

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Marjan GOSAR

**VPLIV KAKOVOSTI SMREKOVINE NA IZKORISTEK
OSUŠENEGA ŽAGANEGA LESA**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**IMPACT OF SPRUCE QUALITY ON UTILISATION RATE OF DRIED
SAWED WOOD**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2007

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na katedri za tehnologijo lesa na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete v Ljubljani. Material nam je zagotovilo podjetje Lip Bled, tovarna Bohinj.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Željka Goriška in za recenzentko doc. dr. Dominiko Gornik Bučar.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof.
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Član: prof.
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Član: prof.
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Marjan GOSAR

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Vs
- DK UDK 630*847.275
- KG les/komorsko sušenje/sušilne napake/kontrola kakovosti/*Picea abies* Karst.
- AV GOSAR, Marjan
- SA GORIŠEK, Željko (mentor)/GORNIK BUČAR, Dominika (recenzentka)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, C.VIII/34
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
- LI 2007
- IN VPLIV KAKOVOSTI SMREKOVINE NA IZKORISTEK OSUŠENEGA ŽAGANEGA LESA
- TD Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
- OP XI, 51 str., 7 preg., 26 sl., 22 vir.
- IJ SI
- JI Sl/en
- AI Čeprav sodi smrekovina med najlaže sušeče se lesne vrste, se posebno v mrzlih zimskih dnevih pojavlja večje število razpok, ki zmanjšujejo kakovost osušenega lesa. Z izvajanjem milejših in ostrejših sušilnih pogojev v pilotski eksperimentalni sušilni komori v jesenskem in zimskem času smo želeli ugotoviti dejavnike, ki so vzrok slabši kakovosti. Kakovost žaganega lesa smo določili na svežem materialu in ga sledili do osušitve na ciljno vlažnost 10 %. Končno kontrolo kakovosti sušenja smo ocenili z določitvijo dosežene končne vlažnosti, vlažnostnega gradienta, številom in velikostjo razpok ter stopnjo veženja in zaskorjenja. Sušenje smrekovine z ostrejšimi pogoji se je pokazalo kot bolj tvegano, saj je nastalo večje število razpok, kot tudi večji vlažnostni gradienti in zaskorjenje. V zimskem času je po sušenju z visokimi temperaturami treba pravilno izvesti tudi ohlajanje, ker lahko hitro in intenzivno ohlajanje vročega lesa privede do dodatnih razpok.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- DN Vs
- DC UDC 630*847.275
- CX wood/kiln drying/drying defects/quality control/*Picea abies* Karst.
- AU GOSAR, Marjan
- AA GORIŠEK, Željko (supervisor)/GORNIK BUČAR, Dominika (co-advisor)
- PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, C.VIII/34
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
- PY 2007
- TI IMPACT OF SPRUCE QUALITY ON UTILISATION RATE OF DRIED SAWED WOOD
- DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
- NO XI, 51 p., 7 tab., 26 fig., 22 ref.
- LA SI
- AL sl/en
- AB Spruce belongs to most easily dried wood species, but nevertheless, larger number of cracks occurs in it, particularly in cold winter days, reducing the quality of dried wood. To find out factors causing worse quality in autumn and winter milder and sharper drying conditions were executed in a pilot experimental drying chamber. The quality of sawed wood was evaluated on fresh material, and followed to dry on target moisture of 10 %. Final control of quality of drying was assessed by designation of the achieved final moisture, moisture gradient, number and size of cracks and degree of warp and casehardening. Drying the spruce with sharper conditions showed as more risked, because a larger number of cracks occurred, so as larger moisture gradients and casehardening. In winter, after drying on high temperatures, unless the hot wood is adequately cooled, additional cracks can emerge.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO SLIK	IX
KAZALO PRILOG	XI
1 UVOD	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 ZGRADBA LESA NAVADNE SMREKE	2
2.1.1 Makroskopski opis smrekovine	2
2.1.2 Anatomska zgradba smrekovine	2
2.1.3 Uporaba smrekovine	3
2.2 PROCESNI POGOJI SUŠENJA	4
2.2.1 Fizikalne osnove	4
2.2.1.1 Gibanje vode v lesu	4
2.2.2 Procesni parametri	4
2.2.2.1 Relativna zračna vlažnost	4
2.2.2.2 Hitrost kroženja zraka	5
2.2.2.3 Temperatura sušenja	5
2.3 RELAVANTNE SUŠILNE LASTNOSTI LESA	5
2.3.1 Gostota	5
2.3.2 Permeabilnost – prevodnost lesnega tkiva	6
2.3.3 Difuzivnost	6
2.3.4 Krčenje in nabrekanje	7
2.4 ZNAČILNOSTI SUŠENJA SMREKOVINE	7
2.4.1 Segrevanje	8
2.4.2 Sušenje	8

2.4.3	Čas sušenja	8
2.4.4	Izenačevanje in kondicioniranje	10
2.4.5	Ohlajevanje	11
2.5	OCENJEVANJE KAKOVOSTI SUŠENJA LESA	12
2.6	RAZVRŠČANJE ŽAGANEGA LESA	14
2.6.1	Grče	15
2.6.2	Ostale značilnosti	16
2.7	ZNAČILNE NAPAKE SUŠENJA SMREKOVINE	18
2.7.1	Razpoke	18
2.7.1.1	Čelne razpoke	18
2.7.1.2	Površinske razpoke	19
2.7.2	Zaskorjenje	22
2.7.3	Veženja	23
2.7.4	Iztekanje smole	23
2.7.5	Glivična in bakterijska obarvanja	24
2.7.6	Neenakomerno sušenje	24
3	MATERIAL IN METODE	25
3.1	MATERIAL	25
3.2	METODE	26
3.2.1	Klasifikacija desk	27
3.2.2	Določitev vlažnosti lesa	28
3.2.3	Določitev vlažnostnega gradienta	29
3.2.4	Merjenje notranjih napetosti	30
3.2.5	Merjenje veženja	31
3.2.5.1	Lok in sabljavost	31
3.2.5.2	Zavitost	31
3.2.5.3	Koritavost	32
3.2.6	Predstavitev sušilnih režimov	32

4	REZULTATI	34
4.1	KLASIFIKACIJA DESK	34
4.2	KINETIKA SUŠENJA	35
4.3	POTEK SUŠENJA	35
4.4	KONČNA VLAŽNOST SUŠENJA IN NJENA VARIABILNOST	38
4.5	VLAŽNOSTNI GRADIENT	38
4.6	VEŽENJA	40
4.7	ZASKORJENJE	41
4.8	ČELNE RAZPOKE	42
5	RAZPRAVA	43
5.1	PRIMERJAVA MED ŠARŽAMI	43
5.2	VPLIV ZGRADBE LESA NA KAKOVOST OSUŠENEGA LESA	44
6	SKLEPI	46
7	POVZETEK	47
8	VIRI	49

