršak, stroji in naprave v lesarstvu, 1987

6.5 ČAS SUŠENJA NA PROSTEM

Čas sušenja na prostem je izredno težko določljiv, saj je odvisen od klime, začetne vlage lesa, letnega časa pričetka sušenja, lokacije, načina zlaganja, vrste lesa, debeline lesa....

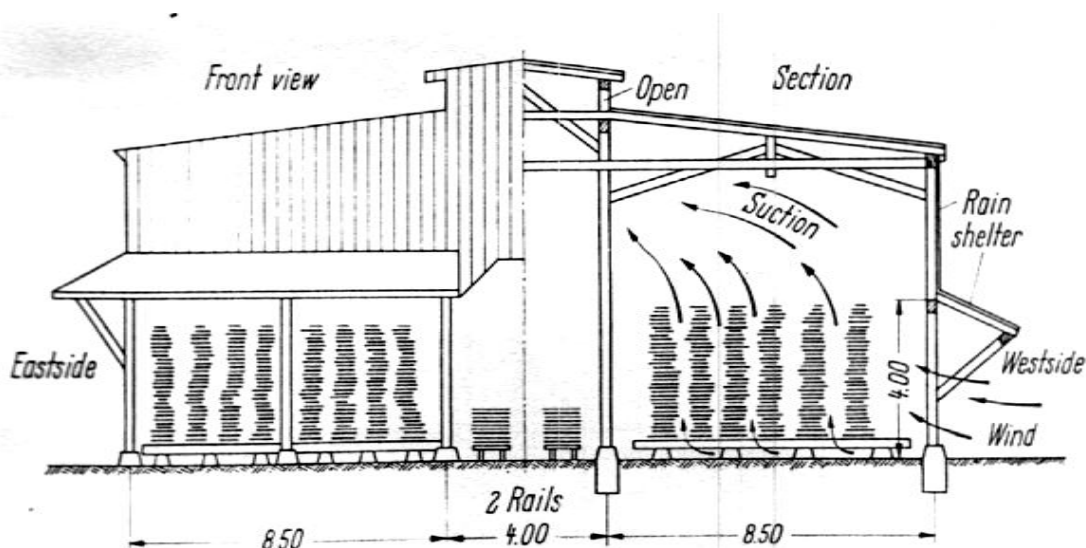
Odvisen je od zložaja in debeline letvic, če želimo sušiti hitreje je lahko les zložen v trikotni ali pokončni obliki, tako, da na hitrost sušenja vpliva vrsta parametrov.



Slika 62: Trikotno in pokončno zlaganje

Vir:skup.avt.suš.lesa,1994

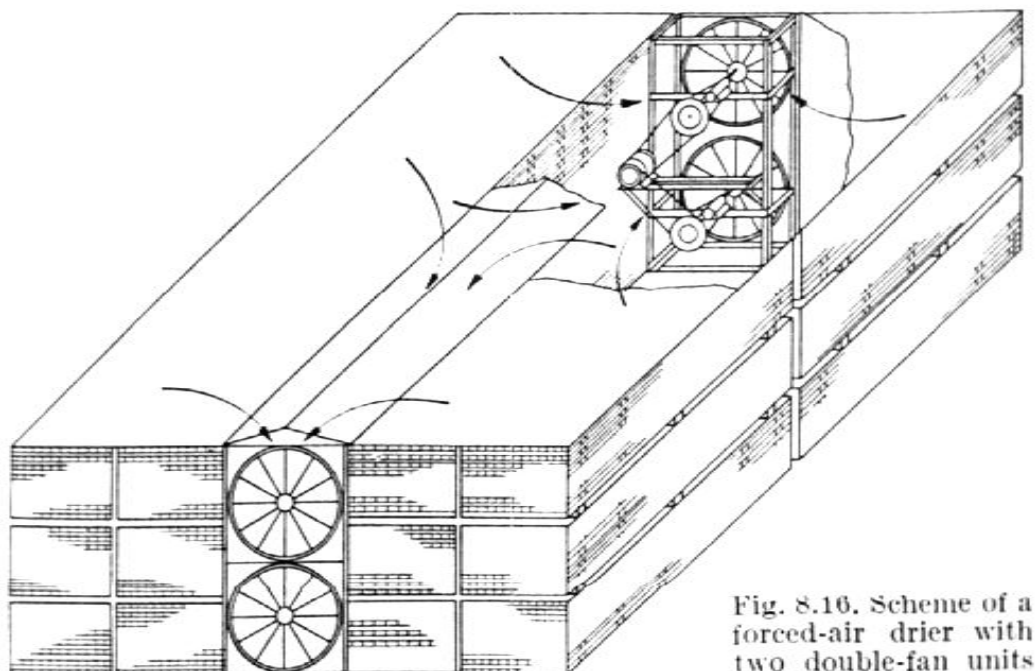
Naravno sušenje se lahko odvija tudi v delno zaprtih prostorih, v katerih se vzpostavi hitrejše gibanje zraka po principu dimnika.



Slika 63: Naravno sušenje v delno zaprtem prostoru

Vir:Kollmann,PWT,1968

Naravno sušenje lahko še pospešimo z montažo ventilatorjev, ki pospešijo gibanje zraka in odstranjevanje vlage v lesu.



Slika 64: Pospešeno naravno sušenje lesa
Vir: Kollmann, PWT, 1968

Kesnerjeva formula daje orientacijske vrednosti časa naravnega sušenja v mesecih, ki pa lahko zelo odstopajo vsled prej naštetih pogojev naravnega sušenja.

$$T = k \cdot d$$

T.....čas sušenja [meseci]

k.....koeficient za zračno suh les, glede na drevesno vrsto

d.....debelina lesa [cm]

Koeficienti za zračno suh les posameznih drevesnih vrst je:

-smreka.....	3,2
-topol.....	3,5
-macesen.....	3,8
-bor.....	4,5
-brest.....	5,0
-javor.....	5,0
-bukev.....	5,3
-hrast.....	5,3

POVZETEK IN RAZMISLEK OB POGLAVJU 6

Obdelali smo sušenje na prostem in pogoje, ki vplivajo tako na kvaliteto sušenja, kot hitrost sušenja. Za doseganje dobrih rezultatov je pomembno upoštevati zakonitosti, ki so predstavljene v tem poglavju. Dotaknili smo se tudi transportnih naprav in njihovo uporabnost, glede na velikost skladišča lesa in njihovo postavitev, ki prav tako vpliva na hitrost sušenja. Obdelali smo tudi pospešene načine naravnega sušenja, pri katerem spreminjamo razmerje med lesno maso in razpoložljivo količino zraka, ki ga uporabljamo za sušenje. Zelo pomembna je tudi uporaba nekaterih naravnih danosti in uporaba obnovljivih virov energije, ki jih v procesu naravnega sušenja koristimo in s tem dodatno skrajšamo čas sušenja in stroške sušenja.

Razmislek:

Razmisli zakaj se v procesu izobraževanja učimo o različni debelini letvic za letvičenje, v praksi pa uporabljajo v glavnem eno debelino?

Naravnemu načinu sušenja povečaj hitrost z uporabo obnovljivih virov energije? (zaželjene izvirne ideje in utemeljitve)

UVOD V POGLAVJE 7

Glede na to, da je komorska sušilnica napogostejši način tehničnega sušenja, si bomo v naslednjem poglavju podrobneje ogledali princip delovanja, njene sestavne dele in krmiljenje sušilnega procesa v njej. Poglobili se bomo v detajle, ki vplivajo na učinkovitost sistema sušenja v komorskih sušilnicah in možnostih za zmanjšanje energetske potratnosti. Dotaknili se bomo načinov krmiljenja in zagotavljanje optimalnih pogojev za izvajanje procesa sušenja. V tem poglavju bomo obdelali tudi kanalske sušilnice, ki delujejo na enkem principu, le da se tu les giblje skozi posamezne cone, se redkeje uporabljajo, namenjene pa so sušenju velikih količin lesa.

Ugotovi kakšne so razlike med komorsko in kanalsko sušilnico?

Iz literature ali spleta pridobi čim več fotografij obeh tipov sušilnic in detajlov po katerih se razlikujeta. (zaželen je tudi film-morda pa so proizvajalci sušilnic pravi naslov)

7 KOMORSKA IN KANALSKA SUŠILNICA

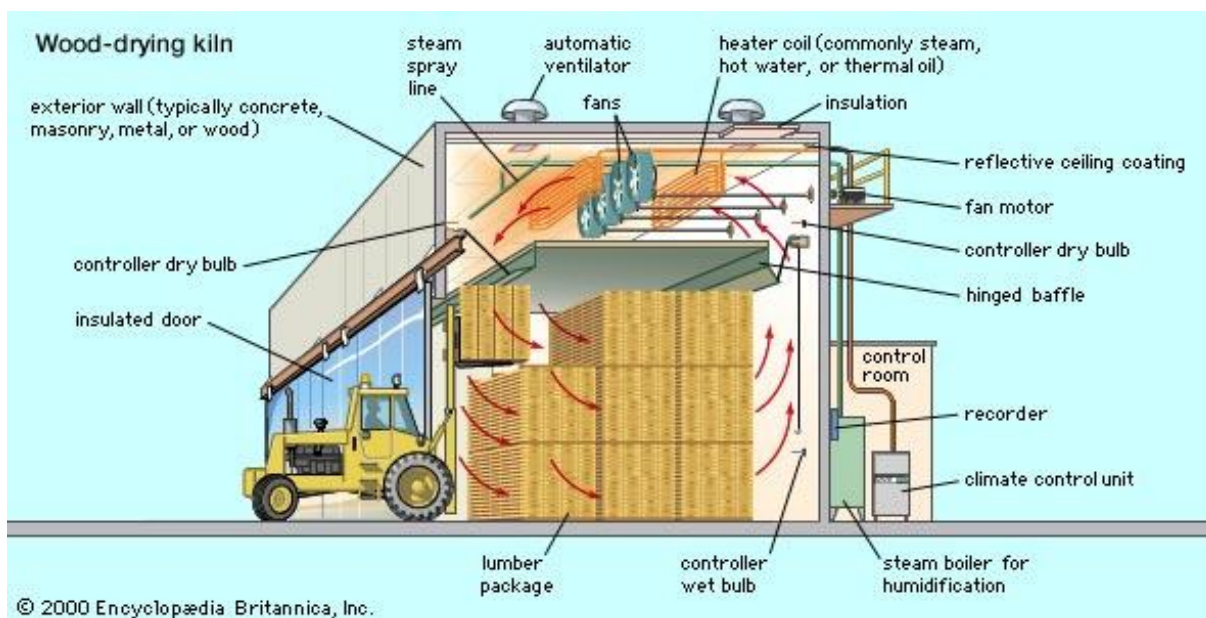
Osnovna razlika med komorsko in kanalsko sušilnico je ta, da se pri komorski sušilnici spreminja klima, les pa stoji na svojem mestu za razliko od kanalske, kjer se les giblje skozi posamezne cone segrevanja, sušenja in klimatizacije, hitrost sušenja pa se uravnava z hitrostjo potovanja zložajev.

Komorske in kanalske sušilnice lahko razdelimo v več tipov glede na način kroženja zraka in sicer na prečno kroženje zraka, vzdolžno in horizontalno kroženje zraka.

Glede na uporabo vrst ventilatorjev, jih ločimo na aksialne in radialne ventilatorje.

Glede na pozicijo aksialnih ventilatorjev na ventilatorje med primarnim in sekundarnim stropom, ki so lahko tudi reverzibilni, spodnjimi ventilatorji, ki iz spodnjih zložajev zrak vlečejo v zgornje zložaje ga pa rinejo in stranski aksialni ventilatorji, z prečnim horizontalnim kroženjem zraka.

Glede na širino jih ločimo na enoredne, dvoredne in večredne. Lahko jih delimo še na način transporta, način delovanja, način izgradnje, način ogrevanja, krmiljenje...



Slika 65: Komorska konvencionalna sušilnica
Vir: www.britannica.com/ebc/art/print?id=57341.

7.1 SESTAVNI DELI SUŠILNICE

Sušilnica lesa je sestavljena iz osnovnih sestavnih elementov, ki pa se medseboj lahko zelo razlikujejo. V grobem sestavne dele delimo na:

- ohišje sušilnice
- sistem za gretje sušilnice
- sistem za vlaženje
- kroženje zraka
- izmenjava zraka
- naprave za merjenje in regulacijo klime

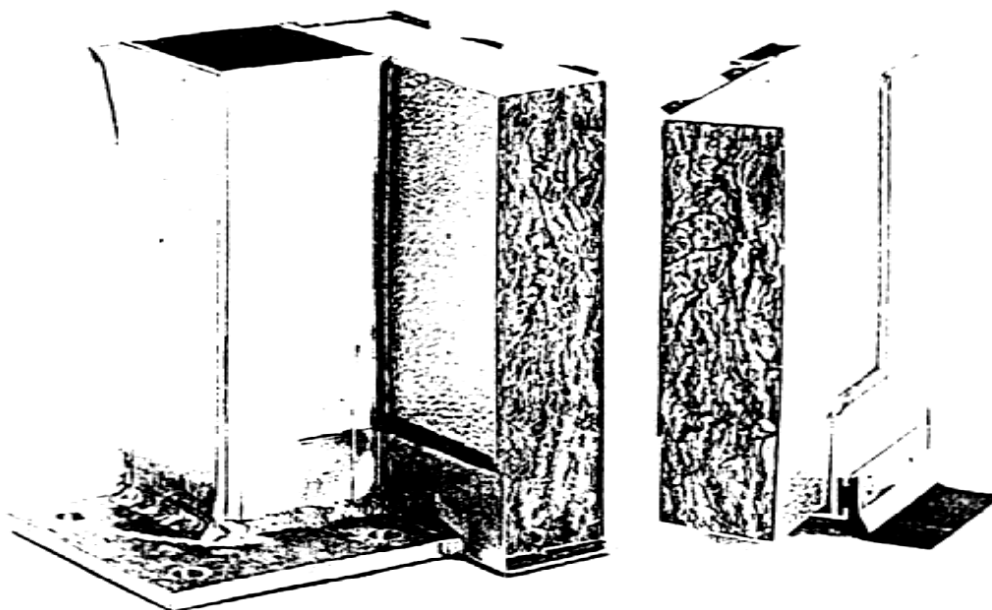
Ohišje sušilnice je lahko zidano ali montažno iz različnih materialov. Vsi materiali, ki se uporabljajo za gradnjo sušilnice morajo biti odporni proti koroziji, še posebej proti mravlji in ocetni kislini, ki sta sestavni del vlažnega zraka v sušilnici. Montažne sušilnice so grajene običajno iz aluminijastih elementov ali jeklene konstrukcije z antikorozivno zaščito in toplotno izolacijo.

Iz stališča stroškov je izredno pomembno, da je ohišje dobro toplotno izolirano in da je koeficient toplotne prehodnosti čim nižji ($0,3-1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$).



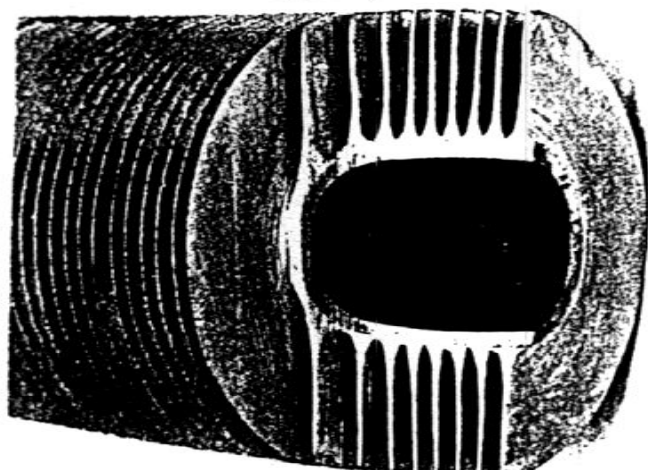
Slika 66: Montažna konstrukcija sušilnice
Vir: www.Riko.com

Stene montažnih sušilnic so ponavadi sendvič konstrukcije, ki je običajno sestavljena znotraj iz Al pločevine, ki je obenem tudi parna zapora, izolacijskega materiala in valovite ali trapezne Al prezračevalne pločevine.



Slika 67: Sendvič konstrukcija zunanjih sten
Vir: M-R, prospekt

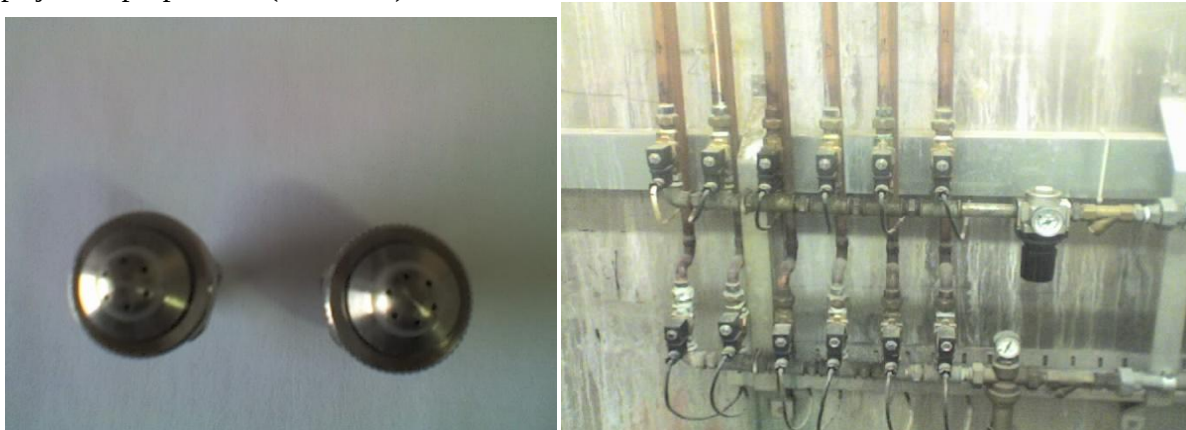
Gretje sušilnice je lahko parno, toplovodno, z vročim oljem, zrakom ali električno. Pri uporabi tekočih medijev ogrevanja se uporabljajo grelne enote rebrastih cevi, ki sestavljajo registre.



Slika 68: Rebrasta grelna cev
Vir: M-R, prospekt

Vlaženje zraka je lahko izvedeno s pomočjo nasičene pare z nadtlakom do 0,2 bara, ali z vodo, katere minimalni tlak je 4 bare. Vlažilniki so nameščeni pred vstopom zraka v skladovalnice, da voda ali pare ne pride v direkten stik z sušečim lesom. Za vodno vlaženje lahko uporabljamo hladno ali toplo vodo, kar je boljše, da ne pride do znižanja temperature in spremembe karakteristik željene klime.

Danes se na tržišču dobi različne šobe različnih materialov od medenine do inox materiala. Šobe je potrebno po določenem ciklusu zamenjati in jih očistiti vodnega kamna. Za čiščenje vodnega kamna na tržišču obstajajo različni preparati od strupenih (solne kisline) do okolju prijaznih preparatov (lubistone).

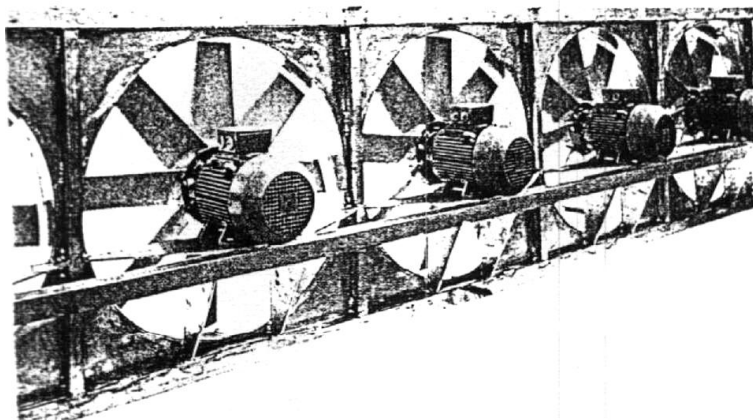


Slika 69: Šobe in sistem magnetnih ventilov za vlaženje zraka

Vir:rico- www.Riko.com

Kroženje zraka zagotovimo z aksialnimi ali radialnimi ventilatorji. Hitrost zraka se običajno giblje okrog 2m/s, lahko pa je tudi do 6m/s. Uporabljamo izmenične in enosmerne elektromotorje z enosmernim ali dvosmernim vrtenjem, z enostopensko, dvostopensko hitrostjo vrtenja ali z zvezno nastavitvijo hitrostjo vrtenja.