ZAHVALA

PRILOGE

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Razredi in oznaka kvalitetnega območja po standardu SIST EN 1309.	28
Preglednica 2: Sušilna programa za smrekovino debeline 19 mm za šaržo 1 in 2; u – vlažnost, T – temperatura, ΔT – psihrometska razlika, u_r – ravnovesna vlažnost.	33
Preglednica 3: Sušilna programa za smrekovino debeline 19 mm za šaržo 3 in 4; u – vlažnost, T – temperatura, ΔT – psihrometska razlika, u_r – ravnovesna vlažnost.	33
Preglednica 4: Povprečna ocena kakovosti desk glede na njihovo orientiranost in šaržo.	34
Preglednica 5: Trajanje sušenja po šaržah in začetne ter dosežene končne vlažnosti.	35
Preglednica 6: Povprečne končne vlažnosti po posameznih šaržah in osnovna statistika.	38
Preglednica 7: Zavitost in lokavost po posameznih šaržah v odvisnosti od časa sušenja.	43

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: (a) deloma vrasla in deloma izpadna grča in (b) prerasla grča po obvejevanju.	15
Slika 2: (a) vrasla, (b) izpadna in (c) izpadla grča.	16
Slika 3: Prisotnost čelnih razpok na deskah po sušenju.	19
Slika 4: Razpoke, nastale zaradi nepravilnega sušilnega postopka: a) radialne razpoke na tangencialno usmerjenih deskah, b) pokline in c) satavost.	20
Slika 5: Laser za merjenje in iskanje mikrorazpok.	21
Slika 6: Izbor in priprava hlodovine za razžagovanje.	25
Slika 7: Prikaz letvičenega zložaja s pritrjenimi sondami.	26
Slika 8: Priprava sušilnega vzorca za ugotavljanje vlažnosti.	28
Slika 9: Priprava vzorca za ugotavljanje vlažnostnega gradienta po debelini.	30
Slika 10: Merilna zagozda oz. klin za ugotavljanje notranjih napetosti.	30
Slika 11: Prikaz načina merjenja lokavosti.	31
Slika 12: Prikaz načina merjenja zavitosti.	31
Slika 13: Prikaz načina merjenja koritavosti.	32
Slika 14: Povprečna razvrstitev desk glede na orientiranost in šaržo.	34
Slika 15: Potek 1. šarže sušenja: Ravnovesna vlažnost (u_r), lesna vlažnost (u) in temperatura sušenja (T) v odvisnosti od časa (t).	36
Slika 16: Potek 2. šarže sušenja: Ravnovesna vlažnost (u_r), lesna vlažnost (u) in temperatura sušenja (T) v odvisnosti od časa (t).	36
Slika 17: Potek 3. šarže sušenja: Ravnovesna vlažnost (u_r), lesna vlažnost (u) in temperatura (T) v odvisnosti od časa (t).	37
Slika 18: Potek 4. šarže sušenja: Ravnovesna vlažnost (u_r), lesna vlažnost (u) in temperatura (T) v odvisnosti od časa (t).	37
Slika 19: Vlažnostni gradient tangencialnih, radialnih in radialno-tangencialnih desk po šaržah.	39

Slika 20: Vlažnostni gradient tangencialnih in radialnih desk po končanem sušenju pri zmrznjenih deskah.	39
Slika 21: Prisotnost zavivosti po posameznih šaržah.	40
Slika 22: Lokavost desk po posameznih šaržah in orientiranosti.	40
Slika 23: Zaskorjenje takoj po sušenju ter po 48 urah.	41
Slika 24 : Čelne razpoke v odvisnosti od orientacije po posameznih šaržah.	42
Slika 25: Primerjava med skupno površino grč in skupno dolžino razpok.	44
Slika 26: Primerjava med številom grč in dolžino površinskih razpok.	45

KAZALO PRILOG

Priloga A: Izmere dimenzij žaganega lesa (SIST EN 1309-1).

Priloga B: Program sušenja žaganega lesa (šarža 1), sprememba mase in poraba električne energije pri komorskem sušenju.

Priloga B1: Program sušenja žaganega lesa (šarža 2), sprememba mase in poraba električne energije pri komorskem sušenju.

Priloga B2: Program sušenja žaganega lesa (šarža 3), sprememba mase in poraba električne energije pri komorskem sušenju.

Priloga B3: Program sušenja žaganega lesa (šarža 4), sprememba mase in poraba električne energije pri komorskem sušenju.

1 UVOD

Les po poseku drevesa vsebuje precejšno količino vode in nadaljnja predelava ter uporaba je možna, če znaten del te vode odstranimo. Sušenje je odstranjevanje vode iz lesa, ki se mu z izhlapevanjem vode bistveno spreminja večina lastnosti. Tako se les krči in spreminja svojo obliko. S sušenjem na pravilno ravnovesno vlažnost omejimo njegovo delovanje v uporabi. Posušenemu lesu se zmanjša teža in izboljšajo mehanske lastnosti (trdota, trdnost). Bolj je odporen pred delovanjem lesnih gliv, poveča se kalorična vrednost, spremenijo se toplotne, električne in akustične lastnosti.

Pri sušenju nastajajo na lesu tudi napake, ki mu zmanjšujejo vrednost. Da bi se napakam izognili, moramo poznati njihove vzroke, in jih bistveno omejiti v procesu sušenja. Kljub znanju, pa se je v industrijski proizvodnji povečalo število sušilnih napak, s tem se je posledično zmanjšal tudi izkoristek predvsem v zimskih mesecih, ko so se temperature gibale pod lediščem.

Predvidevamo, da bi se velikemu številu sušilnih napak lahko izognili:

- z doslednim upoštevanjem pravil o prizmatičnem zlaganju zložajev,
- z manjšimi korekcijami obstoječih sušilnih programov,
- s spremembo relativne zračne vlažnosti, temperature ali hitrosti kroženja zraka,
- z obtežbo zložajev,
- z zagotavljanjem enakomerne pretoka zraka skozi zložaje,
- s pazljivejšim praznjenjem sušilne komore in
- s pravilnim skladiščenjem lesa po sušenju.

S sušenjem smrekovine v pilotski eksperimentalni sušilni komori smo skušali ovrednotiti:

- vpliv sušilnega postopka v različnih klimatskih pogojih na doseganje končne kakovosti,
- vpliv različne orientiranosti desk na število in razsežnost razpok,
- vpliv grč na končno kakovost osušenega lesa in
- učinek ostrih vremenskih pogojev na poškodbe osušenega lesa.

2 PREGLED OBJAV

2.1 ZGRADBA LESA NAVADNE SMREKE

2.1.1 Makroskopski opis smrekovine

Les smrekovine (*Picea abies* (L.) Karst.) je rumeno bele barve s svilnatim leskom, v starosti tudi rumenkasto rjav. Beljava in jedrovina se barvno ne ločita (les z neobarvano jedrovino). Smolni kanali so majhni, vidni le s pomočjo lupe. Pogost je pojav smolnih žepkov (Čufar, 2006).

Smrekovina je lahka, pri 12 % do 15 % vlažnosti se gostota giblje 330 kg/m^3 do 580 kg/m^3 , v povprečju 450 kg/m^3 (Wagenführ, 1996). Se zmerno krči (radialno krčenje je 3,6 %, tangencialno okoli 7,4%). Les je mehak, srednje trden (za smrekovino in načelno za vse iglavce velja pravilo: čim ožje so branike, tem večji je delež kasnega lesa in tem trdnejši je les). Poleg tega je elastičen in lahko cepljiv. Na prostem je slabo trajen, težko se impregnira, nezaščiten pa ni odporen proti glivam in insektom.

2.1.2 Anatomska zgradba smrekovine

Navadna smreka je sestavljena pretežno iz aksialnih traheid, ki predstavljajo do 95 % celotnega tkiva. Traheida je mrtva neperforirana lesna celica, dolžine 1700-3700 μm , ki v lesnem tkivu opravlja mehansko in prevajalno nalogo. Traheide so med seboj povezane s pomočjo obokanih pikenj, ki pa se nahajajo skoraj izključno v radialnih stenah oziroma radialnih nizih in so posebej številne na koncih traheid, pri smreki pa so razporejene večinoma v enojnih nizih.

Prehod iz svetlega, belkastega ranega lesa do rdečkastorumenega kasnega lesa je večinoma postopen. Tako imajo traheide ranega lesa oziroma traheide, ki nastajajo na začetku rastne sezone velike radialne dimenzije in tanke celične stene, ki so predvsem pomembne za prevajanje vode. Traheide kasnega lesa oziroma traheide, ki nastajajo na koncu rastne sezone pa imajo majhne radialne dimenzije in debele celične stene, katerih glavna naloga je mehanska.

Trakovi pri navadni smreki so heterocelularni in so radialno usmerjeni. Zavzemajo približno 5% lesnega volumna in imajo nalogo prevajanja ter skladiščenja ogljikovih hidratov. Sestavljeni so iz parenhimskih celic in trakovnih traheid. Trakovi so večinoma enoredni, pri večrednih trakovih pa najdemo tudi radialne smolne kanale. Traheide in trakovne parenhimske celice so med seboj povezane s piceoidnimi piknjami v križnih poljih.

Za smreko so značilni normalni in travmatski smolni kanali. Smolni kanal je cevast intercelularni prostor, ki ga obdajajo epitelne celice in ki v beljavi vsebuje smolo. Normalni smolni kanali so večinoma prisotni v kasnem lesu. So relativno redki in so karakteristični za rod *Picea*. Aksialni in radialni smolni kanali skupaj tvorijo omrežje. Epitelne celice so pri smreki debelostene, lignificirane in močno piknjave. Travmatski smolni kanali nastajajo kot odziv kambija na mehanska poškodovanja.

2.1.3 Uporaba smrekovine

Smrekovina je na trgu kot hlodovina, žagan les in furnir. Njena uporaba je zelo raznovrstna in množična. Poseben pomen ima kot gradbeni in konstrukcijski les za visoke in nizke gradnje, ter za notranjo opremo. Uporablja se za ostrejša in konstrukcije v industrijskih halah, športnih dvoranah, za mostove, rudniške in ogrodne konstrukcije, za skeletne konstrukcije, stene strope, okna vrata, itd. Primerna je tudi za proizvodnjo lesenih tvoriv (luščen furnir za vezane plošče, sredice mizarških plošč, iverne in vlaknene plošče) kot tudi za proizvodnjo celuloze in papirja.

2.2 PROCESNI POGOJI SUŠENJA

2.2.1 Fizikalne osnove

2.2.1.1 Gibanje vode v lesu

Pri prevajanju vode iz koreninskega sistema v krošnjo ima prevladujoč pomen vzdolžna prevodnost lesa, medtem ko sta pri sušenju pomembnejša radialni in tangencialni tok. Tok vode poteka skozi vzporedne kapilare (traheide, vlakna, traheje, pa tudi parenhim), večinoma usmerjene vzdolžno z drevesno rastjo in razmeroma manj radialno (trakovni parenhim, trakovne traheide).

Učinkovit pretok proste vode je mogoč le preko »odprte« pikenjske povezave med celičnimi lumni – les je prevoden (permeabilen). Medtem, ko voda razmeroma lahko prehaja prek celičnih lumnov, ji večjo oviro pomenijo mnogo manjše piknje. Premer pikenj pri iglavcih je od 0,02 mm do 4 mm (povprečno 0,3 mm), pri listavcih pa od 0,005 mm do 0,17 mm (povprečno 0,03 mm). Velikost odprtin v piknjah ni pomembna le z vidika pretoka vode v lesu, ampak tudi z vidika nastale kapilarne tenzije, ki ob prekoračitvi prečne tlačne trdnosti lesa privede do kolapsa (Gorišek, 2004).

2.2.2 Procesni parametri

2.2.2.1 Relativna zračna vlažnost

Na začetku sušilnega postopka, ko les vsebuje še veliko proste vode, je relativna zračna vlažnost poleg hitrosti kroženja zraka najpomembnejši dejavnik, ki vpliva na čas sušenja, s tem pa tudi na pojav obarvanja in letvične progavosti. Pri večini svetlih lesov je primerno začeti sušenje z nižjo relativno zračno vlažnostjo (65 %) oziroma visoko psihrometrsko razliko (5,5 °C), vendar nižjo temperaturo (do 30 °C).

2.2.2.2 Hitrost kroženja zraka

Hitrost kroženja zraka je drugi najpomembnejši dejavnik, ki vpliva na hitrost sušenja svežega lesa. Hitrost zraka ima velik vpliv na izhlapevanje vode s površine lesa. Zrak mora praviloma odstranjevati vlago s površine s takšno hitrostjo, s kakršno prihaja vlaga iz notranjosti lesa na površino, da je gibanje vlage nemoteno. Manjša hitrost zraka na vstopu v zložaj ali njegova dolga pot skozenj vpliva na neenakomerno in upočasnjeno sušenje. Zagotoviti moramo hitrejši tok zraka, krajše prehode skozi zložaje svežega lesa in spreminjanje smeri kroženja zraka.

2.2.2.3 Temperatura sušenja

Pri visokih začetnih vlažnostih lesa je neposreden vpliv temperature na hitrost sušenja minimalen, vendar pa lahko v toplem in vlažnem vremenu povzroči veliko težav pri doseganju dovolj nizke relativne zračne vlažnosti. Pri sušenju pod točko nasičenja celičnih sten (TNCS), kontroliramo hitrost s temperaturo, ki jo postopoma dvigujemo in tako pospešujemo difuzijski tok iz notranjosti lesa na površino.