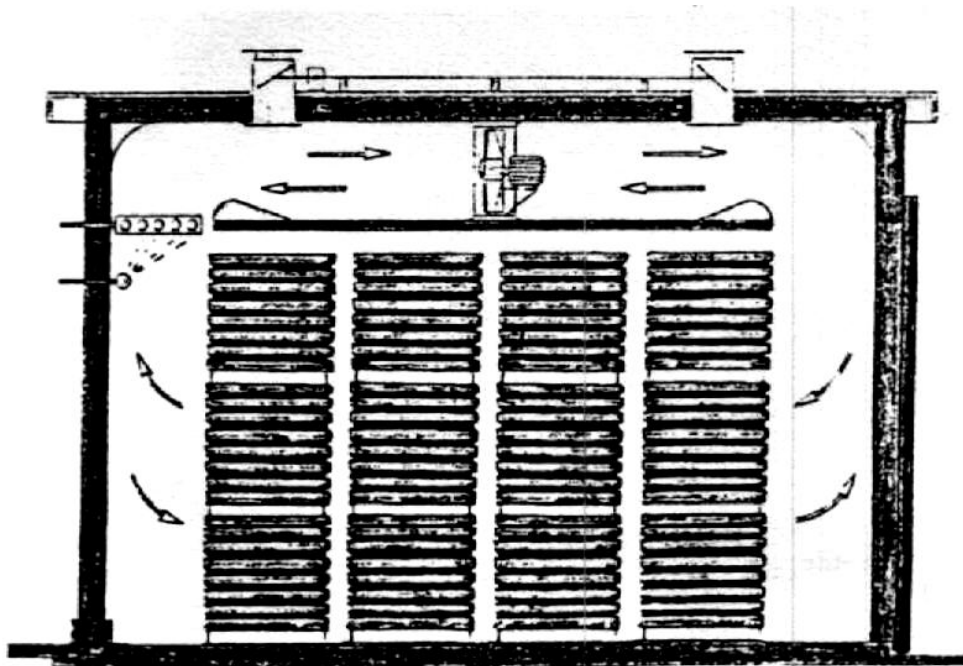
Elektromotorji morajo biti odporni na klimo, ki vlada v sušilnici, morajo biti tropske izvedbe F klase in zaščite IP 55.



Slika 70: Aksialni ventilatorji za vgradnjo med primarni in sekundarni strop

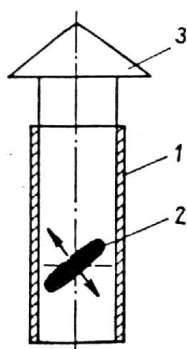
Vir:M-R,prospekt

Izmenjava zraka poteka preko dovodnih in odvodnih loput, ki so običajno nameščene na stropu sušilnice.



Slika 71: Običajna namestitev loput

Vir: M-R, prospekt



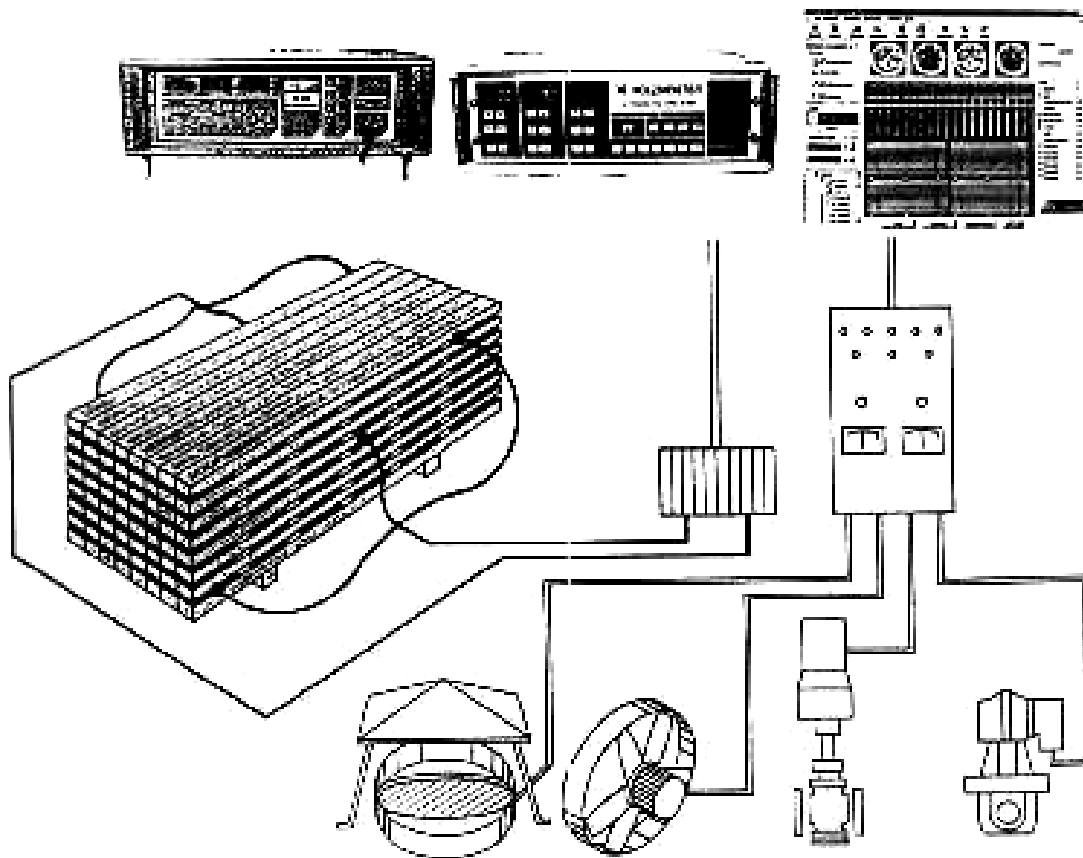
- 1 — cev
- 2 — loputa
- 3 — zaščitna kapa



Slika 72: Zračnik za izmenjavo zraka z loputo

Vir: (MG, NM, VV, suš. lesa, 1985) in (www.Riko.com)

Naprave za merjenje in regulacijo klime so sestavljene od najpreprostejših do najzahtevnejših elektronskih naprav. Ročno vodenje procesa poteka na osnovi odčitavanja psihrometske razlike in kontrolnih kosov z ročnim upravljanjem parametrov temperature, hitrosti zraka in loput za izmenjavo zraka. Polavtomatsko upravljanje sloni na upravljanju nekaterih parametrov, avtomatsko ali računalniško pa zahteva le vnos vstopnih parametrov, vse ostalo se dogaja avtomatsko do želene vlažnosti lesa.



Slika 73: Polavtomatsko in avtomatsko krmilje
Vir: M-R, prospekt

POVZETEK IN RAZMISLEK OB POGLAVJU 7

Zaradi velike porabe energije v procesu sušenja lesa, predstavlja sušenje približno 70%-ni delež energije v izdelavi izdelka iz lesa, zato je pomembno, da dobro poznamo konstrukcijo sušilnice in njeno energetske učinkovitost, sestavne dele in njihovo optimalno delovanje.

Razmislek:

Kaj vse je pomembno pri teh tipih sušilnic in kako vpliva na stroške in konkurenčnost našega izdelka? (Morda pa lahko tu največ prihranimo??)

UVOD V POGLAVJE 8 IN 9

Načrtovanje in spremljanje sušenja zagotavlja kvaliteto v kolikor uporabljamo ustrezne režime, če upoštevamo stroške in izberemo ustrezno sušilnico primerno našim potrebam, pa dodatno prispevamo k učinkovitosti sistema.

Kaj vse vpliva na učinkovit sistem sušenja?

Zakaj uporabljamo v glavnem normalnotemperaturno komorsko sušenje lesa?

8 NAČRTOVANJE IN SPREMLJANJE SUŠENJA

Za kvalitetno sušenje je pomembno, da na osnovi potreb in ekonomske upravičenosti investiramo v pravo ali prave sušilnice, nato pa se držimo predpisanih načinov sušenja glede na tehnološko opremo in način transporta.

Začne se pri formiranju zložajev, ki morajo biti v skladu z predpisanimi navodili, pravtako zlaganje v komoro, da pustimo dovolj prostora za kroženje zraka in da je pravilno kroženje.

8.1 FAZE TEHNOLOŠKEGA POSTOPKA

Faze tehnološkega postopka so razdeljene na več postopkov:

- segrevanje lesa in sušilne komore, ki poteka stopensko ali brezstopensko na začetno temperaturo sušenja, ob visoki relativni zračni vlagi, tako, da preprečimo sušenje.

- sušenje se deli na tri faze v kolikor imamo opravka z lesom, ki ima še prosto vodo:

1. faza poteka pri najnižji temperaturi sušenja, relativna zračna vlažnost in hitrost zraka pa morata biti prilagojena hitrosti masnega toka kapilarne vode iz notranjosti deske na površino. Dolžina te faze je odvisna od permeabilnosti drevesne vrste, debeline in začetne vlažnosti lesa.

2. faza sušenja se začne, ko površina doseže TNCS in pada, zato je potrebno prilagoditi sušenje tako, da se iz notranjosti voda giblje na površino z tako hitrostjo, da ne pride do napak. V tej fazi se začne hitrost sušenja zmanjševati, zato jo reguliramo z spreminjanjem relativne zračne vlažnosti.

3. faza se prične, ko je les po celem preseku pod TNCS, kar pomeni, da imamo opravka le z vezano vodo, ki se odstranjuje z pomočjo difuzije in hitrost sušenja močno upada, zato je ta faza najdaljša. V tej fazi moramo zagotoviti optimalne pogoje za difuzijo, kar pa dosegamo z zvišanjem temperature in zniževanjem relativne zračne vlage (psihrometrična razlika narašča).

- izenačevanje pomeni, da se razlike med kosi lesa vlažnostno izenačijo tako, da je odstopanje od željene končne vlažnosti največ $\pm 2\%$. Zato v tej fazi zadržimo končno temperaturo suhega termometra in povečamo psihrometrično razliko za toliko, da je ravnovesna vlažnost lesa za 2% nižja od željene končne vlažnosti lesa.

- kondicioniranje pomeni izenačitev vlažnosti lesa po preseku, kar pomeni, da se čimbolj izenači vlažnost notranjosti z zunanjo plastjo lesa. To dosežemo tako, da povečamo relativno zračno vlago do te mere, da se ravnovesna vlažnost lesa dvigne za 2-4% nad končno vlažnostjo lesa.

-hlajenje poteka nekaj ur ob vklopljenih ventilatorjih, odprtih loputah in izklopljenem gretju.

Ko sušilnico izpraznimo je pomembno, da les skladiščimo za nekaj časa v klimatiziran prostor v katerem klima ustreza ravnovesni vlažnosti lesa, ki je enaka končni vlažnosti na katero smo sušili, da se les uleži in umiri in šele zatem začnemo z nadaljno obdelavo.

8.2 REŽIMI SUŠENJA

Režimi sušenja so nastali na osnovi dolgotrajnih merjenj in iskanju optimalnih pogojev sušenja lesa za posamezne drevesne vrste, debeline in vsbnosti vode v lesu. Poznamo angleške režime, ameriške ali medisonske režime in ruske režime sušenja, ki predpisujejo korake sušenja. Vsi novejši režimi sušenja so sestavljeni tako, da je ostrina sušenja konstantna glede na drevesno vrsto in se med sušenjem ne spreminja. Seveda pa so še režimi, ki jih predpisujejo proizvajalci tehnološke opreme za sušenje ali jih vgradijo v programsko opremo za vodenje procesa sušenja.

8.3 ČAS SUŠENJA

Čas sušenja je sestavljen iz seštevka časov, ki ga porabimo za polnjenje sušilnice, segrevanje, sušenje, izenačevanje, kondicioniranje, hlajenje in praznjenje.

9 STROŠKI SUŠENJA IN IZBIRA SUŠILNICE

Glede stroškov sušenja je potrebno upoštevati vse delne stroške, ki nastanejo v procesu sušenja, zato je pomembno, da pred investicijo izdelamo poslovni načrt v katerem sami sebi dokažemo, da se računica izide. Po investiciji pa zasledujemo stroške na osnovi katerih formiramo ceno sušenja in predvidevamo načine za zmanjševanje stroškov.

Vsekakor se lahko največ prihrani na energiji saj v strukturi predstavljajo dobro polovico vseh stroškov, zato je smiselno, da že v fazi nabave sušilnice gledamo na energetske karakteristike sušilnice, saj nam to daje konkurenčno prednost na tržišču.

Na izbiro sušilnice tako polek prevladujoče drevesne vrste, ki jo nameravamo sušiti vplivajo še druge tehnološke zahteve, energetski parametri in finančni parametri.

POVZETEK IN RAZMISLEK OB POGLAVJU 8 in 9

Pri sušenju lesa tehtamo med hitrostjo sušenja, kapaciteto sušilnice in stroški.

Razmislek:

Kakšna sušilnica bi bila primerna za mojo velikost podjetja?

Ali lahko zmanjšam porabo energije in kako to storim?

UVOD V POGLAVJE 10

Obdelali bomo tudi druge postopke sušenja lesa, ki se ne uporabljajo tako pogosto, saj so lahko počasnejši in nekoliko cenejši, ali pa hitrejši, kvalitetnejši in dražji.

Vprašamo se lahko:

Katere postopke sušenja še poznam in kakšne so njihove prednosti in pomanjkljivost?

Z pomočjo različnih virov pripravite gradivo o drugih postopkih sušenja!

10 DRUGI POSTOPKI SUŠENJA

Med drug postopke sušenja uvrščamo kondenzacijsko sušenje, vakuumsko sušenje, visokofrekvenčno sušenje, solarno sušenje in kombinacije teh med sabo ali kombinirano z klasičnim komorskim sušenjem.

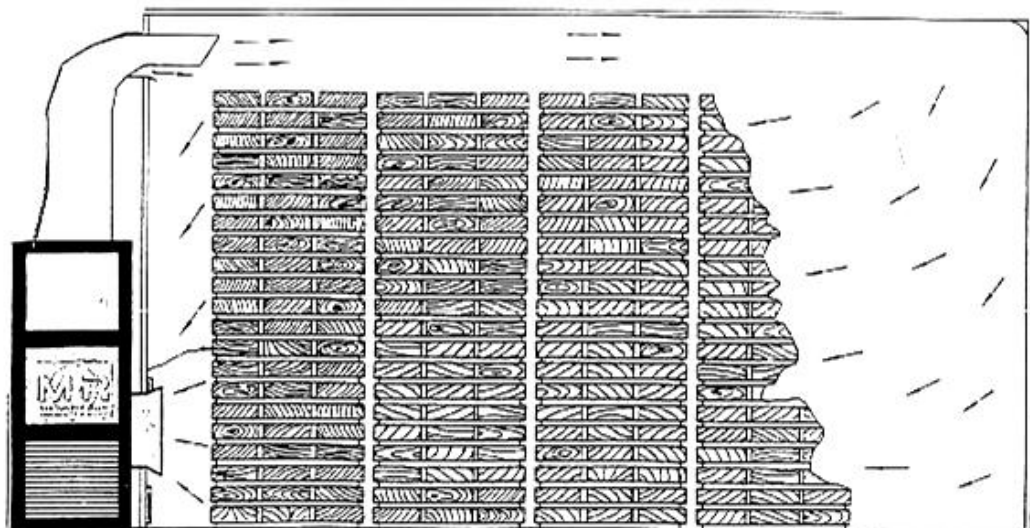
10.1 KONDENZACIJSKO SUŠENJE

Značilnost kondenzacijskih sušilnic je ta, da se les suši pri nižjih temperaturah, ki se gibljejo med 40 in maksimalno 60°C, kar je odvisno od delovnega fluida (običajno različnih freonov), ki imajo nizko vrelišče pri običajnem tlaku. Zaradi nižje temperature je sušenje v kondenzacijskih sušilnicah počasnejše in kvalitetnejše in se uporablja predvsem za zahtevnejše drevesne vrste in večje debeline sortimentov.

V sušilnici so vgrajeni tudi sistemi za vlaženje in ventilatorji, ki skrbijo za gibanje zraka, ki je pri tem sušenju izrednega pomena, ker se pri teh pogojih rade pojavijo gljive in plesni, zato mora biti hitrost večja od 0,5 m/s.

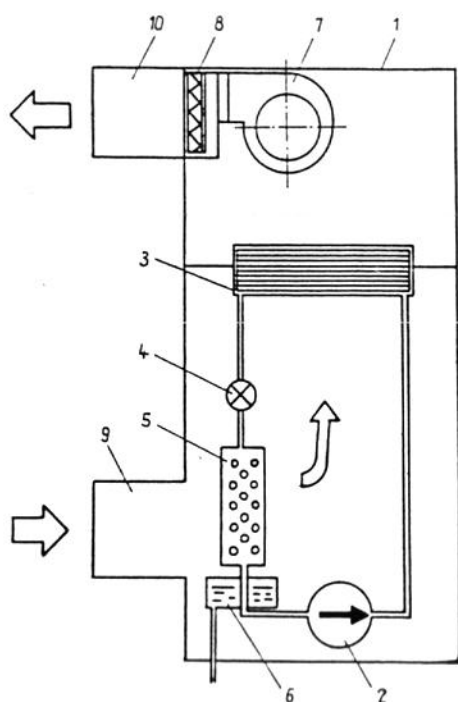
Ker je energetska učinkovitost sistema velika je sušenje tudi relativno cenejše (? Cena elektrike). Kondenzacijski agregat je lahko nameščen v komori ali izven komore.

Glede na to, da je poraba energije pri kondenzacijskem sušenju manjša kot pri klasičnem sušenju se v veliki meri ta način uporablja tudi kot pedsušenje do 20% lesne vlažnosti, naprej pa sušimo klasično.



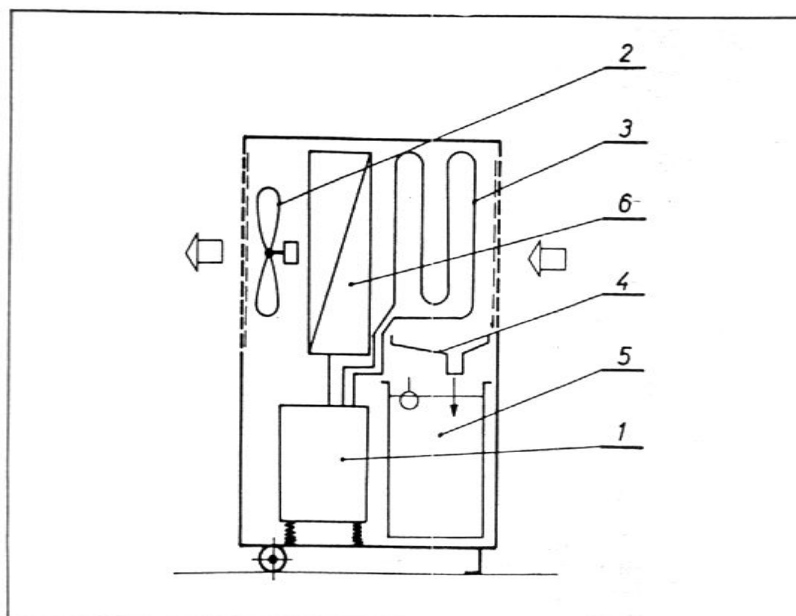
Slika 74: Kondenzacijska sušilnica
Vir: M-R, prospekt

Zrak se v kondenzacijski sušilnici ohladi pod temperaturo rosišča, zato se izloči voda v obliki kondenzata, osušen zrak se zopet ogreje in se mu s tem zniža relativna zračna vlaga, ter se ga vrne v sušilno komoro.



- 1 — pločevinasto ohišje
- 2 — kompresor s pogonskim motorjem
- 3 — kondenzator (za okolico grelnik)
- 4 — regulacijski (dušilni) ventil
- 5 — uparjalnik (za okolico hladilnik)
- 6 — posoda za zbiranje kondenzata in odtočna cev
- 7 — ventilator za zrak
- 8 — dodatni grelnik
- 9 — dovodna odprtina za zrak
- 10 — odvodna odprtina za zrak

Slika 75: Kondenzacijski agregat
Vir: MG, NM, VV, suš., lesa 1985

**Slika 76:** Manjši razvlažilnik primeren za klimatizacijo

Vir: imp, katalog

Za kondenzacijske sušilnice je predvsem pomemben podatek kapaciteta razvlaževanja, ki je podana v kg vode/h ali l/dan.

TEHNIČNI PODATKI

Tip	RZ 400	RZ 800	RZ 1300
Kapaciteta razvlaženja (l/dan)*	15	27	48
Volumen prostora max. (m ³)	200	400	650
Pretok zraka (m ³ /h)	400	800	1300
Priključna moč kompresorja (W)	300	700	1000
Priključna moč naprave (W)	400	820	1120
Električni prikllop	220 V/50 Hz		
Dimenzije			
Širina (mm)	450	650	650
Višina (mm)	680	1050	1050
Globina (mm)	580	740	740
Masa (kg)	35	60	75
Kapaciteta zbiralnika (l)	10	10	10

Slika 77: Tehnični podatki razvlailnikov

Vir: imp, katalog

10.2 VAKUUMSKO SUŠENJE

Vakuumsko sušenje temelji na znižanju vrelišča vode pri podtlaku, saj se z povečevanjem podtlaka znižuje temperatura vrelišča in nekajkrat poveča koeficient difuzije. Tlak pri sušenju se giblje med 5 in 20 kPa, vrelišče vode pri tlaku 5,32 kPa pa je 30°C.