2.3 RELAVANTNE SUŠILNE LASTNOSTI LESA

2.3.1 Gostota

Med bistvene lastnosti lesa spada gostota lesa. Gostota smrekovine v absolutno suhem stanju variira med 300 kg/m^3 in 450 kg/m^3 . Velike razlike v gostoti posameznih lesnih vrst pripisujemo predvsem deležu celičnih sten, kajti gostota čiste lesne snovi se le neznatno razlikuje. Zaradi higroskopnosti ter krčenja in nabrekanja lesa se v nihajočih klimatskih

razmerah spreminja tudi vlažnost. Poleg vlažnosti na gostoto vplivajo še zgradba lesa, vrsta in količina ekstraktivov ter kemična zgradba.

Zaradi odvisnosti tako mase kot volumna od lesne vlažnosti ločimo v lesni tehnologiji več izrazov gostote. Gostota lesa pri določeni vlažnosti ρ_u , nominalna gostota R_u , in relativna gostota d .

2.3.2 Permeabilnost – prevodnost lesnega tkiva

Permeabilnost ali prevodnost je mera sposobnosti toka fluida skozi porozni material pod vplivom tlačnega gradienta. Pomembna je predvsem za pretok proste vode, manj za gibanje vezane ali higroskopske vode. Pod vlažnostjo točke nasičenja celičnih sten je značilen difuzijski tok vode, sestavljen iz difuzije vezane vode skozi celične stene in difuzije pare skozi celične lumne. Pri iglavcih na permeabilnost močno vpliva stanje pikenj, saj je prehodnost fluidov skozi celične lumne relativno enostavna.

2.3.3 Difuzivnost

Z difuzivnostjo označujemo sposobnost prehajanja vezane vode pod TNCS. To je molekularno gibanje delcev zaradi razlike v koncentraciji oziroma vlažnosti. Difuzijsko gibanje vezane vode skozi celične stene poteka hitreje pri višji vlažnosti lesa, pospešimo pa ga lahko tudi s povišanjem temperature.

Difuzija v radialni smeri je od 17 % do 25 % večja od difuzije v tangencialni. Razlog je v radialno potekajočih trakovih in razporedu mikrofibril v radialnih stenah. Hkrati je difuzijski koeficient vezane vode v vzdolžni smeri približno trikrat večji kot v tangencialni in dvakrat večji kot v radialni smeri. Na skupno difuzivnost lesnega tkiva vpliva več dejavnikov od katerih so najpomembnejši: smer toka, gostota, temperatura, vlažnost in usmerjenost vlaken.

2.3.4 Krčenje in nabrekanje

Pri sušenju izhlapeva iz lesa voda, zato les postaja lažji, pri oddajanju vezane vode se zmanjšujejo tudi njegove dimenzije, oziroma volumen, temu pravimo, da se les krči. Kadar pa les vpija vodo, se povečuje njegova gostota, prav tako pa tudi njegove dimenzije, pravimo, da les nabreka. Negativno krčenje in nabrekanje povečuje še krčitvena anizotropija.

Zaradi krčenja in nabrekanja nastanejo notranje napetosti, ki lahko povzročijo razne deformacije, kot sta krivljenje in pokanje lesa.

Volumsko krčenje in nabrekanje je količinsko enako volumnu oddane oziroma sprejete higroskopske vode. Ker gostejši lesovi vsebujejo ob enaki vlažnosti večje količine vode, je tudi njihovo krčenje in nabrekanje večje.

Vzdolžno krčenje in nabrekanje zrelega adultnega lesa je nekajkrat manjše od prečnega. Znaša le 0,1 % do 0,3 % ali je celo negativno in je praktično zanemarljivo. Večje delovanje lesa v vzdolžni smeri se pojavi pri juvenilnem in tudi reakcijskem lesu in je predvsem posledica večjega mikrofibrilnega kota.

2.4 ZNAČILNOSTI SUŠENJA SMREKOVINE

V procesih tehničnega sušenja lesa želimo zagotoviti optimalne pogoje, s katerimi bi omogočili osušitev na zeleno končno vlažnost. Poleg tega želimo zagotoviti primerno kakovost lesa v najkrajšem možnem času in z minimalnimi stroški. Za doseganje teh ciljev sušilni proces razdelimo na več med seboj povezanih faz: polnjenje, segrevanje, glavni čas sušenja, izenačevanje in kondicioniranje ter ohlajevanje in razkladanje.

2.4.1 Segrevanje

Med fazo segrevanja se komora in vse naprave v njej ter vlažen les segrejejo na začetno temperaturo sušenja. Poraba energije je v tej fazi največja. Čas segrevanja je odvisen predvsem od debeline sortimentov ter od temperature okolice. Segrevanje traja od 1 do 1,5 ure na cm debeline za redkejši les, med katere spada tudi smreka. Skozi celotno fazo je potrebno vedno vzdrževati visoko ravnovesno vlažnost lesa, kajti ne sme priti do sušenja lesa.

2.4.2 Sušenje

Glavno fazo sušenja načrtujemo po znanih programih sušenja (angleškem, ameriškem, ruskem programu, ter na osnovi ostrine sušenja), ki na teoretičnih osnovah in praktičnih izkušnjah določajo pogoje sušenja kot so temperatura, vlažnost in hitrost gibanja zraka pri določeni vlažnosti lesa. Na ta način sušenje omogoča ustrezno sušilno hitrost oz. izločanje vlage iz lesa, glede na stanje materiala, čas sušenja in želeno končno kakovost.

2.4.3 Čas sušenja

Večina domačih lesnih vrst spada med srednje in slabo permeabilne vrste, kjer se velik del vode izloča difuzijsko, tako da na sušenje lesa vplivajo predvsem debelina, gostota, začetna in končna vlažnost ter temperatura. Pri izločanju proste vode sta v začetni sušilni periodi najbolj pomembni zračna vlažnost in hitrost kroženja zraka. Na samo trajanje sušenja imajo poleg navedenih parametrov še velik vpliv zahtevana kvaliteta sušenja, lastnosti sušilne komore in čas obratovanja.

Eksperimentalne ugotovitve, zlasti na redkejših iglavcih, potrjujejo korektno uporabo fizikalnih zakonov (1. in 2. Fick - ov zakon), iz katerih lahko izračunamo tudi orientacijski čas sušenja:

$$t = \frac{1}{\alpha} \ln \left(\frac{u_z}{u_k} \right) \quad \dots(1)$$

t ... čas sušenja (h),

α ...koeficient lesne vrste,

u_z ... začetna vlažnost lesa (%) in

u_k ... končna vlažnost lesa (%).

Z eksperimentalnim delom so navedeno enačbo številni avtorji izpopolnili za izračun časa normalno temperaturnega komorskega sušenja in se še danes zelo pogosto uporablja za izračun v praksi. Koeficient α je značilen parameter, konstanta za posamezno lesno vrsto in nakazuje njene sušilne lastnosti (prevodnost, difuzivnost) in je zelo povezan z gostoto lesa (Kollmann, 1982).

Zaradi odvisnosti difuzivnosti materiala je čas sušenja v potenčni odvisnosti od debeline žaganic:

$$\frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^n \quad \dots(2)$$

t_1 ...znani čas sušenja žaganic debeline d_1 (mm) in

t_2 ...neznani čas sušenja žaganic debeline d_2 (mm).