Difuzijski koeficient vezane vode, odvisen od tlaka (skup.avt.,suš.l.,1994)

Tlak kPa	8	10	20	40	60	80	100
Dif.koef. m ² /s	1,8	1,2	0,78	0,50	0,41	0,39	0,36

Sušenje po tem postopku je 3-5 krat hitrejšo od klasičnega sušenja, vlažnostni gradient po preseku lesa je majhen, ker se voda hitro giblje iz notranjosti na površino, kjer kondenzira in navlažuje zunanje plasti, zato je tako sušenje primerno za težje sušene drevesne vrste in večje debeline.

Vakuumski postopek sušenja se uporablja v glavnem za manjše količine sušenja lesa, ker je proces energetsko in stroškovno večji, kot pri klasičnem sušenju.

Poznamo več načinov vakuumskega sušenja:

- z grelnimi ploščami
- brez grelnih plošč
- kombinacija z visokofrekvenčnim sušenjem

Vakuumsko sušenje z grelnimi ploščami ali kontaktno poteka v treh fazah:

1.faza je segrevanje lesa z kontaktnimi ploščami, ki se grejejo običajno z vročo vodo. Proces poteka pri normalnem tlaku, dokler sredina lesa ne doseže zahtevane temperature.

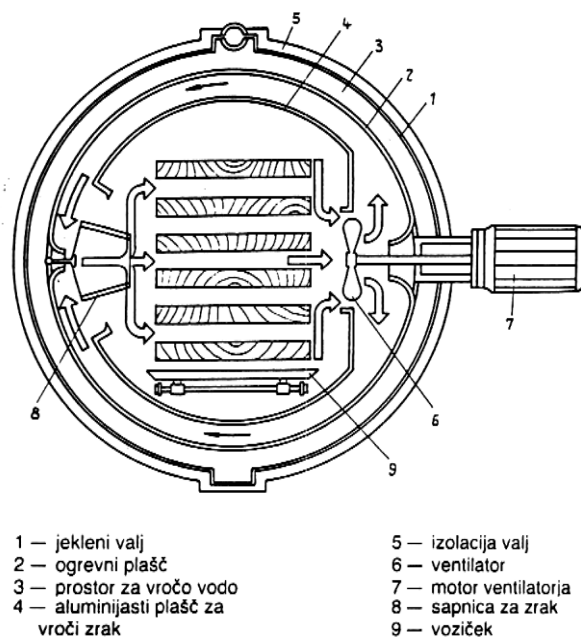
2.faza je ohladitev površine z tem, da skozi plošče spustimo hladno vodo, tako povečmo temperaturni gradient proti površini, kamor je obrnjen tudi vlažnostni gradient.

3.faza predstavlja sušenje z vklopom vakuumske črpalke, ki črpa zrak in vlago iz hermetično zaprte komore. Čas črpanja je na začetku krajši in se proti koncu podaljšuje in se izenači z časom segrevanja.

Vse tri faze sestavljajo cikel, ki se ponavlja do željene vlage po predpisanem režimu.

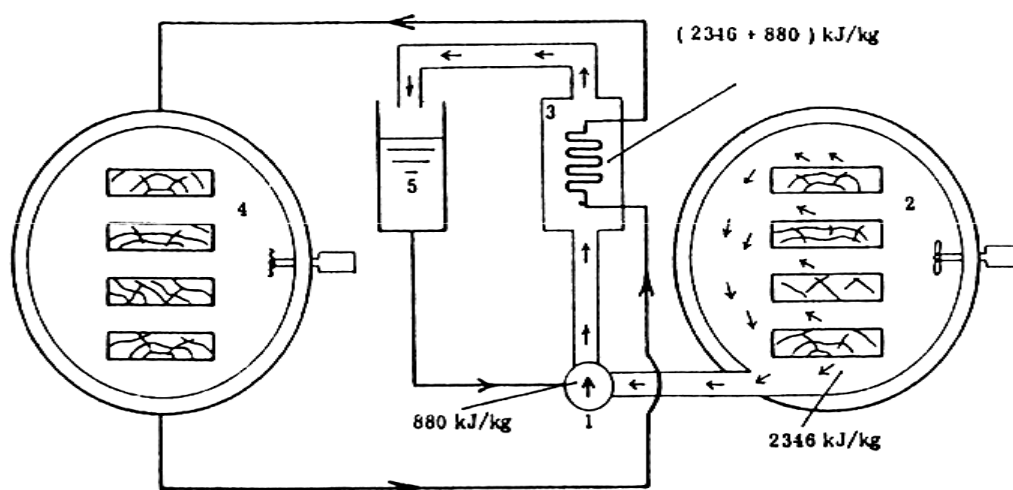
Vakuumsko sušenje brez grelnih plošč ali konvekcijsko, pomeni, da se les segreje z ogretim zrakom ali sevanjem plašča komore, ki je ogrevan. Postopek teče v predpisanih ciklih v dveh fazah segrevanja pri atmosferskem tlaku in sušenje pri podtlaku in izklopljenimi ventilatorji in gretjem. Prednost teh sušilnic je v enostavnem zlaganju in transportu lesa, zato jih izdelujejo za sušenje večjih volumnov lesa (do 20 m³).

Čas vakuumiranja ali sušenja se prekine, ko se les ohladi pod temperaturo vrelišča in se izparevanje vode znatno zmanjša, zato je potrebno v valju zopet vzpostaviti normalen tlak in ponoviti fazo segrevanja.



Slika 78: Diskontinuuirano konvekcijsko vakuumsko sušenje
Vir:MG,NM,VV, suš.l.,1985

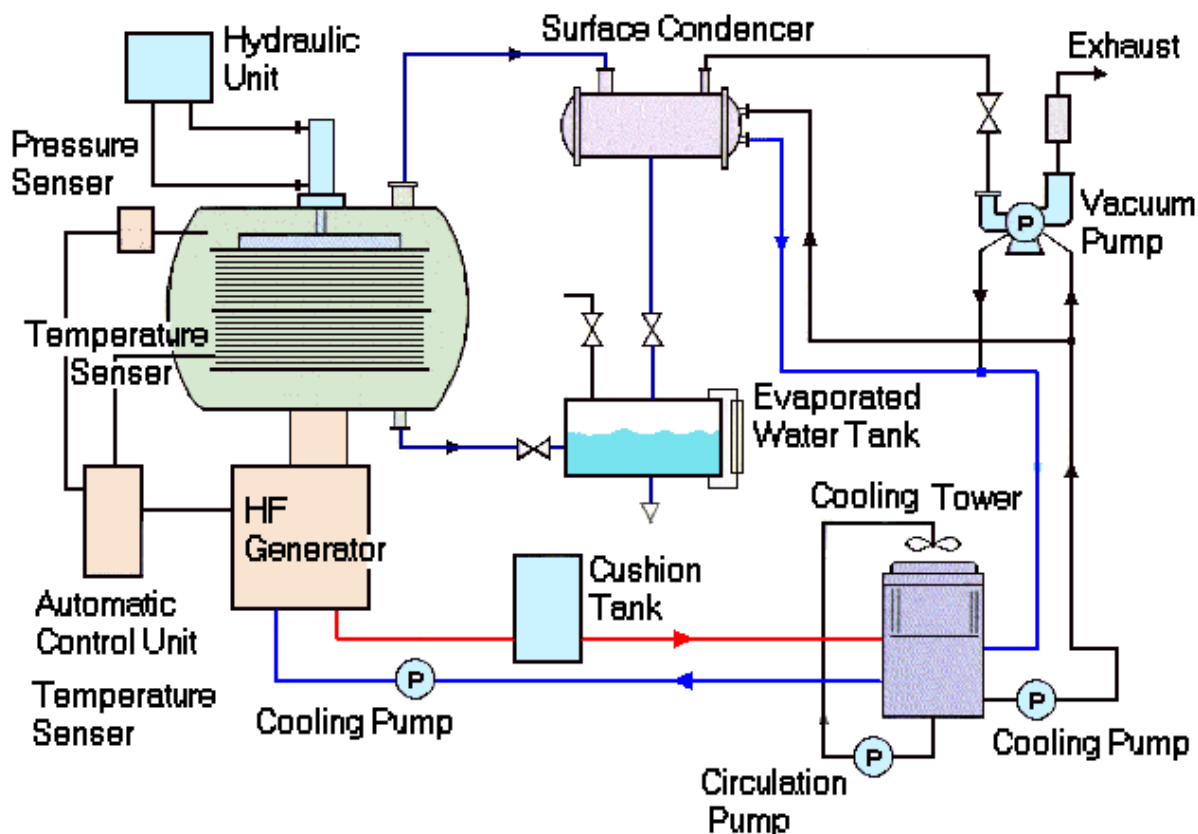
Vakuumsko sušenje je energetsko zahtevno, zato se pogosto uporablja tandem izvedba, ki preko toplotnega menjalnika segreva drugo komoro, ko se v prvi vrši sušenje, torej sta fazi nasprotni, kar pomeni, da lahko uporabljamo samo eno vakuumsko črpalko za obe komori.



Slika 79: Tandem izvedba vakuumskega sušenja
Vir:skup.avt.,suš.lesa,1994

Visokofrekvenčni vakuumski postopek je kontinuiran, kar pomeni, da je podtlak, ki ga ustvarja vakuumsko črpalka stalen, saj segrevanje poteka z visoko frekvenco preko kovinskih plošč, ki so med lesom in služijo kot elektrode.

Vlaga se izloča kontinuirano skozi vakuumsko črpalko in vodnih hladilnikov ali kondenzatorjev.



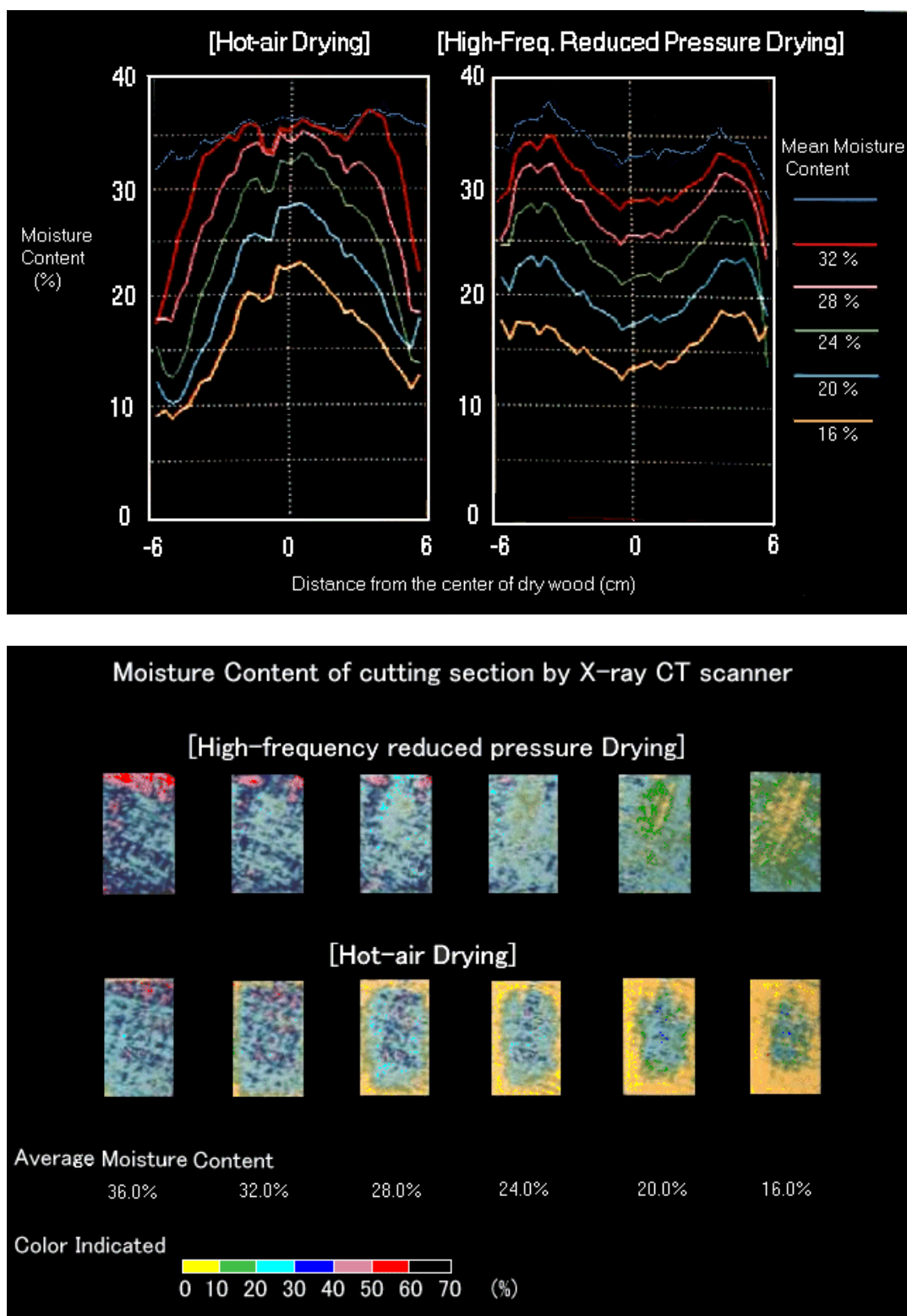
Slika 80: Kombinacija visokofrekvenčne in vakumske sušilnice

Vir: www.fdc.co.jp/products/cat_d/hed/hed.html

10.3 VISOKOFREKVENČNO SUŠENJE

Visokofrekvenčno sušenje so razvili že v 30. letih prejšnjega stoletja, temelji pa na tem, da se med dve plošči-elektrodi, ki sta vezani na VF generator z frekvenco od 2 do 100 MHz postavi dielektrik, ki je v našem primeru vlažen les, v katerem so prosti ioni zaradi izmeničnega električnega polja v stalnem gibanju, pri tem se troši energija za premagovanje trenja in se spreminja v toploto. Pri tem načinu se vlažen les izredno hitro in po celem preseku segreje enakomerno, za kar rabimo pri klasičnem sušenju nekaj ur, tu pa nekaj minut.

Pri tem načinu moramo paziti, da niso v lesu prisotni kosi kovin, ker pride do preboja, ki lahko povzroči požar. Pomembna je tudi ustrezna zaščita proti sevanju in vplivu na okolico.



Slika 81: Razlika med sušenjem s toplim zrakom in visokofrekvenčnim sušenjem

Vir: www.fdc.co.jp/products/cat_d/hed/hed.html

Preglednica 7: Časi sušenja z visokofrekvenco

Kind of Tree	Dimensions(mm)	Initial Moisture Content	Final Moisture Content	Drying Days
Birch	150*150*2000	60%	8-10%	16
Japanese Zelkova	40*350*2000	70	8-10%	7
Sen	55*300*4000	60	8-10%	6
Aodamo	80*1000*2500	65	8-10%	10
Oak	50*500*6000	60	8-10%	10
Elm	50*200*2000	60	8-10%	8
Japanese beech	50*200*4000	60	8-10%	4
Sliced Veneer	0.2--1.0t	70-80	8-10%	1
Apitong	45*300*4000	70	8-10%	7
Sepetia	105*105*320	60	8-10%	5
Teak	20*200*3000	60	8-10%	10
Philippin narra	65*65*300	40	8-10%	8
Nyatoh	40*300*3000	50	8-10%	6
Para rubber	100*100*1100	50	8-10%	7
Douglas fir	260*500*4000	40	8-10%	5
Matoa	50*300*3000	60	8-10%	7
Maobi	105*105*4000	60	8-10%	12
Bubinga	80*1200*6000	70	8-10%	10
Kind of Tree	Dimensions(mm)	Initial Moisture Content	Finish Moisture Content	Drying Days

Vir: www.fdc.co.jp/products/cat_d/hed/hed.html**POVZETEK IN RAZMISLEK OB POGLAVJU 10**

Različni postopki sušenja lesa so primerni zaradi zmanjšanja stroškov sušenja ali pa za izboljšanje kvalitete posušenega lesa, kar pa v glavnem pomeni tudi večje stroške, zato moramo paziti kateri postopek izberemo. Za odločitev izbire načina sušenja je potrebno upoštevati, kakšen izdelek bo iz tega lesa nastal in kakšna bo njegova dodana vrednost. Velik upliv na izbiro ima tudi obseg poslovanja oziroma količina proizvodov in njihova raznolikost.

Razmislek:

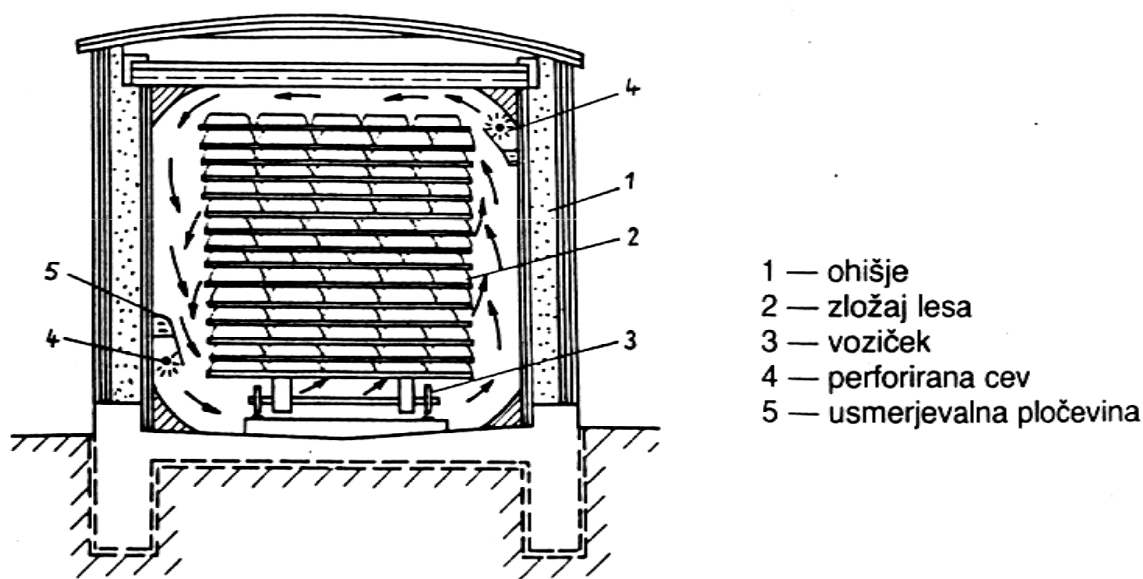
Izberi iz poglavja 10 enega od načinov sušenja, glede na izbran izdelek in obseg poslovanja?

Analiziraj različne postopke in utemelji izbran postopek!

11 HIDROTERMIČNA OBDELAVA LESA

Med hidrotermično obdelavo uvrščamo še parjenje, spreminjanje barve, sterilizacijo in plastifikacijo lesa.

Parjenje je toplotna obdelava lesa z direktnim ali indirektnim parjenjem. Razlika je v tem, da v prvem primeru nasičeno paro direktno spuščamo v parilnico, pri indirektnem načinu pa kondenzat izpareva iz dna parilnice v prostor. Les mora biti v parilnici čist, ker se v nasprotnem primeru pojavijo madeži. Parimo svež les tako, da ga segrevamo, parimo in ohlajamo. V fazi segrevanja do 100°C moramo paziti, da je dvig temperature postopen in relativna zračna vlaga 100%, druga faza parjenja traja od 2-4 dni glede na barvo, ki jo želimo doseči, pri 100% relativni zračni vlagi, tretja faza ohlajanja mora biti pravtako postopna in les vzamemo iz parilnice pri temperaturi 35°C .



Slika 82: Betonska parilnica lesa

Vir: MG, NM, VV, suš., lesa, 1985

Sprememba barve lesa je odvisna od drevesne vrste, ki je intenzivnejša pri listavcih, odvisna je še od temperature in nadtlaka, ki pospešuje barvne spremembe in začetne vlažnosti lesa, ki nesme biti pod 40%.

Sterilizacija poteka pri pogojih parjenja, ki zagotovi uničenje glivic, jajčec, insektov, razen spor glivic, ki prenesejo višje temperature.

Plastifikacija lesa se uporablja pri krivljenju in luščenju furnirja. Z temperaturo elastičnost lesa pada, plastičnost pa narašča. Temperatura za plastifikacijo naj bo do 150°C za trše lesove in debelejšje furnirje, za mehkejšje lesove pa je lahko nižja.



Slika 83: Parilna jama

Preglednica 8: Potrebni časi hidrotermične obdelave nekaterih drevesnih vrst

Drevesna vrsta	Trajanje hid.obd. (ure)	Temperatura °C
<i>Segrevanje</i>		
Javor, Oume	20 do 30	55
Koto	40	55 do 60
Anigre, Aodire	40 do 50	70
<i>Parjenje</i>		
Hrast	30 do 40	75
Bukev	40 do 100	90 do 100
Češnja, Brest, Oreh	90 do 100	100
Mansoninia, Zebrano	70 do 80	80
<i>Kuhanje</i>		
Bubinga	60	100
Afromoisa	50	100
Jesen	40 do 50	95 do 100

UVOD V POGLAVJE 12

Ker se v svetu poraba energije nenehno povečuje, je zelo pomembno poznati tudi trende na tem področju, saj lahko le na ta način pravočasno reagiramo in ohranimo svoje tržne deleže ali pa jih celo povečujemo. Obdelali bomo svetovno energetska politiko, in strukturo porabe energije, ki v tem trenutku temelji, kar v 80%-ih na končnih virih energije, torej energije, ki jo bo enkrat zmanjkalo.