Vrednost eksponenta n je blizu 2, vendar za tanjše sortimente pada, tako da različni avtorji predlagajo vrednosti med 1,5 in 1,7. Ker difuzivnost narašča z naraščajočo temperaturo, vendar ne linearno, je od nje odvisen tudi čas sušenja, za katerega ugotavljajo zvezo:

$$\frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} \right)^n \quad \dots(3)$$

t_1 ... znani čas sušenja žaganic pri temperaturi ϑ_1 (° C) in

t_2 ... neznan čas sušenja žaganic pri temperaturi ϑ_2 (° C).

Vrednost eksponenta v enačbi se po ugotovitvah giblje med 1,0 in 2,5. Hkrati na hitrost sušenja, še posebej v začetni fazi, pomembno vpliva tudi hitrost zraka, kjer raziskovalci navajajo zvezo:

$$t = \left(\frac{1,5}{v} \right)^{0,6} \quad \dots(4)$$

v ... hitrost zraka (m/s).

2.4.4 Izenačevanje in kondicioniranje

Zaradi naravne vhodne variabilnosti lesa ter hkrati delno neenakomernih pogojev sušenja v sušilni komori, imajo žaganice tudi po koncu sušenja različne končne vlažnosti. V fazi izenačevanja tako izenačujemo vlažnost vseh žaganic znotraj šarže. Fazo pričnemo, ko vlažnost najbolj suhega merilnega mesta pade za 2 % pod želeno končno vlažnost, zaključimo pa, ko najbolj vlažen kos doseže želeno končno vlažnost lesa.

Temperatura v komori ostane v tej fazi enaka kot v fazi sušenja, z uravnavanjem relativne zračne vlažnosti pa dosežemo pogoje, da je ravnovesna vlažnost lesa za 2 % nižja od zelene končne vlažnosti.

S kondicioniranjem pa zmanjšamo vlažnostni gradient po debelini materiala, s tem da pri enaki temperaturi sušenja povečamo relativno zračno vlažnost (navlažujemo). Pri tem naj bo ravnovesna vlažnost lesa za redkejše lesove 4 %, za gostejše pa za 3 % višja od zelene končne vlažnosti.

Praviloma časa teh faz ne računamo, njihovo trajanje pa je pogosto odvisno od stanja materiala ter od predhodnih pogojev sušenja (npr. hitrost kroženje zraka).

V praksi pri velikih sušilnih hitrostih za čas izenačevanja in kondicioniranja predvidimo 20 % do 30 % osnovnega časa sušenja, pri manjših hitrostih zraka pa 10 % do 20 % časa.

2.4.5 Ohlajevanje

Ohlajevanje opravljamo toliko časa kot segrevanje, pri delno priprtih loputih, izključenih grelcih in obratovanju ventilatorjev, tako da se temperatura v komori znižuje s toplotnimi izgubami. S to fazo preprečimo morebitno hitro sušenje ali celo nastanek napak na toplejših, perifernih delih elementov ob izpostavitvi osušenega lesa zunanjim pogojem.

Osušen les je nato potrebno skladiščiti pri klimatskih pogojih, v katerih bo potekala tudi nadaljnja obdelava ter končna uporaba.

2.5 OCENJEVANJE KAKOVOSTI SUŠENJA LESA

Na končno kakovost osušenega lesa (Gorišek, 1996), vplivajo ravnanja od poseka drevesa v gozdu do uporabe končnega izdelka. V celotnem postopku je najbolj kritična faza sušenja.

Za zagotovitev doseganja optimalne kakovosti osušenega materiala, se zahteva pri izvajanju postopka sušenja nenehni nadzor:

- ugotavljanja stanja materiala pred sušilnim procesom,
- izvaja se kontrola med sušenjem in
- oceni se končna kakovost osušenega lesa.

Pred pričetkom sušenja je potrebno ugotoviti karakteristike sušečega se materiala, na osnovi katerih je mogoče pravilno izbrati najustreznejši (optimalen) sušilni program - režim.

Poleg splošnega vizualnega pregleda celotnega materiala, se morajo detajlnejše analize izvesti na določenem številu sledilnih elementov (na žaganicah ali decimiranih elementih). Potrebno število je odvisno tudi od zahtevane kakovosti sušenja. Elementi morajo biti izbrani tako, da nakazujejo povprečne lastnosti celotne šarže. Med najpomembnejše dejavnike, ki jih moramo upoštevati pri izbiri sledilnih elementov so:

- razlike v hitrosti sušenja različnih lesnih vrst,
- vplivi debeline sortimentov na čas sušenja,
- deleži hitro sušeče se beljave in počasi sušeče se jedrovine,
- začetna vlažnost lesa in vlažnostni gradient,
- orientiranost sortimentov (radialni elementi se sušijo nekoliko počasneje od tangencialnih),
- notranje napetosti, zlasti pri predhodno že sušenem lesu ter
- razlike v pogojih sušenja med komorami ali v komori (ustrezno število in razporeditev sledilnih vzorcev).

Na pojavnost napak v sušilnem postopku vpliva poleg sušilnih parametrov tudi kakovost lesa in njegove relevantne lastnosti, zato moramo aktivnosti kontrole izvajati že pred začetkom sušenja.

Aktivnosti kontrole svežega lesa obsegajo:

- vizualno pregledovanje vseh zložajev in skladovnic,
- izbira zložajev za kontrolo,
- izbira po posebnih kriterijih ali naključna izbira vzorčnih sledilnih elementov za spremljanje vlažnosti,
- evidentiranje razpok in veženja, posebno še poklin,
- določevanje povprečne lesne vlažnosti in vlažnostnega profila,
- kontrola notranjih napetosti (zelo pomembno pri predsušenem lesu),
- preverjanje obarvanj (diskoloracij) z referenčnimi vzorci,
- zapisovanje vseh rezultatov v zapisnik,
- izbira in načrtovanje sušilnega programa,
- polnjenje sušilne komore - določitev kontrolnih vzorcev (bočnice z visoko vlažnostjo ali gostoto) in
- začetek sušilnega procesa.

Osnovni namen kontrole **med postopkom sušenja** je primerjava dejanskega poteka sušenja z načrtovanim.

Aktivnosti kontrole kakovosti med sušenjem obsegajo:

- tekoče in redno zapisovanje vseh sušilnih parametrov,
- tekoče preverjanje delovanja vseh naprav,
- izbiranje najbolj karakterističnih merilnih mest za vodenje sušilnega procesa in izločanje izrazito vlažnih ali suhih merilnih mest,
- preverjanje površinskih razpok in obarvanj (diskoloracij) ter
- po doseženi zeleni končni vlažnosti kondicioniranje, izenačevanje in ohlajevanje.

Pri ugotovljenih odstopanjih je še vedno mogoče vzpostaviti želene parametre, ali jih prilagoditi dejanskemu stanju materiala, če je bila izbira sledilnih vzorcev nepravilna ali so se pojavile napake v sistemu vodenja in regulacije sušenja.