Kaj bi storili, če bi se to zgodilo jutri?

Ker ste verjetno našli odgovor v obnovljivih virih energije, bomo v drugem delu tega poglavja preučili možnosti uporabe te energije v procesu sušenja lesa in sisteme, ki to omogočajo.

Z swot analizo ugotovi, kaj dobimo in kaj izgubimo z uporabo obnovljivih virov energije?

Dobljene rezultate primerjajte z poglavjem 12, drugimi viri in jih po potrebi dopolnite!

12 UPORABA OBNOVLJIVIH VIROV ENERGIJE V PROCESU SUŠENJA LESA

Preskrba človeštva z energijo bo v prihodnje eden od večjih problemov, ki se bodo dotaknili tudi lesno predelovalne industrije, predvsem v segmentu velike porabe energije, med katere zagotovo sodi sušenje lesa. Uporaba obnovljivih virov energije je možnost, ki jo bo potrebno postopoma uvajati v energetska svetovna bilanca, tako preko malih, kot velikih porabnikov energije.

Energija, ki jo seva sonce je osnovna energija drugim obnovljivim virom energije. Velik vpliv na uporabo obnovljivih virov energije imajo tudi podnebne spremembe, ki so posledica naravnih sprememb ali pa kot posledica delovanja človeka.

V zadnjem času se vse večjo vlogo spremembam pripisuje človeku. Pri tem govorimo o človeško pogojeni spremenljivosti podnebja (BERGANT IN KAJFEŠ-BOGATAJ, 2004).

Za uporabo sončne energije v procesu sušenja je potrebno preučiti razlike hitrosti sušenja v primerjavi s sušenjem na prostem, analizirati in vrednotiti eksperimentalne podatke, ter jih vgraditi v matematični model, ugotoviti površine potrebnih sprejemnikov sončne energije (SSE) za sušenje 1 m³ lesa, glede na geografski položaj solarne sušilnice.

Preskrba človeštva z energijo 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 nevarno ogroža naravno zemljino energetska in ekološka ravnovesje.

Ekološke spremembe se že kažejo tudi v obliki nastajajoče tople grede, kot posledica emisije toplogrednih plinov, ki preprečujejo dolgovalovno sevanje s površine zemlje in s tem njeno ohlajevanje v vesolje.

Glavno vlogo pri človeško pogojeni spremenljivosti podnebja igrajo emisije toplogrednih plinov (TGP: CO₂, CH₄, N_xO, O₃ ...) in aerosolov – mikroskopskih lebdečih delcev ali kapljic (najpomembnejši so sulfatni), ki spreminjajo sestavo ozračja (BERGANT IN KAJFEŠ-BOGATAJ, 2004). Haloni so plini, ki razgrajujejo ozonsko plast v stratosferi ter povzročajo pojav ozonskih lukenj, katerih posledica je povišano ultravijolično sevanje.

<http://www.kemis.si/haloni.htm>

Ker je z vidika energijske bilance učinek aerosola na zmanjšanje prepustnosti ozračja za sončno sevanje večji od učinka na zmanjšanje prepustnosti za sevanje površja, mu za razliko od TGP pripisujejo hladilni učinek (HOUGHTON IN SOD., 2001).

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-tisočkrat 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 na berlinskem vrhu 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. Uspešnost izvajanja globalne okoljske politike je v veliki meri odvisna od števila držav podpisnic Kjotskega sporazuma.

Kjotski protokol o zmanjšanju izpustov toplogrednih plinov je stopil v veljavo 16. februarja 2005. Industrijske države so se leta 1997 v japonskem Kjotu zavezale, da bodo v obdobju med letoma 2008 in 2012 znižale izpuste šestih glavnih toplogrednih plinov za najmanj pet odstotkov v primerjavi z letom 1990.

Z rusko ratifikacijo sporazuma je začel teči 90-dnevni rok za uveljavitev protokola, saj moskovski podpis pomeni, da so izpolnjena merila za to, da sporazum stopi v veljavo – pogoj je namreč podpis 55 držav, ki »poskrbijo« za 55% svetovnih izpustov.

Od podpisa protokola so leta 2001 odstopile ZDA, ki so odgovorne za približno četrtno vseh izpustov toplogrednih plinov, poleg ZDA pa protokola niso podpisale še tri industrijske države - Monako, Liechtenstein in Avstralija.) <http://www.evropska-unija.si/?p=102&id=2609>

V primerjavi z ostalim svetom ima Evropa nesporno vodilno vlogo v boju proti globalnemu segrevanju. Januarja 2005 je namreč EU vzpostavila prvi čezmejni sistem za trgovanje s pravicami za izpuščanje toplogrednih plinov, s čimer Evropa znatno prehiteva načrt svetovne sheme, ki naj bi bila v okviru Kjotskega protokola vzpostavljena leta 2008. Nov načrt, pri katerem je Evropski parlament odigral pomembno vlogo, bo EU omogočil uresničitev skupne zaveze iz Kjotskega protokola, da do leta 2012 zmanjša obseg toplogrednih plinov za 8 % v primerjavi z letom 1990.

Tekom dvajsetega stoletja se je povprečna temperatura v Evropi dvignila za približno eno stopinjo Celzija, segrevanje ozračja pa naj bi se v prihodnjih sto letih še nadaljevalo ali celo stopnjevalo. Poleg naravnih pojavov, kot so nihanja v aktivnosti Sonca, so za podnebne spremembe delno odgovorni tudi ljudje. Zaradi onesnaževanja ostaja toplota ujeta v atmosferi, s tem pa prihaja do učinka tople grede. Poleg nekaterih drugih plinov, kot so metan, dušikov oksid in fluorovodik, je glavni krivec ogljikov dioksid (CO_2), ki se proizvaja v industriji, transportu in ogrevalnih sistemih.

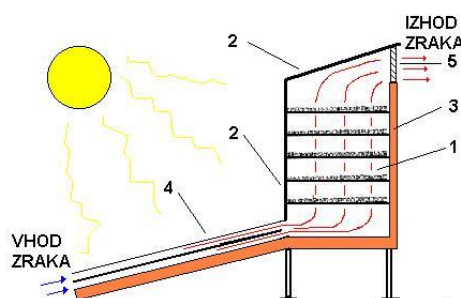
V Evropski uniji živi 5% svetovnega prebivalstva, ki proizvede kar 15% vseh toplogrednih plinov.) <http://www.elections2004.eu.int/highlights/sl/704.html>

V obdobju 2001 do 2030 se bodo v Sloveniji temperature zraka predvidoma povečale za $0,5^{\circ}\text{C}$ do $2,5^{\circ}\text{C}$, v obdobju 2031 do 2060 za 1°C do $3,5^{\circ}\text{C}$ in v obdobju 2061 do 2090 za $1,5^{\circ}\text{C}$ do $6,5^{\circ}\text{C}$ (BERGANT IN KAJFEŠ-BOGATAJ, 2004).

12.1 SPLOŠNO O POSTOPKU SUŠENJA LESA Z UPORABO SONČNE ENERGIJE IN STANJE NA TEM PODROČJU

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 predstavlja približno 80 % vseh kapacitet sušilnih naprav. Pri tem načinu sušenja se 80 do 85 % energije porabi kot toplotna energija, večinoma pridobljena iz lesnih ostankov, ostalih 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, 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. Solarno sušenje se je v veliki meri uveljavilo v sušilnih procesih pri proizvodnji kave, kar je prispevalo k zniževanju cene, večji konkurenčnosti in ohranjanju okolja. Večjo uporabo je zaznati v kmetijstvu, predvsem v segmentu predelave, kjer se srečujejo z hudo konkurenco na tržišču, zato uporabljajo dokaj enostavne solarne sušilnice, ki so primerne za sušenje nezahtevnih pridelkov sadja, zelenjave.....



1 SUŠINA; 2 OHIŠJE SUŠILNE KOMORE; 3 TOPLOTNA IZOLACIJA; 4 SPREJEMNIK SONČNE ENERGIJE

Slika 84: Solarna sušilnica za sadje in zelenjavo

Vir: WIBULSWAS AND NIYOMKARN, 1980

Optimizem nas lahko navdaja tudi z dejstvom, da traja sončno obsevanje na primer v Ljubljani 1942 ur letno, kar je razvidno iz spodnje preglednice, kjer so obdelani podatki v obdobju od leta 1991-2000 (RZS-HM 2004). Sončno obsevanje je najkrajše v decembru in znaša v povprečju 48 ur in najdaljše v mesecu juliju z 287 urami sončnega obsevanja, ostali meteorološki podatki, ki so pomembni pri projektiranju solarnih sistemov in predvsem solarnih sušilnic so za isto obdobje obdelani v tabeli, ki pa veljajo le za to mikrolokacijo.

Preglednica 9: Meteorološki podatki za Ljubljana-Bežigrad 1991-2000**LJUBLJANA-BEŽIGRAD**

	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
povp. temperatura (° C)	0.8	2.3	6.8	10.8	15.7	19.2	21.0	21.0	16.0	10.8	5.5	0.8	10.9
povp. najvišja temperatura (° C)	3.8	7.3	12.0	16.3	21.4	24.8	27.0	27.4	21.7	15.2	8.4	3.4	15.7
povp. najnižja temperatura (° C)	-1.9	-2.1	2.0	5.6	10.1	13.6	15.2	15.4	11.5	7.5	3.0	-1.5	6.5
absolutna najvišja temperatura (° C)	14.2	19.7	23.9	27.8	32.4	33.3	34.2	36.5	30.2	25.2	20.3	16.0	36.5
absolutna najnižja temperatura (° C)	-14.0	-14.6	-7.0	-1.8	2.2	6.3	8.4	5.8	3.4	-5.2	-7.1	-14.0	-14.6
št. dni z najnižjo temp. ≤ 0 °C	21.6	19.4	8.6	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	7.4	18.9	78.1
št. dni z najvišjo temp. ≥ 25 °C	0.0	0.0	0.0	0.6	7.8	15.0	23.3	22.4	6.6	0.1	0.0	0.0	75.8
povprečni tlak vodne pare (hPa)	5.4	5.3	6.7	8.6	11.8	14.7	16.2	16.7	13.9	10.8	8.0	5.8	10.3
povp. relativna vlažnost ob 7. uri	87.8	88.3	85.1	85.3	83.7	82.5	82.9	87.1	92.9	91.7	90.8	90.1	87.4
povp. relativna vlažnost ob 14. uri	73.0	58.4	52.8	51.1	49.6	51.8	48.6	48.0	56.9	65.3	75.7	79.6	59.3
povp. trajanje sonč. obsevanja (ure)	70	123	157	178	236	242	287	269	178	105	49	48	1942
št. jasnih dni (oblačnost < 2/10)	2.6	5.4	3.9	2.8	2.8	3.0	5.0	6.2	2.2	0.8	0.7	1.8	37.2
št. oblačnih dni (oblačnost > 8/10)	15.8	9.0	11.2	10.5	8.1	7.3	4.4	5.2	8.1	14.4	19.7	19.9	133.6
višina padavin (mm)	53	59	68	99	103	128	123	118	134	193	164	110	1352
št. dni s snežno odejo ob 7. uri	13.1	10.9	4.2	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	4.6	14.0	47.9
št. dni s padavinami ≥ 1 mm	6.3	4.6	6.6	9.3	10.2	10.4	9.1	8.9	10.2	10.9	11.7	8.8	107.0
št. dni z nevihto in grmenjem	0.5	0.8	1.0	3.2	5.9	8.2	8.4	7.5	5.0	3.1	2.1	0.4	46.1
št. dni z meglo	8.4	6.1	2.3	2.4	2.3	1.5	1.1	2.5	8.5	10.1	7.1	11.2	63.5

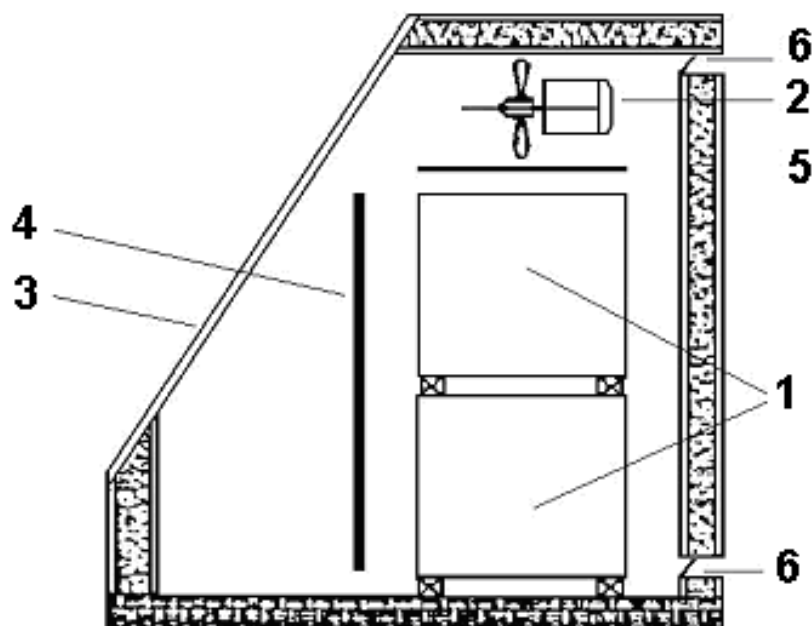
Vir: <http://www.rzs-hm.si>

12.2 SISTEMI SUŠENJA LESA S SONČNO ENERGIJO

Za solarno sušenje lesa se uporabljajo različno zahtevni sistemi, od dokaj preprostih, do zapletenih v kombinaciji z drugimi načini sušenja. V grobem delimo solarno sušenje na sisteme, ki so opisani v naslednjih štirih podpoglavjih.

12.2.1 Naravni sistemi ogrevanja

Najosnovnejši tip solarne sušilne komore predstavlja naravno ogrevanje preko direktnih sistemov (steklene stene), indirektnih sistemov (masivne stene ali Tombe-Michelovega zidu) in steklenjakov (zimskih vrtov). V praksi se izvajajo kombinirani sistemi, saj se tako izkoristijo vse prednosti ali nadomestijo slabosti posameznih izvedb (sl. 85). Sončno sevanje se preko zastekljenih odprtih 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.



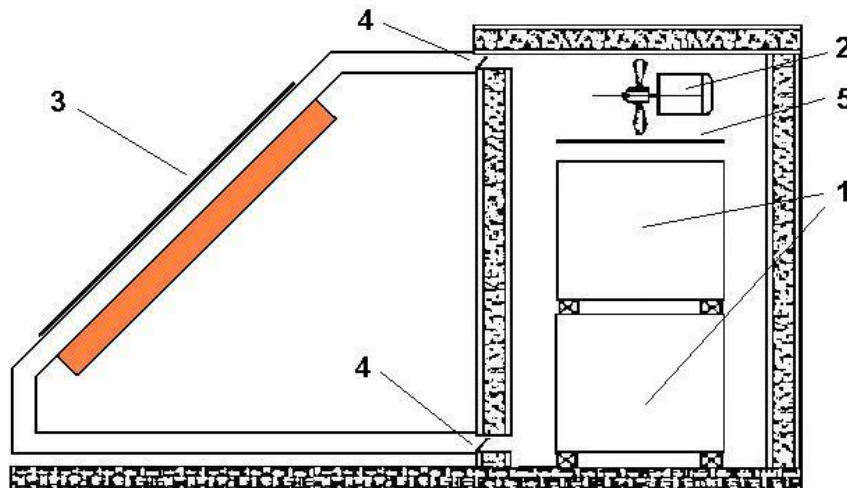
Slika 85: Enostavnejša izvedba solarne sušilne komore z naravno in prisilno konvekcijo: 1 - zložaj, 2 - aksialni ventilator, 3 - zasteklitev, 4 - absorptivna površina, 5 - stropna pregrada, 6 - lopute za izmenjavo zraka.

Vir: GORIŠEK IN NOVAK, 1998

Enostavnejše izvedbe solarne sušilnice so primerne za hitrosušeče, neobčutljive drevesne vrste, ki dopuščajo hitre spremembe ostrine sušenja, saj je regulacija klime v teh tipih sušilnic zelo težavna in počasna.

12.2.2 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 s pomočjo ventilatorjev prenaša energijo v sušilno komoro (sl. 86). Uporablja se več sistemov prenosa toplotne energije, iz zbirnega mesta do mesta porabe. Sistem z zrakom je relativno enostaven in poceni, največja težava 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 kompleksen in drag, vendar omogoča tudi akumuliranje toplote za uporabo v času, ko ni sončnega obsevanja.



Slika 86: Aktivni sončni sistem za sušenje lesa: 1 - zložaj, 2 - aksialni ventilator, 3 - sprejemnik sončne energije (SSE), 4 - lopute, 5 - stropna pregrada.

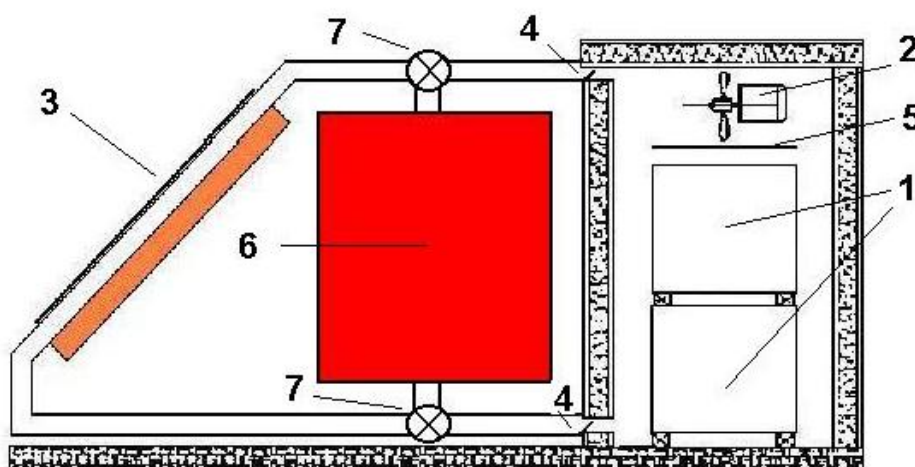
Vir: GORIŠEK IN NOVAK, 1998

Zračni sprejemniki sončne energije so primerni za celoletno uporabo in še posebej v zimskih razmerah, saj je specifična toplotna kapaciteta zraka majhna in zato rabimo sorazmerno malo energije za segretje zraka na višjo temperaturo, kar pa pomeni, da je slab nosilec energije v smislu količine.

Za vodne SSE je značilno, da so dobri nosilci količine energije in dobri akumulatorji toplotne energije, občutljivi pa so na mraz in na spremembo temperature.

12.2.3 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 (sl. 87) (TSCHERNITZ IN SIMPSON, 1979).



Slika 87: Aktivni sončni sistem z akumulacijo energije: 1 - zložaj, 2 - aksialni ventilator, 3 - sprejemnik sončne energije (SSE), 4 - lopute, 5 - stropna pregrada, 6 - akumulator toplote, 7 - tripotni ventil.

Vir: GORIŠEK IN NOVAK, 1998

Velikost akumulatorja je odvisna predvsem od vrste medija v katerega shranjujemo energijo, torej njegovih lastnosti, oziroma zmožnosti za absorpcijo količine energije na enoto mase pri spremembi temperature za stopinjo Kelvina.

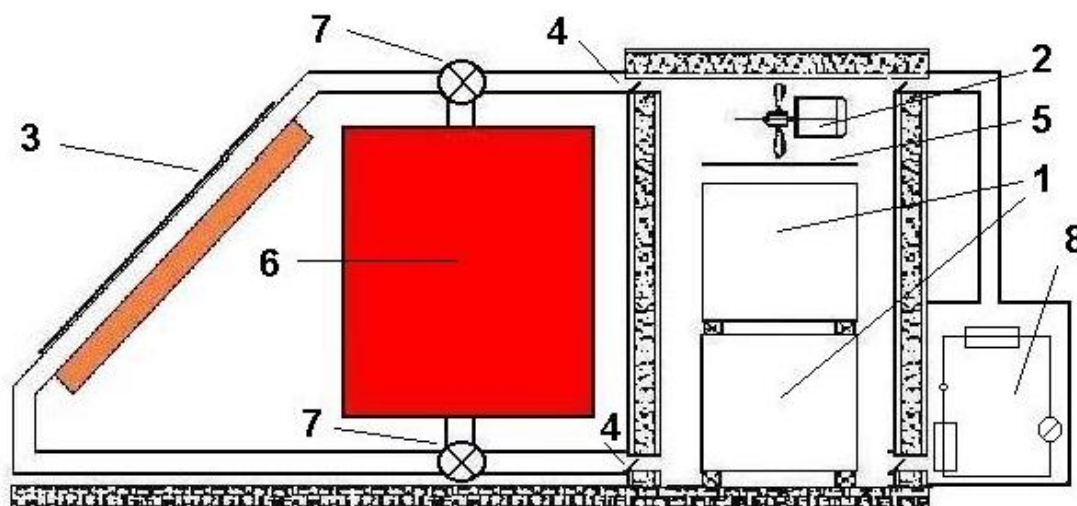
Preglednica 10: Specifična toplotna kapaciteta (c_p) nekaterih materialov primernih za akumulacijo toplote

MATERIAL	c_p [kJ/kg K]	MATERIAL	c_p [kJ/kg K]
kamen - granit	0,750	zrak	1,013
zemlja	0,880	voda	4,182
opeka	0,840	železo	0,465

Vir: BOJAN KRAUT, 1986

12.2.3 Kombinirani solarni sistemi

Učinkovitost solarnega sušenja se najbolj poveča v kombinaciji s kondenzacijskim sušenjem oziroma drugimi metodami izkoriščanja dodatne energije (sl. 88) (CHEN IN ROSEN, 1980).