Pri **oceni končne kakovosti**, ki se prične s splošnim vizualnim pregledom celotne šarže, moramo natančneje določiti še:

- pogostost, število in velikost razpok in poklin (ločimo napake, ki so posledica anomalne zgradbe lesa od napak nastalih zaradi nepravilnega izvajanja sušilnega postopka),
- stopnjo veženja,
- končno vlažnost lesa (po SIST EN 13183-1 in SIST EN 13183-2) in variabilnost vlažnosti med posameznimi elementi (odgovarjati mora zahtevam nadaljnje predelave ali končne uporabe),
- vlažnostni gradient po prerezu lesa (odstopanja so lahko le v predpisanih ali dogovorjenih mejah,
- notranje napetosti (vilični test), kot napaka se lahko realizira šele pri nadaljnji predelavi, obdelavi ali v uporabi (po SIST ENV 14464) ter
- barvne spremembe (določamo jih na prečnem prerezu z referenčnim vzorcem).

2.6 RAZVRŠČANJE ŽAGANEGA LESA

Pri razvrščanju uporabljamo standard SIST EN 1611-1: 1999, ki žagani les iglavcev razvršča na podlagi izgleda. Uporabljamo ga lahko za razvrščanje suhega in sveže žaganega lesa. Ne uporabljamo ga za razvrščanje konstrukcijskega lesa na podlagi mehanskih lastnosti.

Standard SIST EN 1611-1 podaja dva postopka. Razvrstitve v G2 ali G4 izvedemo glede na število ocenjevalnih površin.

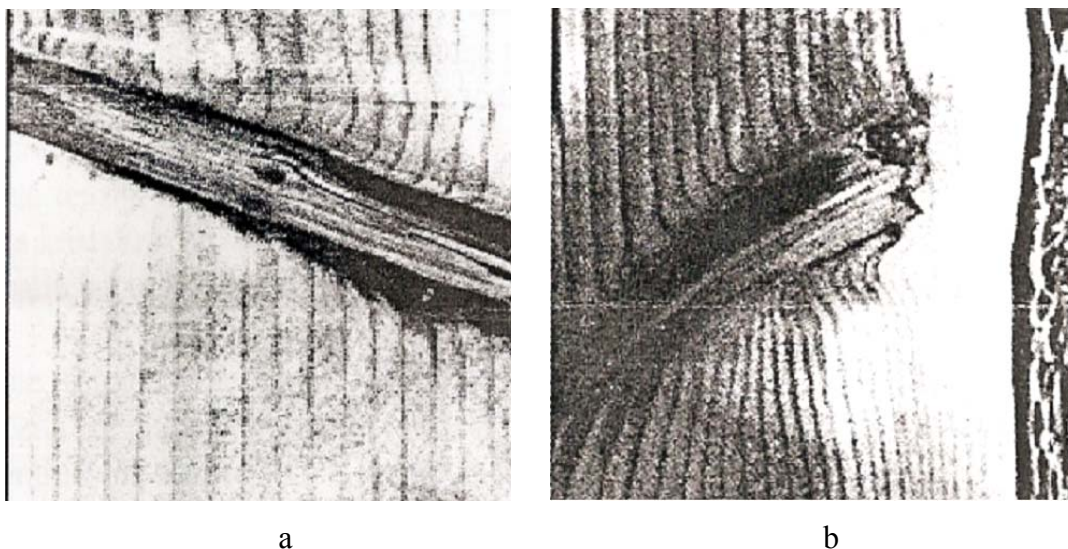
G2 - Grče na dveh ploskvah (priloga 1), (razredi: G2-0,G2-1,...)

G4 - Ostale značilnosti pa kot je navedeno v prilogi 2 (razredi: G4-0, G4-1,...)

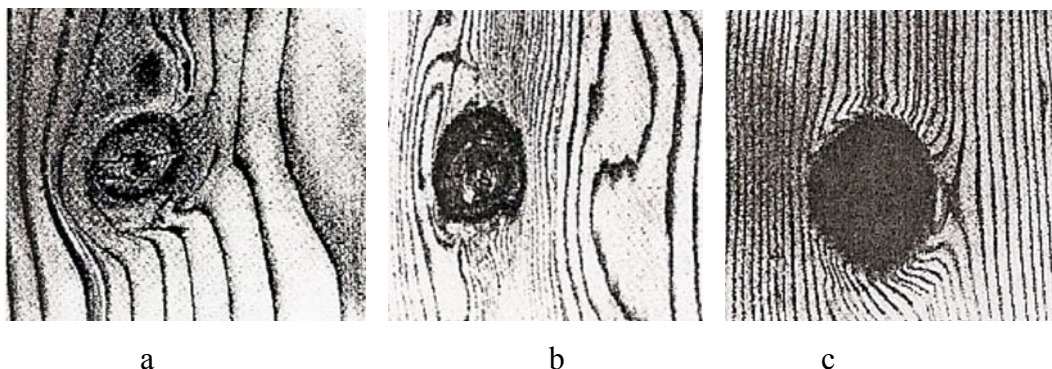
2.6.1 Grče

Med najpomembnejše značilnosti na podlagi katerih razvrščamo žagan les sodijo grče. Grče so del veje, vklopljene v deblo. Dokler je veja živa, njen kambij in prirastne plasti sklenjeno prehajajo v debelni kambij in debelne prirastne plasti: Grče so dotlej zrasle. Ko veja odmre, z njo odmre tudi vejni kambij in posledj ni več kontinuitete med debelnim in vejnim kambijem oziroma prirastnimi plastmi (sl. 1).

Štrclji odmrlih vej pri iglavcih so prepojeni s smolo. Kadar dolgo ostanejo v deblu, jih obraste nov nastali les debla. Ker les mrtvih vej ni povezan z lesom, ki jih obrašča, nastanejo izpadne grče (sl. 2), (Torelli, 1990).



Slika 1: (a) deloma vrasla in deloma izpadna grča in (b) prerasla grča po obvejevanju.



Slika 2: (a) vrasla, (b) izpadna in (c) izpadla grča.

Grče merimo na dva načina; po t.i. splošni metodi ali po alternativni metodi. Splošno metodo uporabljamo pri razvrščanju žaganega lesa na podlagi izgleda, alternativno pa kadar ocenjujemo trdnost žaganega lesa.

Pri ocenjevanju grčavosti s splošno metodo merimo vsako grčo posebej. Ugotavljamo obliko (okrogle, ovalne, podolgovate, krilaste, razvejane- brkaste, skupine grč- venci), velikost (velikost grče je enaka aritmetični sredini največjega in najmanjšega premera grče) in položaj grče na ploskvi ali na boku.

Alternativne metode ne uporabljamo pri nerobljenem žaganem lesu. Merimo le grče na ploskvi in/ali boku, ki so prežagane pravokotno ali poševno. Velikost grče je enaka širini grče ali skupini grč, ki jo izmerimo pravokotno glede na vzdolžno os žaganega lesa.

2.6.2 Ostale značilnosti

Vrastki skorje so odvisni od sortiranja uporabe, izmerimo dolžino in širino, ki obsega ta pravokotnik, rezultat pa izrazimo v milimetrih. Tam, kjer imamo dva ali več vrastkov skorje, vsako zmerimo posebej in upoštevamo skupno dolžino.

Pri smolikah merimo smolike večjih osi in jih izražamo v mm. Če jih je več kot ena, zapišemo vse kot število smolik na meter dolžine ali skupno dolžino.

Pri zavitosti vlaken izberemo 1 m dolg delež površine, ki nam prikazuje dolgo zavitost vlaken. V primeru spodnjega dela debla, izberemo del, ki je najmanj 1 m od konca debla. Merimo količino, kjer so vlakna oddaljena od ustrezne linije vzdolž hloda na razdalji 1 m. Rezultat izrazimo v cm na m ali v procentih.

Dolžino lisičavosti podamo v cm ali v % dolžine. Če se lisičavost pojavi večkrat na ostrem robu, potem različne dolžine seštejemo. Lahko izmerimo večje širine lisičavosti na ploskvi ali robu, ter podamo rezultat v mm ali v decimalnem ulomku, ali jih ne merimo, zapišemo samo njeno prisotnost.

Med značilnosti prištevamo tudi čelne in površinske razpoke, lok in sabljavost, zavitost in koritavost, ki so podrobno opisane v standardu.

Perstorper in sod. (2001) so naredili raziskavo na zvitju norveške smreke. Prisotnost grč v tablicah dimenzij 13 mm x 13 mm x 200 mm je bistveno vplivala na vzdolžno krčenje pri merjenju. Vzorci z velikim številom grč so imeli skoraj 100 % večje vzdolžno krčenje kot vzorci brez grč.

Vzdolžno krčenje rahlo upada z oddaljenostjo od stržena deske, medtem ko radialno in tangencialno krčenje ne razkrijeta bistvenih odstopanj. Material hitre rasti pogosteje, lažje prenaša visoka vzdolžna krčenja in nizka diagonalna oz. prečna krčenja, kot počasi rastoči material. Gostota in širina prikazujeta 60 % sprememb pri radialnem, samo 30 % pa pri tangencialnem krčenju.

Vzdolžno krčenje je povezano z gostoto, širino in dolžino desk. Približno 60 % razlik je možno razložiti z gostoto in širino so ugotovili Perstorper in sod. (2001). Menijo tudi, da to sploh ni presenečenje, ker je radialno krčenje povezano z razmerjem med kasnim lesom in rastjo.

Celotna povprečna vrednost diferencialnega skrčka je $q_R = 0,151$ %/%, kar je zelo dobro v primerjavi z ostalimi študijami. Persson (1997) navaja, da je vrednost diferencialnega skrčka norveške smreke približno $q_R = 0,170$ %/%. Počasi rastoči les ima izrazito večje radialno krčenje ($q_R = 0,176$ %/%) v primerjavi s hitro rastočim lesom ($q_R = 0,129$ %/%).

2.7 ZNAČILNE NAPAKE SUŠENJA SMREKOVINE

Pri izvajanju sušilnega postopka pride tudi do pojava napak, ki jih ocenjujemo z vidika kakovosti osušenega lesa. Pojavijo se kot vidne mehanske napake, kot so razpoke in razna veženja, intenzivna obarvanja površine ali notranjosti in pojava notranjih ali rastnih napetosti, ki se kot napake pokažejo šele v nadaljnji predelavi oziroma obdelavi.

2.7.1 Razpoke

Ocena kakovosti sušenja temelji predvsem na številu, položaju in velikosti razpok. Razpoke so odvisne tudi od drevesne vrste in načina obdelave lesa.

2.7.1.1 Čelne razpoke

Čelne razpoke se vedno pojavijo na čelih in so posledica hitrejšega sušenja čelnih površin, hitrejšega pretoka proste in vezane vode v vzdolžni smeri lesa in neporavnosti čel zložajev (sl. 3). Če seže čelna razpoka čez celotni prerez deske ali elementa jo imenujemo reža. Čelno razpoko, ki ne seže čez celotni prerez pa imenujemo napoka.

Čelne razpoke so rezultat različnega krčenja in ugotovljene hitro spreminjajoče vlažnosti vzdolž lesa (Wengert in Meyer, 1993). Čelne razpoke moramo preprečiti na dva ali tri načine, in sicer:

- čela hlodovine, ki so na skladišču odrežemo in jih premažemo,
- pravilno prizmatično zlagamo zložaje z distančnimi letvami tik ob čelu in

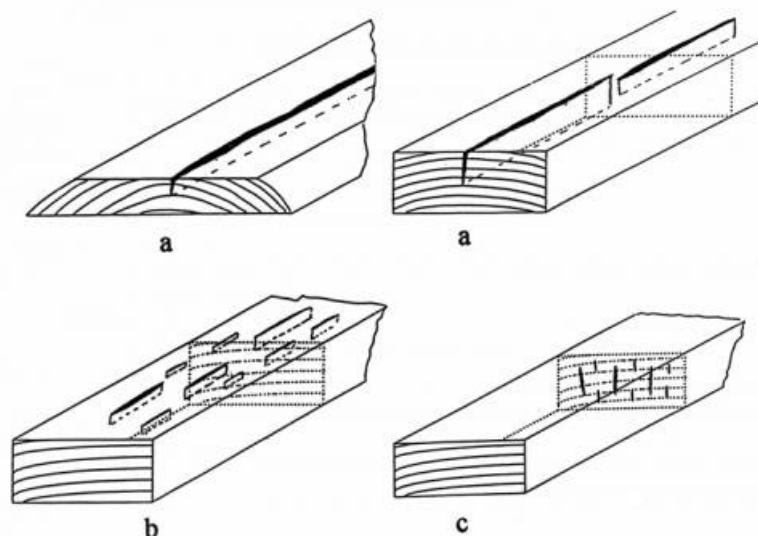
- naredimo rahel previs skladovnice, poskrbimo za zasenčenost čel lesa ter tako upočasnimo izgubljanje lesne vlažnosti proti čelu.



Slika 3: Prisotnost čelnih razpok na deskah po sušenju.

2.7.1.2 Površinske razpoke

Površinske razpoke so posledica prehitrega sušenja površine v primerjavi s sredico, predvsem v začetnih fazah sušenja, če le-ta poteka prehitro. Razpoke so ozke in dolge in so najpogostejše na tangencialnih deskah (sl. 4). V nadaljevanju sušenja, ko se napetost obrne, se največkrat zaprejo, tako da jih po sušenju težko identificiramo, pogosto pa se kasneje pojavijo pri površinski obdelavi. Površinske razpoke so rezultat sušilnih napetosti oziroma prekoračitve natezne trdnosti pravokotno na vlakna v zgodnjih fazah sušenja.