Slika 88: Kombiniran (z akumulacijo toplote in s toplotno črpalko) aktivni sončni sistem za sušenje lesa: 1 - zložaj. 2 - aksialni ventilator, 3 - sprejemnik sončne energije (SSE), 4 - lopute, 5 - stropna pregrada, 6 - akumulator toplote, 7 - tripotni ventil, 8 - toplotna črpalka.

Vir: GORIŠEK IN NOVAK, 1998

Kombiniran način solarnega sušenja s toplotno črpalko je nepogrešljiv pri sušilnih sistemih, ki morajo delovati kontinuirano ne glede na vremenske pogoje in predvsem ne glede na čas trajanja sončnega obsevanja. Taki sistemi so običajno vezani na konstantno porabo lesa, ki je vezana na serijski način proizvodnje v lesni industriji.

Pri toplotni črpalki se uporabljajo različni mediji, kot so na primer zrak, kjer se izkorišča njegova latentna toplota, voda iz podtalnice, tekočih vod ali vod, ki služijo kot akumulatorji toplote, lahko pa tudi geotermalna energija in energija zemlje, ki je segreta na povprečno letno temperaturo mikrolokacije.

Glede na način zajema in količino potrebne energije so projektirani sistemi toplotnih črpalk, ki so prilagojeni potrebam in velikosti sušilnice in prevladujoči drevesni vrsti, katero v teh komorah sušimo.

12.3 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 sušenja 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 zagotavljeni kvaliteti osušenega materiala (s končno vlažnostjo odgovarjajočo ravnovesni vlažnosti mesta vgradnje, brez vlažnostnega in napetostnega gradienta ter vidnih razpok, veženja ali obarvanja).

V solarnih komorah je dosežena temperatura vedno nižja od predpisane v režimih za konvencionalne sušilnice, hkrati pa močno varira 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 odgovarjajoče ravnovesne vlažnosti pri solarnem sušenju pomembnejša od regulacije temperature (STEMMANN, 1990a, b, c, d; STEMMANN 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 energetske izgubami.

12.3.1 Regulacija temperature

Temperatura v solarni sušilni komori je funkcija intenzivnosti in trajanja sončne radiacije, temperature okolice, ter parametrov sušilne komore (izolativnost, zastekljenost, razmerja med površino SSE in volumnom sušilne komore, ter hitrosti prepihanja). Največjetežave pri regulaciji temperature povzroča omejena količina sončne energije in močna nihanja temperature (a - menjavanje dneva in noči, b - letni časi in c - vremenske razmere).

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 (GORIŠEK IN NOVAK, 1998).

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 dosežene 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 narašča 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 sprejemnikih sončne energije pa še ni zadostna (tudi zaradi naklona sprejemnikov sončne energije) (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 temperature. Solarne sušilnice se zato opremljajo z dodatnimi grelnimi napravami za povečanje hitrosti sušenja v času slabega ali "izpadlega" sončnega obsevanja (oblačno vreme, zima, noč). Sončni sprejemniki morajo biti grajeni tako, da ne ovirajo gibanja zraka preko absorberja, oz. tako, da v času slabše akumulacije sončne energije zraku preprečimo gibanje skozi SSE, kjer bi se lahko ohladil.

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

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

12.3.2 Izmenjava zraka

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

- a) ravnovesna vlažnost v komori mora biti višja od programsko določene, drugače bi izmenjava poostрила režim sušenje in močno povečala nevarnost nastanka napak
- 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 predstavlja 80 % vse izločene vode, za preostalih 20 % vezane vode pa je potrebno dve tretjini sušilnega časa (STEMMANN, 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).

12.3.3 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, še posebej v jutranjih urah, ko se komora segreva. Zaradi čimmanjših 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 les (pri manjšem razmerju je sprememba ravnovesne vlažnosti hitrejša).

12.3.4 Prisilno kroženje zraka

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

- (a) adiabatni pogoji - zaprt sistem,
- (b) izmenjava zraka z okolico,
- (c) kroženje zraka preko SSE in
- (d) kroženje zraka preko 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 smotrno 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 smotrno, saj tako les obdrži višjo temperaturo. Takšni pogoji tekom noči 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 sprejemnika sončne energije in temperature v sušilni komori, saj je le-ta najugodnejši pokazatelj za začetek prepihanja.

12.3.5 Površina sprejemnikov sončne energije

Prav gotovo je razmerje med površino SSE in neto kapaciteto komore signifikanten parameter pri proučevanju solarnega sistema. Nizko razmerje lahko vpliva na zelo dolg čas sušenja, visok pa na visoke investicijske stroške. Določitev optimalnega razmerja je v tesni odvisnosti od inklinacije absorptivnih površin, izolacije, transparentnosti zunanjih površin ipd.

Optimalna površina sprejemnikov sončne energije je odvisna tudi od lesne vrste, debeline sortimentov, makro in mikro lokacije, zahtevane oz. zelene hitrosti sušenja ter vrste in oblike sušilnice oz. zbiralnikov (HELMER, 1986, PALMER & KLEINSCHMIDT, 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).

12.3.6 Hitrost sušenja

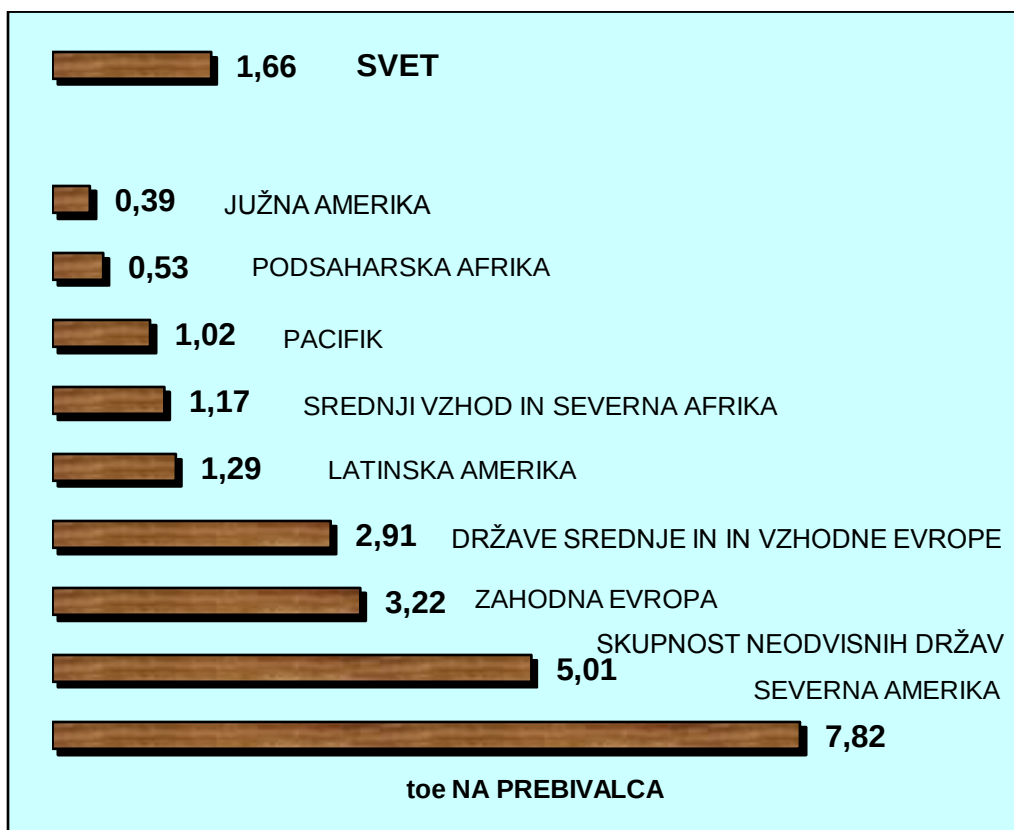
Hitrost sušenja v solarni sušilnici je vedno večja od hitrosti sušenja na prostem. Zimsko sušenja v solarnih sušilnicah je za 37 % počasnejše od poletnega sušenja, medtem, ko je zimsko sušenje na prostem za 51 % počasnejše kot poletno (GORIŠEK IN NOVAK, 1998). Solarno sušenje je tako v primerjavi s sušenjem na prostem bolj učinkovito pozimi. Sezonska nihanja imajo na solarno sušenje manjši vpliv kot na sušenje na prostem.

Pomembna prednost solarnega sušenja je tudi ta, da je les v komori in je tako zaščiten pred vremenskimi neugodnostmi, kot sta v prvi vrsti dež in sneg, ki dodatno povzročata navlaževanje sušечеlega lesa in znatno podaljšata čas sušenja, saj mora najprej odhlapeti površinska voda, nato voda, ki jo je les vpil, od tu pa se sušenje nadaljuje. Velik vpliv ima na naravno sušenje tudi visoka relativna zračna vlažnost in povišana ravnovesna vlažnost, ki predvsem v končni fazi naravnega sušenja povzroča navlaževanje in podaljšanje časa sušenja, pri solarnem sušenju pa je les v zaprti komori in kljub neugodnim vremenskim pogojem ohranja stopnjo suhosti.

12.4 PORABA ENERGIJE V SVETU

V letih od 1960 do 1990 so se svetovne potrebe po energiji znatno povečale. V tem obdobju je svetovna poraba energije iz 3,3 Gtoe narasla na 8,8 Gtoe, do leta 2020 pa se predvideva povpraševanje po energiji v višini 13 do 16 Gtoe. (WEC Commission, 1993)

Raba energije po svetu je zelo različna in je odvisna predvsem od razvitosti posameznega zemljepisnega območja.



Slika 89: Povpraševanje po energiji na prebivalca leta 1990 po zemljepisnih območjih

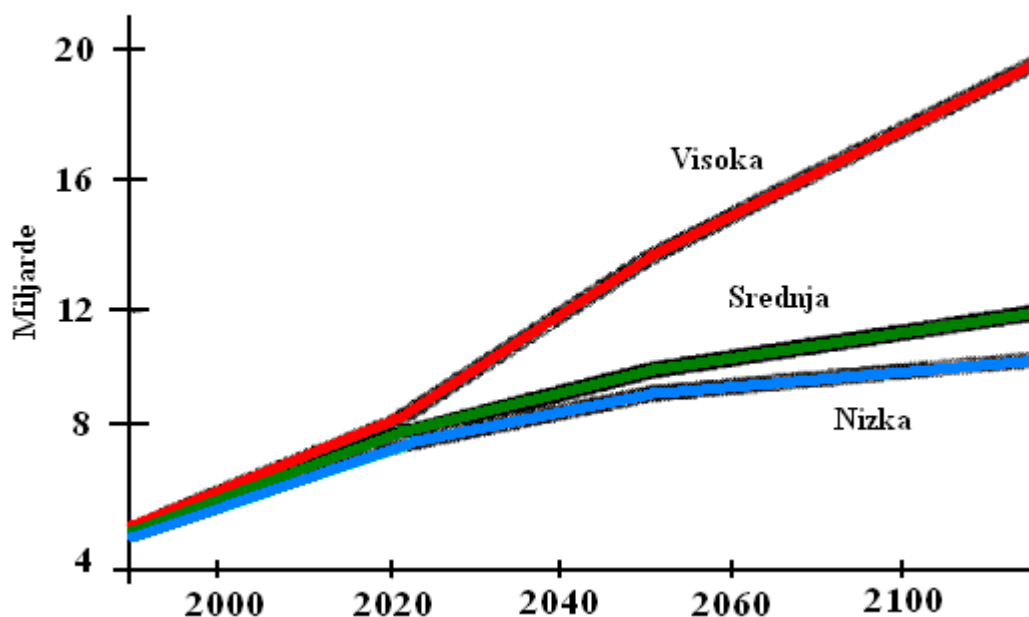
Vir: WEC Commission, 1993

Slika 89 prikazuje povpraševanje po energiji na prebivalca v toe po zemljepisnih območjih za leto 1990.

Seveda pa je poleg zemljepisnega območja, oziroma razvitosti, poraba energije močno odvisna tudi od rasti prebivalstva.

Po predvidevanjih Svetovnega energijskega sveta naj bi do leta 2020 naraslo na 8,09 milijarde ljudi od 5,29 milijarde leta 1990 in 3,02 milijarde leta 1960.

Po predvidevanjih Združenih narodov in Svetovne banke je rast prebivalstva prikazana na sliki 90.



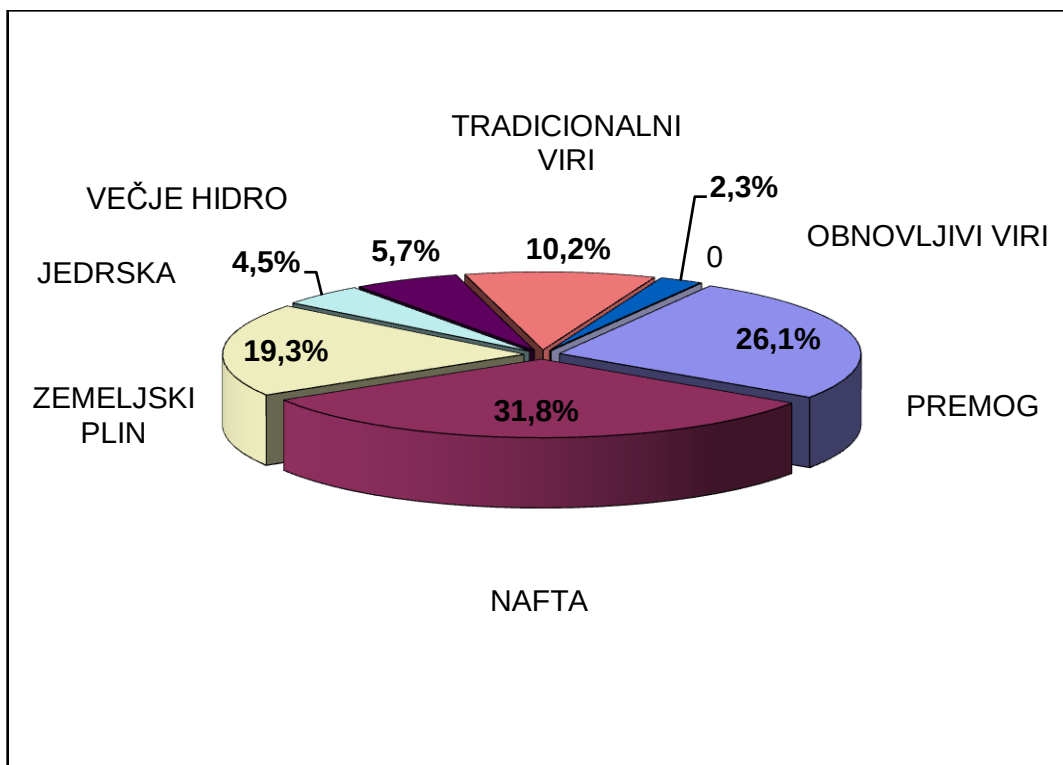
Slika 90: Ocene rasti svetovnega prebivalstva do leta 2100
Vir: WEC Commisson, 1993; ZN in Svetovna banka

Nekateri demografi so prepričani, da se bo v drugi polovici 21. Stoletja rast svetovnega prebivalstva ustalila med 10 in 15 milijardami ljudi. Ker so v zadnjih 30. letih k svetovni rasti prebivalstva 87% prispevale države v razvoju in so energetske slabo preskrbljene je zelo verjetno, da bodo svetovne potrebe po energiji najbolj narasle v teh državah.

Energijska intenzivnost je poleg rasti prebivalstva močno odvisna tudi od gospodarske rasti in učinkovite rabe energije, ki je definirana, kot vsak ukrep proizvajalca ali porabnika energije, ki zmanjša porabo energije, ne, da bi s tem prizadel raven tega, kar energija omogoča. (»Energy Efficiency and Environment«, 1991 str.48)

12.4.1 Struktura porabe virov energije

Svetovno potrebo po energiji krijejo v višini 77,2% komercialna fosilna goriva. Glede na to, da je svetovna energetika vezana na končne vire energije, kot so fosilna in jedrska energija, ki skupaj predstavljata 81,7 % energije, je ta odvisnost zastrašujoča. Na sliki 91 je prikazana struktura porabe po virih energije leta 1990.



Slika 91: Struktura porabe virov energije leta 1990

Vir: WEC Commisson, 1993

Polek neugodne strukture virov energije, predstavlja velik problem tudi dnevna politika, ki z subvencijami negativno vpliva na razvoj obnovljivih virov energije.

Cene energije velikokrat ne pokrivajo niti stroškov proizvodnje, kaj šele vpliva na družbo in okolje, tako imenovane stranske stroške. (WEC, 1993)

Študije OECD ocenjujejo, da so komercialne cene v deželah v razvoju in državah v prehodu subvencionirane v povprečju s 30% do 50%.

Svetovna banka opozarja, da v državah v razvoju prodajajo elektriko po ceni, ki krije komaj 40% proizvodnih stroškov.

»Take subvencije na veliko razsipajo kapital in energijske vire. Subvencioniranje cene elektrike je škodljivo za gospodarstvo in okolje. Nizke cene povzročajo pretirano povpraševanje in spodkopavajo dohodek. Podcenjenost elektrike tudi odvrača investicije v nove, čistejšje tehnologije in energijsko bolj učinkovite postopke.« (Energy Efficiency and Conservation in the Developing World, SB, januar 1993, st. 14)

Torej glavna problema sta struktura virov energije in cenovna politika, zato je v prihodnje pričakovati, da se bo ob upoštevanju stranskih stroškov v ceni energije, popravila tudi struktura virov energije. Ob upoštevanju celotnih stroškov se bo najprej povečala učinkovitost izrabe energije, zmanjšali se bodo negativni vplivi na okolje in povečale se bodo investicije v energetske vire prihodnosti, ki so brez predznaka končna energija in okolju prijaznejša.

12.4.2 Energijske potrebe do leta 2020

V svetovnem merilu se ocenjuje, da bo poraba energije v letu 2020 nekje med 13 Gtoe in 16 Gtoe. Zelo velika verjetnost je, da se bo v obdobju od leta 2030 do 2080 preskrba z nafto in zemeljskim plinom resno omejila in se bo uporabljala v druge donosnejše namene. Po najnovejših podatkih, ki jih je zbral Svetovni energijski svet, so dokazane zaloge fosilnih goriv prikazane v preglednici 11.

Preglednica 11: Dokazane rezerve zalog goriv

	OCENA KUMULATIVNE PROIZVODNJE DO 1990 (GTOE)	OCENA DOKAZANIH REZERV V LETU 1990 (GTOE)	OCENA REZERV L. 1990 V ODNOSU NA LETNO PROIZVODNJO V (LETIH)
Premog (brez lignita)	Ni podatkov	496	197
Lignit	Ni podatkov	110	293
Nafta	86	137	40
Zemeljski plin	40	108	56

Vir: WEC Commisison 1993, Survey of Energy Resour

Ker so zaloge fosilnih virov energije končni, je pričakovati, da se bo delež obnovljivih virov energije v prvem stoletju tega tisočletja povečal.

Po ocenah SES naj bi OVE do leta 2020 prispevali v skupne potrebe po energiji med 2,9 Gtoe in 3,3 Gtoe, kar pa je odvisno tudi od podpore vlad posamezne države.

Najbolj optimistične napovedi trdijo, da bi lahko obnovljivi viri energije že leta 2025 prispevali 25% goriva za neposredno uporabo in 60% svetovne elektrike. (T.B.JOHANSSON et al.: »Renewable Energy«, 1993)

Odbor SES ocenjuje, da bi ob močni politični podpori bil prispevek v letu 2020 novih obnovljivih virov energije okoli 1,3 Gtoe, kar je razvidno iz preglednici 12.

Preglednica 12: Minimalni in maksimalni prispevki obnovljivih virov energije

	V LETU 2020 "MINIMUM"		V LETU 2020 "MAKSIMUM" Z MOČNO PODPORO POLITIKE	
	Mtoe	v % od celote	Mtoe	Mtoe
"moderna" biomasa	243	45	561	42
Sončna	109	20	355	26
Veter	85	15	215	16
Geotermalna	40	7	91	7
Majhne hidro	48	9	69	5
Oceanska	14	3	54	4
Skupaj	539	99*	1345	100
V % od skupnega povpraševanja		3-4		8-12
Opomba: leta 190 so obnovljivi viri prispevali 164 Mtoe (1,9%) k vsem energijskim potrebam				
* razlika zaradi zaokroževanja				

Vir: WEC Comission 1993

Seveda pa povečanje deleža OVE predstavlja tudi večja investicijska vlaganja, kar pomeni, da bo v prihodnje za ta namen zagotovljeno tudi več sredstev, kar je razvidno iz spodnje preglednice.

Preglednica 13: Ocenjene skupne investicije v obnovljive vire (miljarde US\$)

	TEKOČI RAZVOJ			MOČNEJŠA POLITIČNA PODPORA		
	2000	2010	2020	2000	2010	2020
Sonča	52	134	313	65	265	1205
Veter	14	62	181	16	98	412
Geotermalna	15	20	30	20	50	80
Moderna biomasa	50	100	150	66	140	260
Ocean	1	10	55	2	50	150
Male hidroelektrarne	21	50	100	36	88	150
Vmesno skupaj	153	376	829	205	691	2257
Prenos	10	23	55	15	47	141
Skupaj	163	399	884	220	738	2398

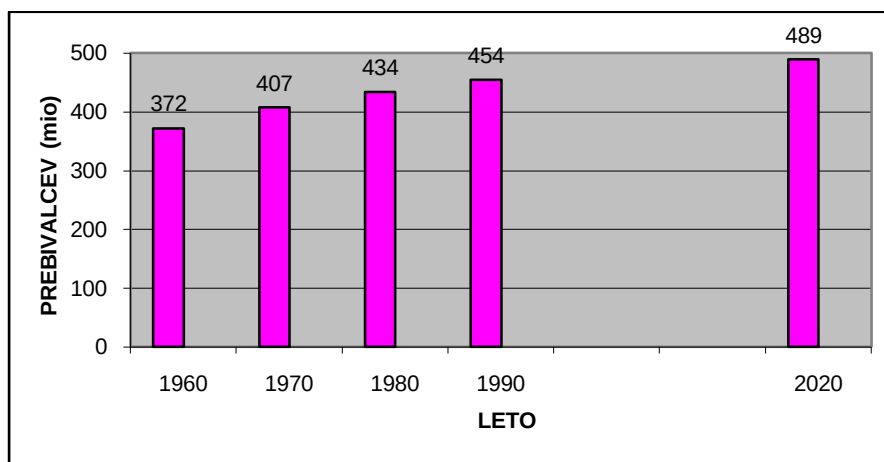
Vir: WEC Comission 1993

12.4.3 Značilnosti zahodne Evrope

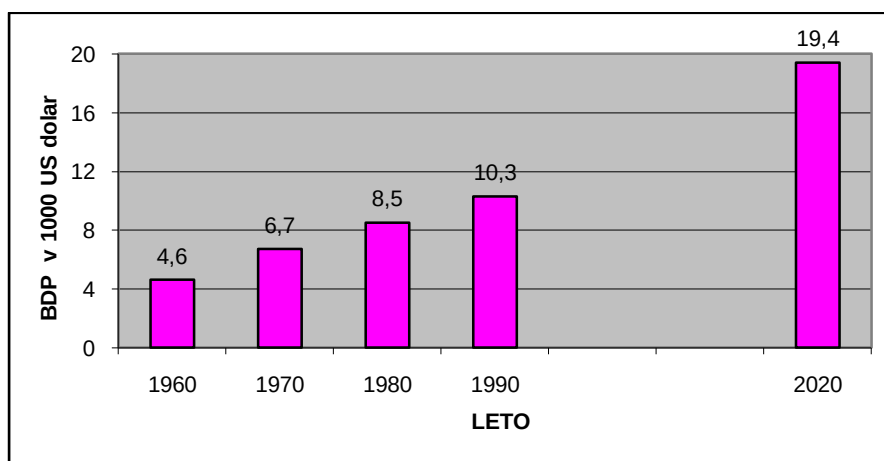
Zahodna Evropa je že danes uvoznik energije, saj troši energijo 9% svetovnega prebivalstva, ki razpolaga z 23% svetovnega gospodarstva in predstavlja 18 % svetovne komercialne primarne energije, ima pa 7% dokazanih svetovnih zalog premoga in 5% dokazanih svetovnih zalog zemeljskega plina. (WEC Commisson 1993)

Na slikah 92-98 so prikazani parametri, ki relevantno vplivajo na porabo energije in na katerih temeljijo projekcije do leta 2020.

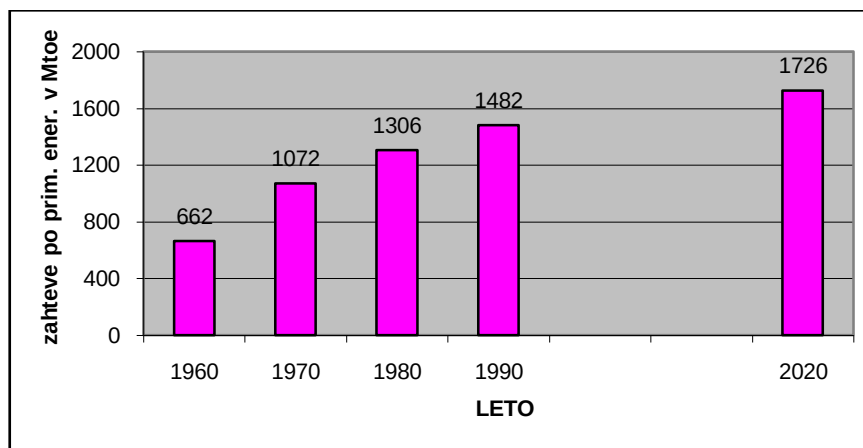
Podatki o rasti prebivalstva so izdelani na podlagi podatkov ZN, vsi ostali pa se nanašajo na SES-ov primer B.



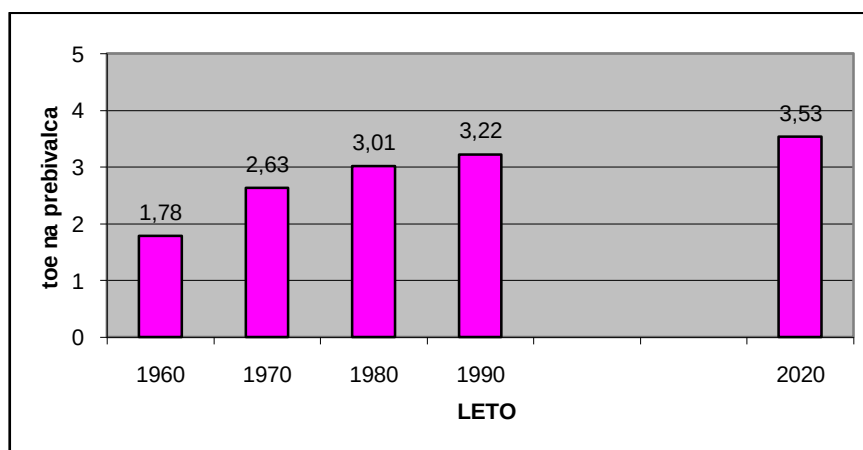
Slika 92: Število prebivalcev na Zemlji in projekcija za leto 2020
Vir: WEC Commisson 1993



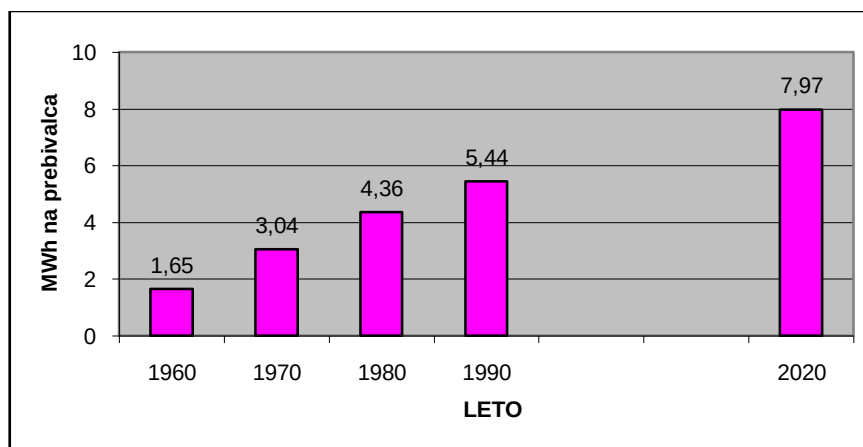
Slika 93: Rast BDP v 1000 US\$ na prebivalca
Vir: WEC Commisson 1993

**Slika 94:** Rast porabe primarne energije v Mtoe

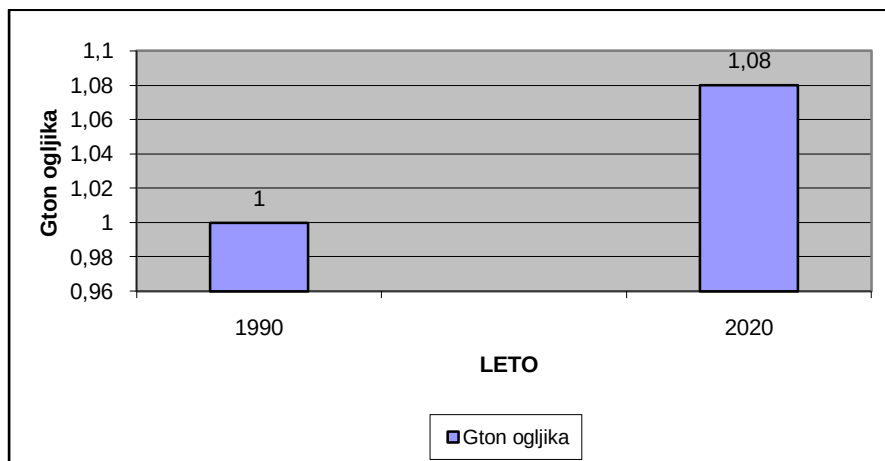
Vir: WEC Commisson 1993

**Slika 95:** Rast porabe primarne energije na prebivalca v toe

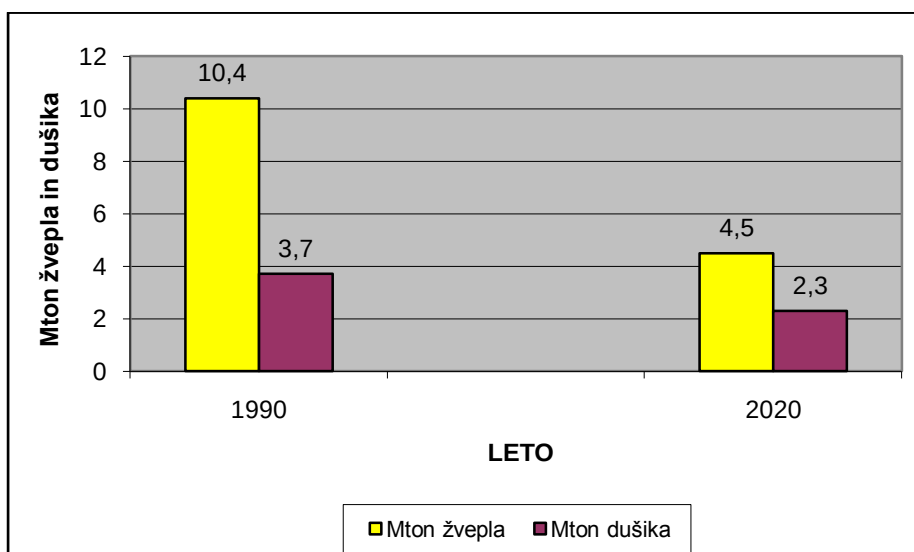
Vir: WEC Commisson 1993

**Slika 96:** Poraba energije na prebivalca v MWh

Vir: WEC Commisson 1993



Slika 97: Izpust CO₂ v Gton
Vir: WEC Commisson 1993



Slika 98: Izpusti žvepla in dušika v Mton
Vir: WEC Commisson 1993

12.5 SONCE - VIR ENERGIJE

Premier Sonca je 1.391.960 km in je oddaljeno od Zemlje $1,495 \times 10^8$ km (3.aprila in 23.septembra).

Gostota sončne energije pri tej oddaljenosti znaša $1,353 \text{ kWh/m}^2$, kar je solarna konstanta.

Na Soncu se v nuklearnih procesih vsako sekundo približno 600 milijonov ton vodika pretvori v 566 milijonov ton helija, pri čemer se $4,133 \times 10^6$ ton mase pretvarja v energijo.

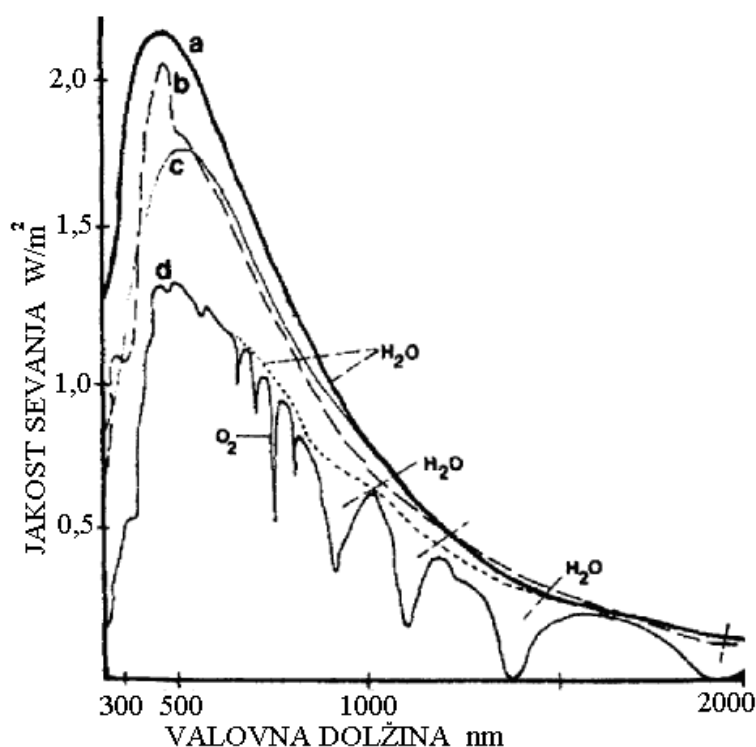


Slika 99: Slika Sonca; NASA, Skylab, dne 2.maj 1973
Vir: atlas sveta 1996

Iz enačbe $E = m \times c^2$ lahko izračunamo sevanje Sonca v vesolje.

$$E = m \times c^2 = (4,133 \times 10^9) \times (3 \times 10^8)^2 = 3,7197 \times 10^{26} \text{ Ws}$$

Celotna energija, ki jo Sonce seva v vesolje v obliki elektromagnetnih valov z različno valovno dolžino je prikazana na sliki 100.



Slika 100: Spektralni sestav sončnega sevanja
Vir: NOVAK, 1982

Na zgornji sliki predstavljajo krivulje spektralno porazdelitev sončnega sevanja in sicer:

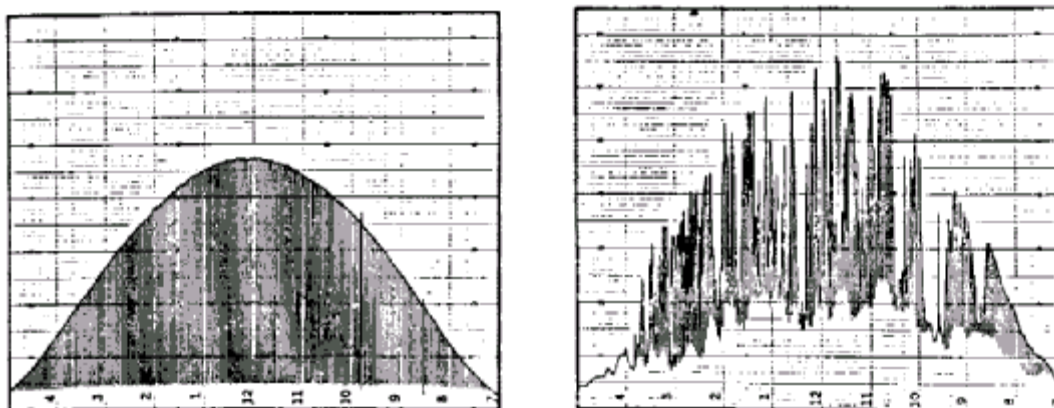
(a) črnega telesa na $T=6000\text{ K}$, (b) sevanje izven atmosfere, (c) sevanje črnega telesa na $T=5630\text{ K}$ in (d) sevanje po prehodu skozi vlažno atmosfero.

Le del sončnega sevanja dospe na površino zemlje v obliki žarkov (to sevanje imenujemo direktno sončno sevanje, $G_{\text{dir},o}$), del sevanja, ki se je v atmosferi razpršil pa dospe na površino zemlje kot razpršeno sevanje (to sevanje imenujemo difuzno sevanje, $G_{\text{dif},o}$). Celotno sončno obsevanje, ki predstavlja vsoto obeh komponent imenujemo globalno sončno sevanje (S.MEDVED, 1993).

Celotno ali globalno sončno obsevanje izrazimo z izrazom:

$$G_{\text{glob},o} = G_{\text{dir},o} + G_{\text{dif},o}$$

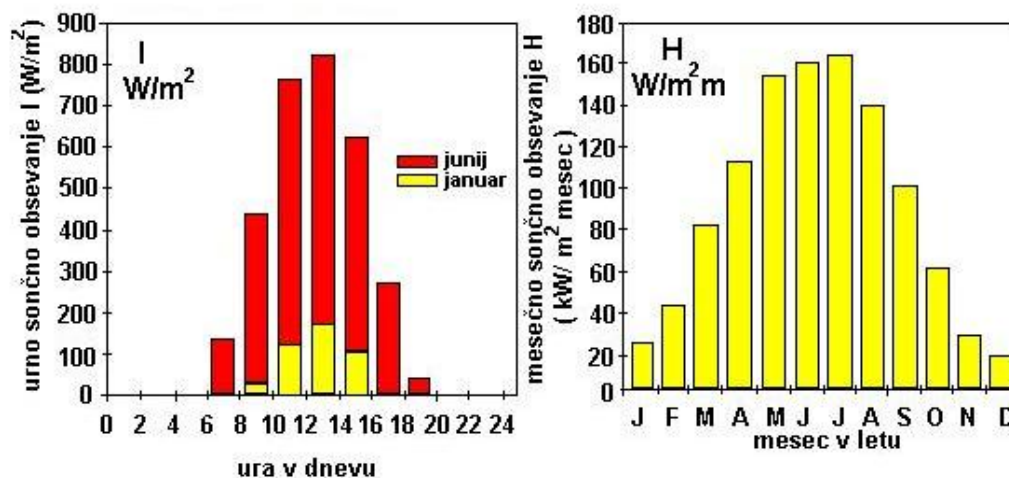
Index »o« označuje sevanje na horizontalno površino. Globalno in difuzno sončno sevanje na horizontalno površino je prikazano na sliki 101.



Slika 101: Globalno in difuzno sončno sevanje na horizontalno ploskev ob jasnem in oblačnem dnevu (Ljubljana, 8. in 12. Maj 1998)

Vir: S.MEDVED, 1993

Uporabni podatki za načrtovanje solarnih sistemov so moč in energija sonca, ki jo sprejemamo na površini Zemlje, kar je vidno na diagramu 1, za Ljubljano.



Slika 102: Povprečno sončno obsevanje v Ljubljani.

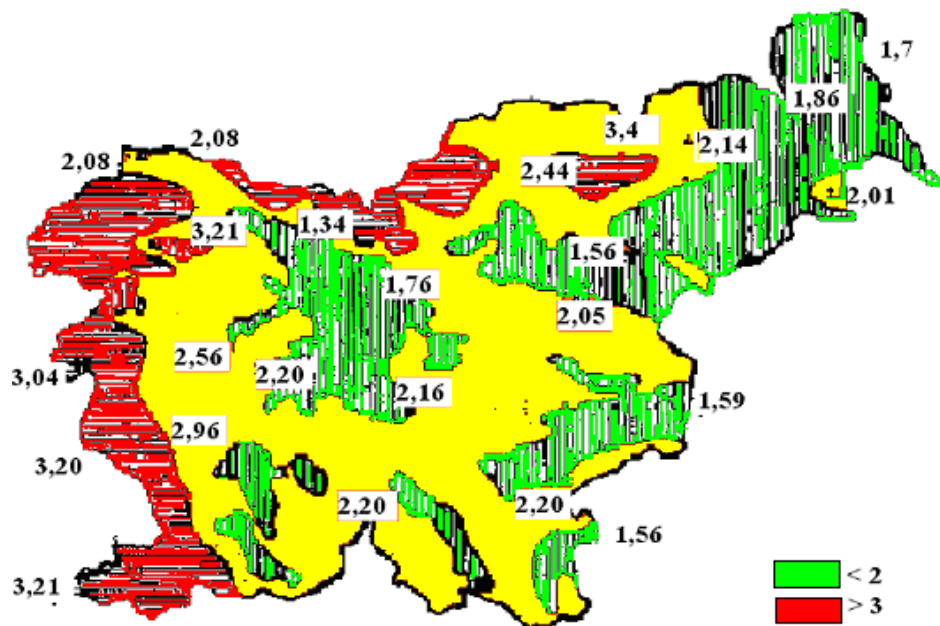
Vir: MEDVED IN NOVAK, 2000

12.5.1 Sončna energija v Sloveniji

Za projektiranje solarnih sistemov moramo imeti osnovne podatke, ki nam omogočajo določitev velikosti posameznih sistemov glede na njihovo geografsko pozicijo.

Ker je Slovenija geografsko zelo razgibana, so tudi pogoji dokaj različni. Na sliki 103 je geografska razporeditev 20-letnega povprečja dnevnega trajanja sončnega obsevanja v

Sloveniji za januar v urah (1960-1979). Ti podatki so bili upoštevani pri projektiranju eksperimentalne pilotne solarne sušilnice.



Slika 103: Čas povprečnega dnevnega sončnega obsevanja v januarju

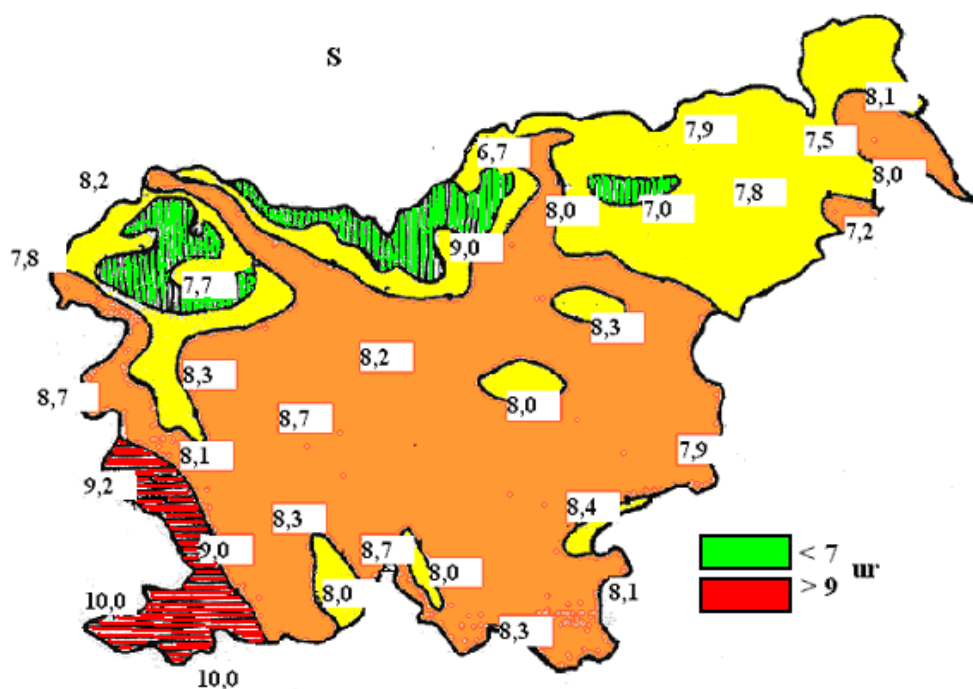
Vir: Sončno obsevanje v Sloveniji, 1982

Na zgornji sliki vidimo, da je v Sloveniji v januarju čas povprečnega dnevnega trajanja sončnega obsevanja od 1,24 ure pa do 3,38 ure.

Prav zaradi velike geografske razgibanosti Slovenije so tudi razlike v tem mesecu zelo različne in dosegajo skoraj razmerje 1:3.

Manj kot 2. uri povprečnega dnevnega trajanja sončnega obsevanja označujejo področja označena z navpičnimi črtami. Področja z več kot 3. urami povprečnega dnevnega trajanja sončnega obsevanja pa so označena z vodoravnimi črtami.

Na sliki 104 je prikazana geografska razporeditev 20-letnega povprečja dnevnega trajanja sončnega obsevanja v Sloveniji za julij v urah (1960-1979).



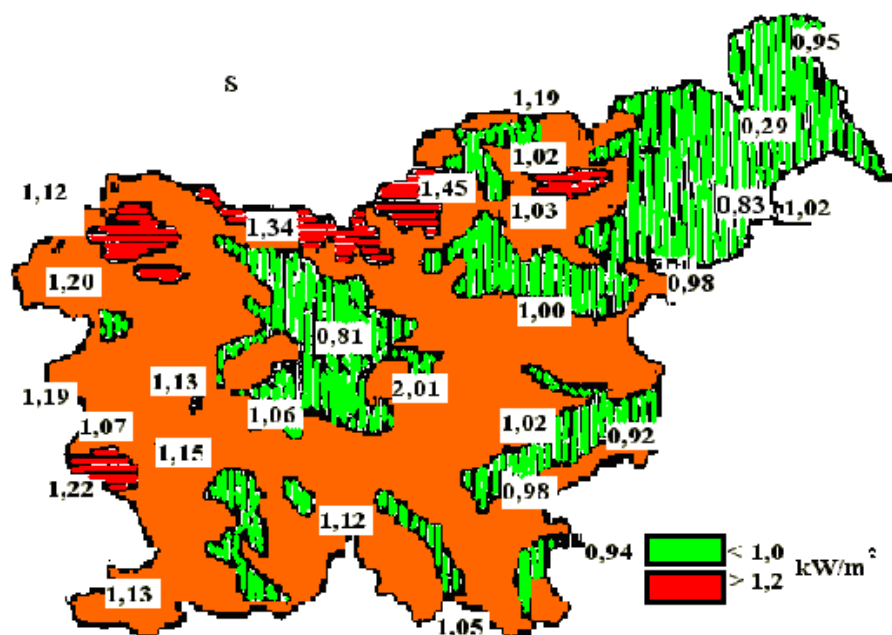
Slika 104: Geografska razporeditev 20 – letnega povprečja dnevnega trajanja sončnega obsevanja v Sloveniji za juliju v urah (1960 – 1979).

Vir: Sončno obsevanje v Sloveniji, 1982

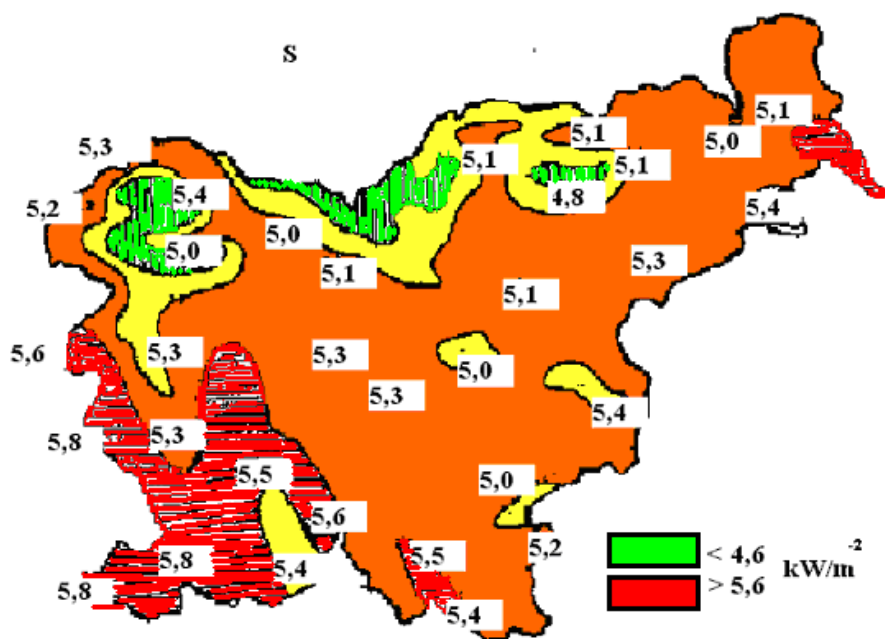
Na zgornji sliki vidimo, da je v Sloveniji v juliju čas povprečnega dnevnega trajanja sončnega obsevanja od 6,2 ure do 10,0 ur.

V poletnih mesecih so razlike glede na geografski položaj manj izrazite kot pozimi, saj dosegajo razmerje manjše od 1:2, kar pa se še vedno šteje za izrazito različne pogoje.

Na sliki 105 je januarska geografska razporeditev dnevne energije globalnega obsevanja v Sloveniji pri tleh v kWh /m². Iz slike lahko vidimo, da se povprečna dnevna energija globalnega obsevanja giblje v mejah od 0,83 kWh/m² v ljubljanski kotlini pa do 1,34 kWh/m² v Julijcih.



Slika 105: Januarska razporeditev dnevne energije globalnega sevanja pri tleh v kWh/m²
Vir: Sončno obsevanje v Sloveniji, 1982



Slika 106: Julijska razporeditev dnevne energije globalnega sevanja pri tleh v kWh/m²
Vir: Sončno sevanje v Sloveniji, 1982

Na sliki 106 je julijska geografska razporeditev dnevne energije globalnega obsevanja v Sloveniji pri tleh v kWh/m².

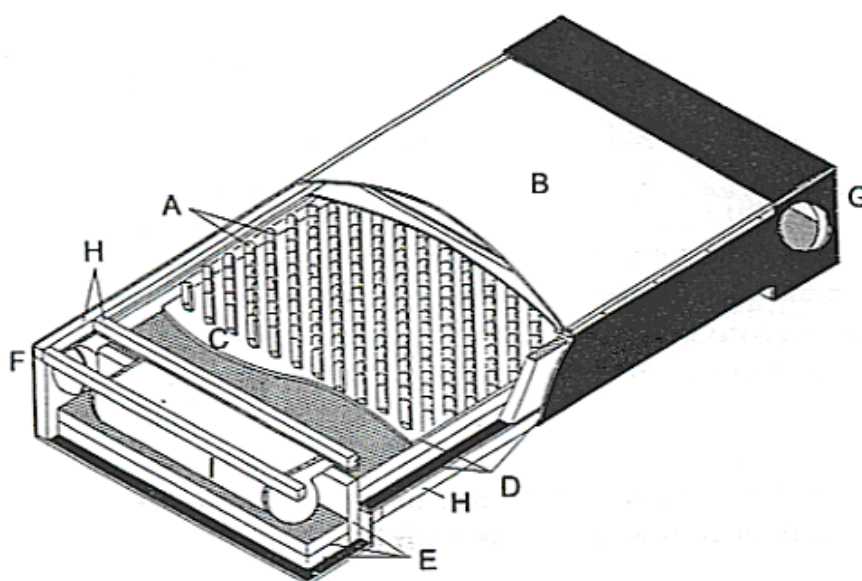
Iz slike lahko vidimo, da se povprečna dnevna energija globalnega obsevanja giblje v mejah od 4,3 kWh/m² v Julijcih pa do 5,8 kWh/m² ob slovenski obali.

Polek osnovnih podatkov o trajanju sončnega obsevanja v Sloveniji in energij globalnega sevanja pri tleh je pri projektiranju potrebno upoštevati tudi temperature, tako maksimume kot

minimume, ter povprečne dnevne, mesečne, letne in večletna povprečja, ki so bila podrobno obdelana v diplomskem delu.

Zaradi podnebnih sprememb in novejših podatkov je pri projektiranju novih solarnih sistemov smiselno upoštevati novejša meteorološke podatke

12.6 SOLARNA SUŠILNICA

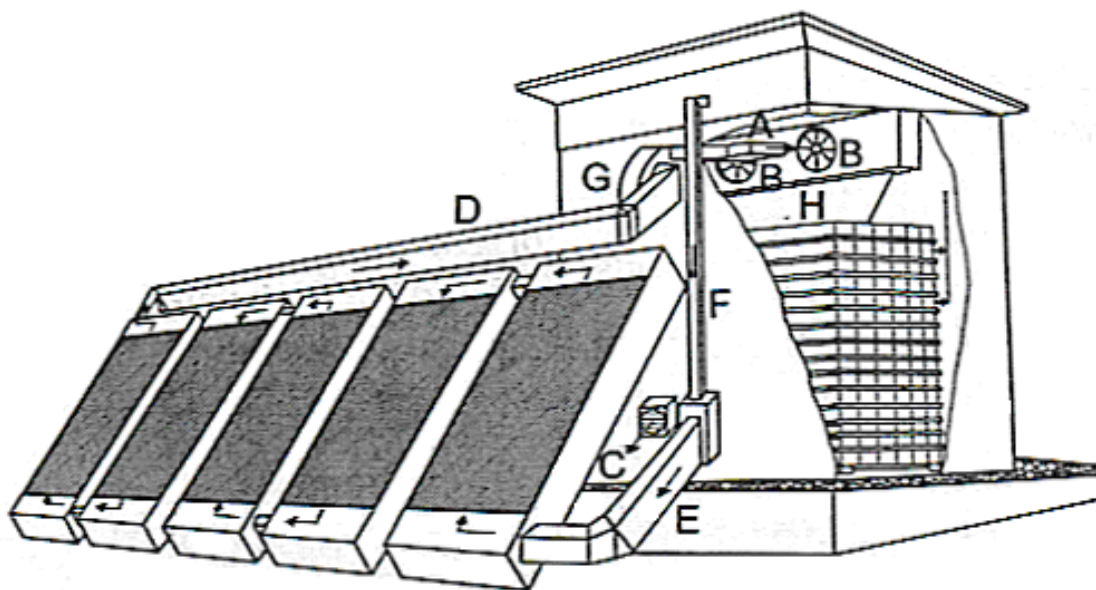


Slika 107: Toplozračni sprejemnik sončne energije: (A) Al polcilindrični nastavki; (B) dvojni panelni pokrov; (C) 0,4 Al pločevina absorberja; (D) 12mm podložna vezana plošča; (E) ekspanziran polystyrene; (F) vhodna odprtina za zrak; (H) leseni okvir; (G) izhodna odprtina za segreti zrak

Vir: KAVVOURAS AND SKARVELIS, 1996

Način pridobivanja toplotne energije s pomočjo sonca je izvedena s pomočjo toplozračnih sprejemnikov, katerih konstrukcija je opisana pod sliko 107. Zanimiva je izvedba absorberja, ki je izveden s povečano površino absorberja, kar je nujno za predajo absorbirane energije iz pločevinastega, torej trdnega telesa na plinast medij, ki je v tem primeru zrak. Pri prenosu energije iz trdnega telesa na plinasti medij igra pomembno vlogo prestopnostni koeficient α [W/ m² K], ki je v tem primeru razmeroma majhen, zato je edina rešitev povečanje površine absorberja.

V tem primeru solarne sušilnice gre za osnovni tip aktivnega izkoriščanja sončne energije brez ostalih dodatnih komponent.



Slika 108: Solarna sušilnica za les: (A) vpihovalnik segretega zraka; (B) aksialni ventilator; (C) izhodna loputa za prezračevanje; (D) toplozračni sprejemniki sončne energije z kanali; (E) povratni kanal; (F) mešalni kanal; (G) vpihovalnik; (H) zaslonka

Vir: KAVVOURAS AND SKARVELIS, 1996

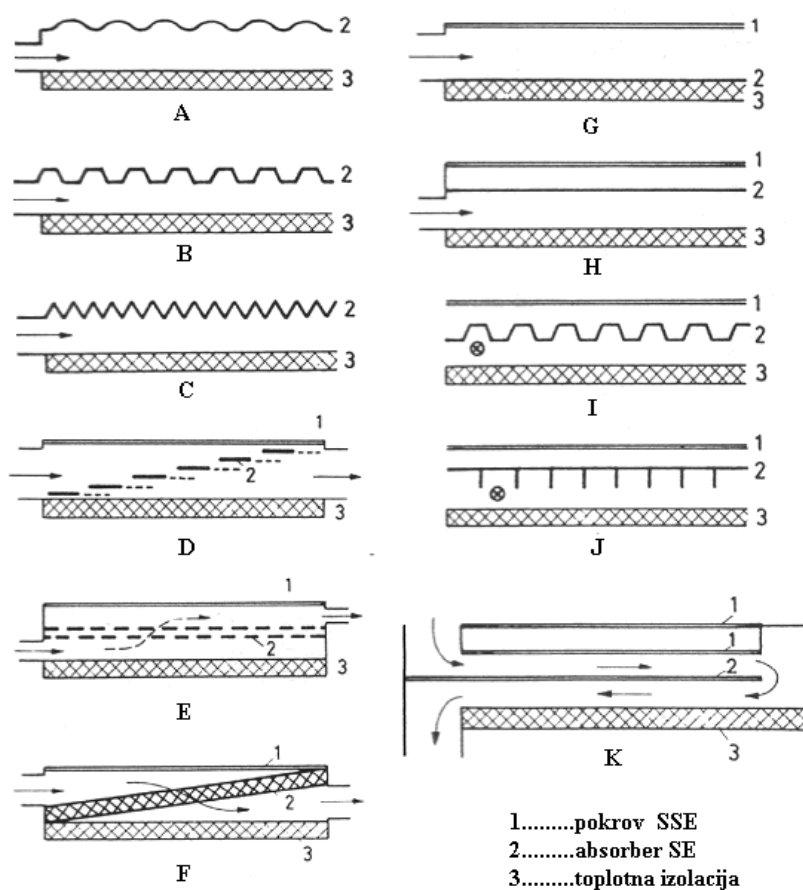
12.7 SPREJEMNIKI SONČNE ENERGIJE

Sprejemniki sončne energije so ključni element pri konstrukciji solarne sušilnice, saj je prav od njih v največji meri odvisna hitrost sušenja.

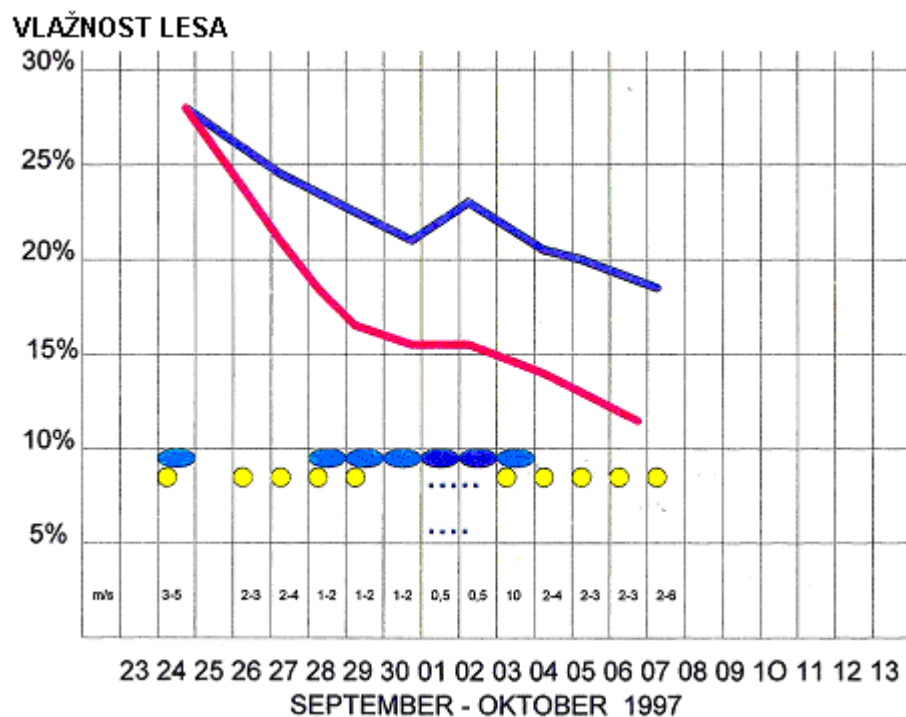
Ker v procesu sušenja rabimo največ toplotne energije in ker je sušenje aktualno v vseh letnih časih, so za to primerni toplozračni sprejemniki toplotne energije.

Zrak se zaradi svoje nizke specifične toplotne kapacitete hitro segreje, kar je še posebno pomembno v neugodnih obdobjih leta.

V zadnjih časih proizvajalci sprejemnikov sončne energije posvečajo vse več pozornosti materialom, ki služijo za izdelavo sprejemnikov. V preteklosti so bili grajeni iz materialov, za katere se je uporabilo v procesu njihove izdelave veliko energije, zato so bili energetsko potratni, ekološko sporni, njihovo kvaliteto pa je definirala tudi časovna uporabnost izdelka.



Slika 109: Različni tipi sprejemnikov sončne energije
Vir: VIJEYSUNDERA AND TIJOE, 1982



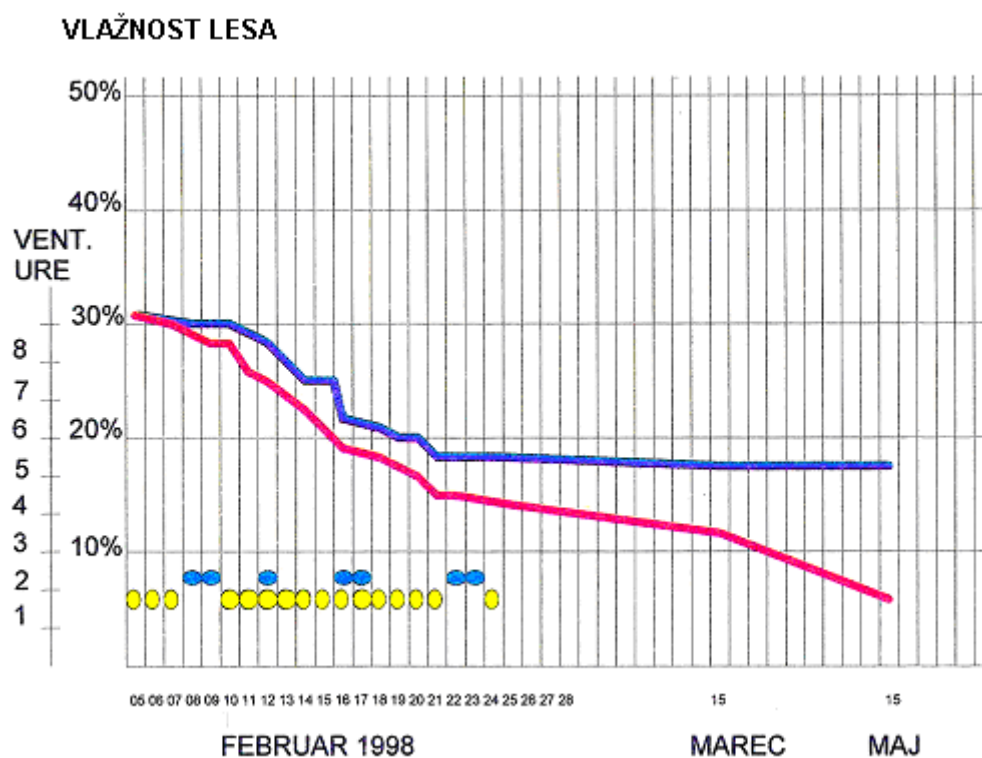
			SUŠENJE NA PROSTEM
			SOLARNO SUŠENJE
●	●		VREME

Slika 110: Hitrost sušenja v Sloveniji in vreme sept.-okt. 1997

Iz zgornje slike lahko ugotovimo, da je solarno sušenje bistveno hitrejše od sušenja na prostem in da dosegamo vlažnost lesa, ki je v proizvodni lesnih izdelkov primerna.

Prav tako lahko ugotovimo, da je čas sušenja ob relativno dobrem vremenu in v primerjavi s klasičnem sušenju, ob tem, da je energija sonca zastonj ugodna.

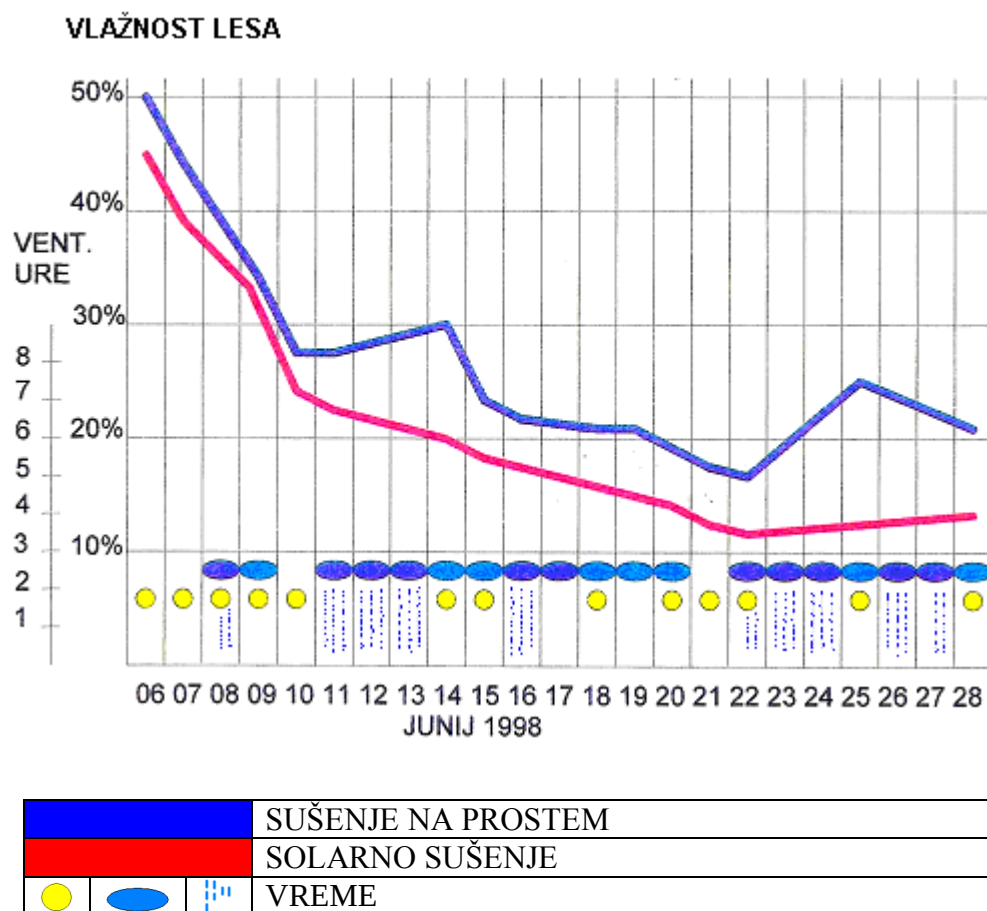
Pri uravnavanju hitrosti sušenja je polek dosežene temperature, pozicije loput, ki uravnavajo količino svežega zraka pomembna tudi hitrost zraka skozi zložaj lesa, ki ga sušimo.



			SUŠENJE NA PROSTEM
			SOLARNO SUŠENJE
●	●		VREME

Slika 111: Hitrost sušenja v Sloveniji in vreme feb.-maj 1998

V 20 dneh sušenja je bilo vreme 13 dni sončno, 3 dni pretežno sončno in 4 dni oblačno, padavin pa ni bilo.



Slika 112: Hitrost sušenja v Sloveniji in vreme junija 1998

V 23 dneh junijskega solarnega in referenčnega sušenja na prostem je bilo le 4 dni sončno, 7 dni pretežno sončno, 2 dni oblačno, 2 dni pretežno oblačno z dežjem in kar 8 dni je padal dež. Kljub slabemu vremenu lahko sklepamo, da je v tem obdobju leta sušenje v solarni sušilnici najugodnejše in seveda tudi najhitrejše, kar lahko potrdi primerjava z sušenjem v septembru in oktobru 1997.

V juniju, juliju in avgustu so zunanje temperature relativno visoke in čas dnevnega sončnega obsevanja v Sloveniji traja tudi do 10 ur.

Pri daljšem dnevnem trajanju sončnega obsevanja, je na razpolago tudi znatno več energije, v sušilni komori dosegamo višje temperature in toplotne izgube so manjše, zaradi višjih temperatur okolja.

12.8 POVRŠINA TOPLOZRAČNIH SSE ZA NEKAJ KRAJEV V SLOVENIJI

Polek eksperimentalnih podatkov in določitve sušilnih krivulj v solarni sušilnici je na podlagi pilotne eksperimentalne solarne sušilnice in njenih parametrov ter znanih meteoroloških podatkih, možno izračunati potrebno površino SSE za posamezne kraje v Sloveniji.

Preglednica 14: Podatki povprečnega trajanja sončnega obsevanja v urah, za nekatere kraje v Sloveniji (1991-2000)

RATEČE												
JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
95	146	168	170	198	206	241	238	188	133	75	60	1918

BILJE												
JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
108	143	176	170	229	241	295	284	192	146	90	89	2163

POSTOJNA												
JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
94	127	157	168	216	226	273	270	186	135	77	69	1998

LJUBLJANA-BEŽIGRAD												
JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
70	123	157	178	236	242	287	269	178	105	49	48	1942

NOVO MESTO												
JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
81	132	155	169	237	244	284	266	188	113	58	60	1987

CELJE												
JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
84	128	148	175	233	238	264	255	185	123	69	58	1960

MARIBOR												
JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
76	123	135	172	234	228	275	249	178	119	64	60	1913

MURSKA SOBOTA												
JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
74	133	147	187	251	256	270	269	188	123	69	54	2021

PORTOROŽ-LETALIŠČE												
JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	LETO
108	150	196	194	262	277	323	309	221	163	91	84	2378

Vir: <http://www.rzs-hm.si>

Potrebna površina SSE je izračunana na podlagi trajanja sončnega obsevanja in velja za primerljivo solarno sušenje po Sloveniji, glede na pilotno eksperimentalno solarno sušilnico, ki je bila uporabljena na območju Murske Sobote.

Za izračun potrebne površine SSE za posamezne kraje v Sloveniji se uporabi naslednja enačba:

$$A_{SSE} = \frac{\bar{t}_{so(0)}}{\bar{t}_{so(x)}} \times A_0$$

A_{SSE} površina sprejemnikov sončne energije na referenčni lokaciji [m²/m³]

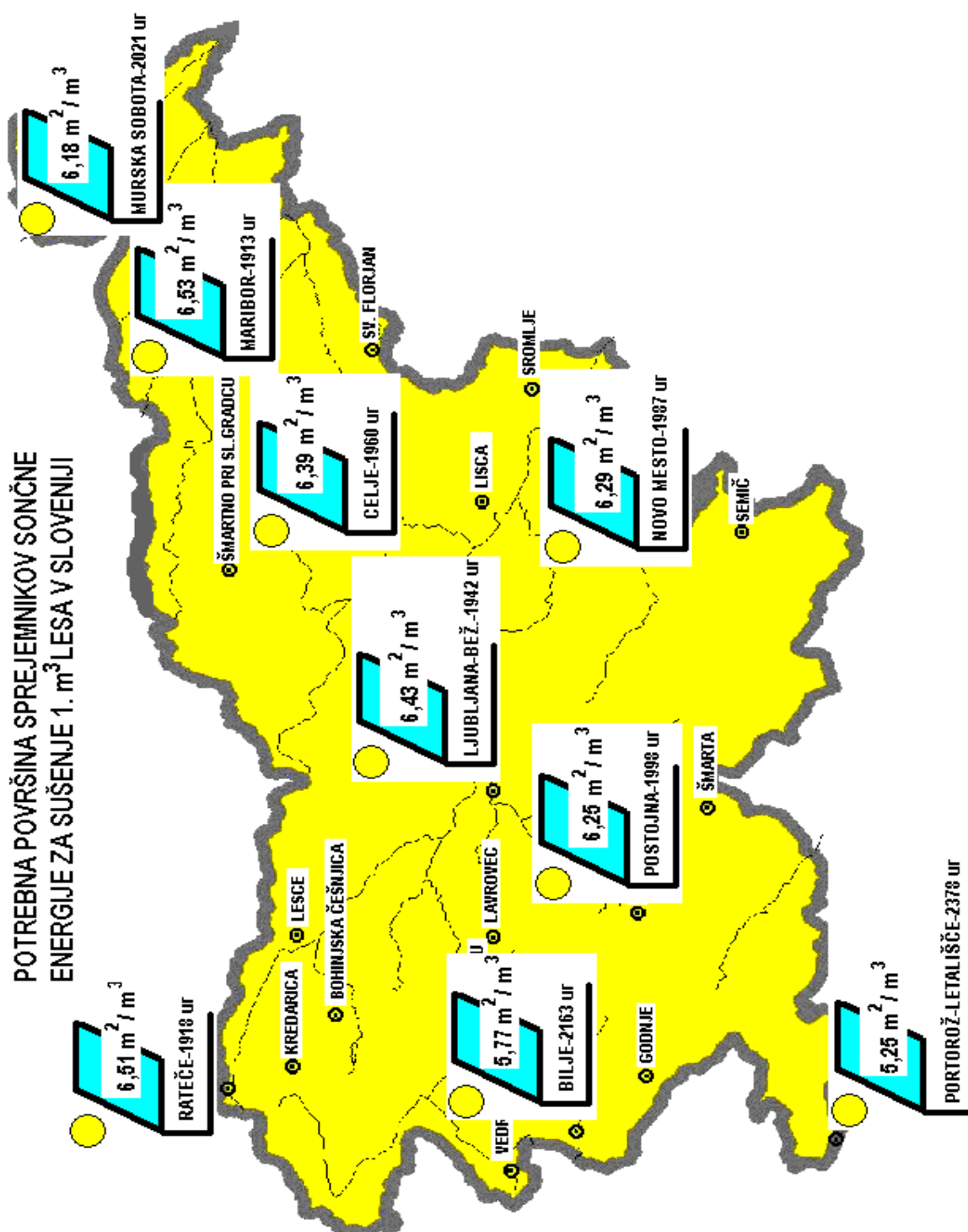
$\bar{t}_{so(0)}$ čas sončnega obsevanja na lokaciji experimenta [h]

$\bar{t}_{so(x)}$ čas sončnega obsevanja na referenčni lokaciji [h]

A_0 površina sprejemnikov sončne energije na lokaciji experimenta [m²/m³]

Preglednica 15: Površina SSE glede na referenčno lokacijo

$A_0 = 6,18 \text{ m}^2/\text{m}^3$ $\bar{t}_{so(0)} = 2021 \text{ ur}$	Povprečno letno trajanje sončnega obsevanja [ur]	A_{SSE} - površina sprejemnikov sončne energije glede na referenčno lokacijo [m ² /m ³]
RATEČE	1918	6,51
BILJE	2163	5,77
POSTOJNA	1998	6,25
LJUBLJANA-B	1942	6,43
NOVO MESTO	1987	6,29
CELJE	1960	6,39
MARIBOR	1913	6,53
M. SOBOTA	2021	6,18
PORTOROŽ-L	2378	5,25



POVZETEK IN RAZMISLEK OB POGLAVJU 12

Svetovna energetska politika se vsebolj nagiba k uporabi obnovljivih virov energije, zato je prav, da tudi naša stroka sledi tem trendom in prispeva k ohranjanju narave in zmanševanju toplogrednih plinov, pa čeprav sodi lesarstvo med najprijaznejše, saj delamo z lesom, ki spada med obnovljive vire energije.

Razmislek:

Če smo se odločili za uvajanje obnovljivih virov energije, dodatna vprašanja za hitro preverjanje znanja niso več potrebna.

Sprašujemo se lahko, kje jih bomo uporabili in kdaj?

13 VIRI

BERGANT, K., KAJFEŽ BOGATAJ, L. 2004. Nekatere metode za pripravo regionalnih scenarijev podnebnih sprememb, *Acta agriculturae slovenica* 83-2: 273-287

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

CHEN IN ROSEN 1980. Solar dehumidification drying of red oak. *Journal of the Institute of Wood Science* 9 (4) 194-196

GORIŠEK, Ž. IN NOVAK M., 1998. Perspektive uporabe sončne energije za sušenje lesa v Sloveniji, *LES wood* 50 : 86-87

HAQUE, M.N. AND G.LANGRISH, T.A., 2003. Matematical Modelling of Solar Kilns for Drying Timber: Simulation and Experimental Validation. *Drying Technology*, 21(3), 457-477

HAQUE, M.N. AND G.LANGRISH, T.A., 2001. Stack-wide effects in the modeling of solar kilns for drying timber. *Drying Technology*, 99(1), 99-114

HOČEVAR, A., KAJFEŽ-BOGATAJ, L., PETKOVŠEK, Z., PRISLOV, J., RAKOVEC, J., ROŠKAR, J., ZUPANČIČ, B., Sončno obsevanje v Sloveniji, VTOZD za agronomijo, BF, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, 1982

HOUGHTON, J.T., DING, Y., GRIGGS, D.J., NOGUER, M., VAN DER LINDEN, P.J., MASKELL, K., JOHNSON, C.A., 2001. Climate change 2001: The scientific basis. Cambridge, Cambridge University Pres: 752 str. URL=http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wgl/index.htm

HELMER, W. A. 1986. A general collector sizing method for solar kilns. *Forest Products Journal*. 36(6): 11-18

IEA, 1991. Energy Efficiency and the Environment, IEA/OECD, 1991.

JOHANSSON, T.B. ET AL., 1993. Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity, Island Press, Washington DC, 1993.

Katalog, 1998. Simens Solar Products

KAVVOURAS, P.K., SKARVELIS, M.A., Performance of solar-heated, forced-air, fully automated lumber dryer; *Holz als Roh-und Werkstoff* 54(1996): 11-18

KOUKAL, J. 1984. Trocknen von Schnittholz mittels Sonnenenergie. Holztechnologie. 2:71-73.

KRAUT, B. 1986. Strojniški priročnik, ponatis 1986, str. 228-233

LITTLE, R. L. 1979. Ongoing research - solar heated water driers lumber. Forest Products Journal 29 (2)52-53

LUMLEY IN CHOONG 1979. Technical and economic characteristics of two solar kiln designs. Forest Products Journal 29 (7) 49-56

MEDVED, S. 1993. Solarni inženiring. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojninstvo. str. 178

MEDVED, S., SOLARNI INŽENIRING, učbenik za vaje pri predmetu Obnovljivi viri energije in varstvo okolja, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 1993

PALMER, G., KLEINSCHMIDT, S. D. 1992. Timber seasoning in a solar kiln. Queensland Forest Sendee. Department of primary industries. 8 p.

SATTAR, M. A. 1993a. Economics of drying timber in a greenhouse type solar kiln. Holz als Roh- und Werkstoff 52:157-161.

SATTAR, M. A. 1993b. Solar drying of timber - a review. Holz als Roh-und Werkstoff 51:409-419.

SATTAR, M. A. 1994. Economics of drying timber in a greenhouse type solar kiln. Holz als Roh- und Werkstoff 52:157-161.

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 (II):427-433.

STEMMANN, D. E. 1990. Drying rate and air circulation in a fully automated solar kiln. Holz als Roh-und Werkstoff 48:195-200

STEINMANN, D.E. 1990. Temperature control in a solar kiln. Holz als Roh-und Werkstoff 48:287-291

STEMMANN, D. E. 1990. Designe and testing of a solar kiln simulator. Holz als Roh- und Werkstoff 48:409-412

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

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

THE WORLD BANK, 1993. Energy Efficiency and Conservation in the Developing World: a World Bank Policy Paper, Washington DC, USA, 1993

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.

TSCHERNITZ, J. L. IN SMPSON. 1979. Solar heated, forced air, lumber dryer for tropical latitudes. Solar Energy. 22:563-566

VIJEYSUNDERA, N. E., L. L. Ah, and TIJOE, L. E., Solar Energy, 28:363 (1982)

WEC, 1992. Survey of Energy Resources, 1992.

WEC, 1993. Energy for Tomorrow's World, 1993.

WENGERT, E. M. 1980. Improvements in solar dry kiln design. US Forest Service Research Note US Products Laboratory, Madison. No. FPL-0212, 10 str.

P.WIBULSWAS, AND C.NIYOMKARN, Reg. Workshop on Solar Drying, CNED-UNESCO, Manila: 1 (1980)

Novak, M.(2008). Sušenje lesa: Lesarska šola Maribor, Višja strokovna šola.

Gorišek. Ž.,Geršak.M.,Velušček.V.,Čop.T.,Mrak.C.(1994). Sušenje lesa. Ljubljana.

Kollman. F.,Cote.A.(1968). Principles of Wood Science and Tehnology. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

Krpan. J.(1965). Sušenje i parenje drva. Zagreb

Gorišek, Ž. (2006 b). *Gostota lesa*. Pridobljeno 5.5.2008 iz

<http://www.korak.ws/revija/990/o-991>.

Novak, M. (2001). *Sušenje lesa*. Maribor: Lesarska šola Maribor, Višja strokovna šola.

Novak, M. (2006). *Dimenzijska stabilnost lesenih oblog*. Pridobljeno 4.5.2008, iz

<http://www.korak.ws/revija/957/o-846>.

Katarina ČUFAR, ANATOMIJA LESA, nerecenzirano študijsko gradivo za leto 2002-2003
Ljubljana, 2002

Primož Gspan, PREZRAČEVANJE RAČUNSKE VAJE IN PODATKI Univerza v Ljubljani
- FKKT-OTV Ljubljana, 2003

<http://www.evropska-unija.si/?p=102&id=2609> 04.12.2004

<http://www.kemis.si/haloni.htm> 04.12.2004

<http://www.elections2004.eu.int/highlights/sl/704.html> 04.12.2004

<http://www.rzs-hm.si> 28.11.2004

www.britannica.com/ebc/art/print?id=57341... 26.06.2008

www.Riko.com 30.06.2008

www.lh-mh.com/htmlpage/ProductsRange.htm 02.07.2008

www.engineeringtoolbox.com/fans-efficiency-po... 02.07.2008

www.magnet.fsu.edu/.../fullarticle.html 15.07.2008

files.gsobar.uni.cc/.../Senzorji_aktuatorji.html 15.07.2008

commons.wikimedia.org/wiki/Image:Pitot_tube_w... 15.07.2008