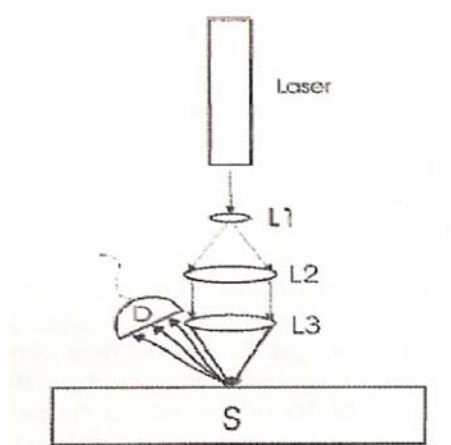
Slika 4: Razpoke, nastale zaradi nepravilnega sušilnega postopka: a) radialne razpoke na tangencialno usmerjenih deskah, b) pokline in c) satavost.

Površinske razpoke se lahko pojavijo na obeh površinah, še bolj pa so značilne za les, ki je direktno izpostavljen soncu in suhemu vetru, sta mnenja Wengert in Meyer (1993). Število poklin oziroma površinskih razpok lahko zmanjšamo ali preprečimo s sušenjem pri relativno visoki zračni vlažnosti v začetnih fazah sušenja in s stalnim preverjanjem zanesljivosti delovanja termometrov in higrometrov.

Folvik in sod. (2003) so preverjali prisotnost razpok v grčah. Iz materiala štirih različnih desk, dimenzije 50 mm x 50 mm so bile izbrane po štiri grče, ki so bile izrezane. Vlažni vzorci so bili odstranjeni pred procesom sušenja, konci pa so bili premazani s silikonskim premazom, da bi se izognili končnim vplivom. Štirje kosi so bili dani v laboratorijsko komoro. V času segrevanja so bili kosi dani v plastično škatlo, da bi zmanjšali odzivnost na dejanski sušilni čas. Pripravili so štiri različne režime sušenja, da bi ugotovili odziv na različne sušilne stopnje in temperaturne razrede. Temperature režimov so izmerili vsakih pet minut, prav tako pa so bili kosi stehtani pred in med sušenjem, z namenom ohranitve vlažnosti lesa.

Ugotovili so, da premazovanje s silikonskim premazom kaže na zmanjševanje razpok. Premazovanje površinskih grč tako v procesu sušenja kaže na preprečevanje razpok, ugotovili pa so tudi, da gre za učinkovit postopek.

Hanhijarvi in sod. (2003) so opazovali razvoj mikrorazpok na površini lesa. Namen naloge je bil najti mikrorazpoke s pomočjo laserja na lesni površini in preveriti njihovo kakovost (sl. 5).



Slika 5: Laser za merjenje in iskanje mikrorazpok.

Minimalne razpoke, ki so bile najdene z njihovo aparaturo so bile od 0,01 mm do 0,02 mm. Laserski žarki nam pokažejo razpoke, ki s prostim očesom niso vidne. V tem poročilu je šlo za potrditev teze o razvoju mikrorazpok v zgodnjem stadiju sušenja. Za pridobitev teh koristnih rezultatov je potrebno narediti meritve na zelo velikem številu vzorcev. Te razpoke so bile bolj vidne, ko se je površina lesa hitreje sušila kot notranjost in takrat se razpoke odprejo. Najbolj primeren čas za meritve je, ko se razpoke pojavijo in rastejo med začetnim procesom sušenja, kasneje, ko se vlažnostni gradient med površino in notranjostjo izenači, se razpoke zaprejo in postanejo manj vidne. Potrdili so, da metoda lahko zagotavlja oceno širine razpok.

2.7.2 Zaskorjenje

Zaskorjenje je tipična napaka v konvektivnem postopku sušenja (Gorišek, 2004), ki se ji ne moremo povsem izogniti. Z nadzorovanim in previdnim postopkom lahko učinek izničimo. Zaskorjenje lahko spremljamo takoj, ko se površina lesa začne sušiti pod točko nasičenja celičnih sten. Zaradi krčenja se na površini pojavijo natezne napetosti, sredica pa je obremenjena na tlak.

Geršak in sod. (1998) pravijo, da je zaskoritev napaka, saj se pri previsokem vlažnostnem gradientu pri nadaljnjem sušenju zunanje plasti še naprej izsušujejo, notranje plasti pa še ne dosežejo TNCS. Tako se zunanje plasti ne morejo krčiti, ker jih zadržujejo notranje plasti lesa, nastanejo pa natezne napetosti na zunanjih plasteh.

V ostrih razmerah sušenja lahko napetosti na površini povzročijo trajne plastične deformacije, zato se površina skrči manj, kot bi se sicer. Nasprotno je v sredici, kjer tlačne napetosti povzročijo celo večja krčenja od krčenja neobremenjenega lesa. Posledica razlik v krčenju površine in sredice je »obrnjeno« napetostno polje na koncu sušenja. Sredica je obremenjena na nateg, površina pa na tlak, ob sicer enakomerni vlažnosti.

Zaskorjenje spremljamo med celotnim postopkom sušenja najpogosteje z viličnim testom ali drugimi metodami ugotavljanja notranjih napetosti, hkrati pa moramo spremljati tudi vlažnostni gradient.

Posebno pozornost zahtevajo plemenitejše lesne vrste in debelejši sortimenti, ki jih nameravamo v nadaljnji proizvodnji prežagovati ali profilirati, kajti zaskorjenje se kot velika napaka pokaže šele takrat. Močnemu zaskorjenju največkrat sledijo prikrite notranje sataste razpoke. Lesno tkivo v notranjosti tako ni več konsistentno in postane neuporabno (Gorišek, 2004).

Za preprečevanje zaskorjenja moramo deske sušiti pri višji relativni zračni vlažnosti na začetku druge faze in podaljševati kondicioniranje na koncu sušenja.

2.7.3 Veženja

Veženja so posledica nepravilnega formiranja zložajev ali nepravilnega poteka vlaken in je deformacija ravne ploskve obdelovanca v vzdolžni smeri.

V to skupino napak sodijo:

- lok ali vzdolžna ukrivljenost, (posledica razlike v krčenju v vzdolžni smeri in diagonalnega ali spiralnega poteka vlaken),
- zavitost ali spiralno veženje v vzdolžni smeri (odvisno od poteka vlaken),
- koritavost ali ukrivljenost po širini deske (posledica prečne krčitvene anizotropije in neenakomernega sušenja) in
- sabljavost ali bočna ukrivljenost v vzdolžni smeri.

Med vzroke veženja štejemo nepravilno formiranje zložajev (neenakomerna debelina letvic in preveliki razmaki med distančnimi letvicami), visoka temperatura (povzroča večja krčenja), prenizka končna vlažnost, notranje in rastne napetosti, reakcijski les, juvenilni les in neenakomerno sušenje.

Veženja se ne moremo povsem znebiti, lahko pa ta delež zmanjšamo s pazljivim zlaganjem desk v prizmo in pravilnim zlaganjem distančnih letvic, tako na čelu kakor v notranjosti zložajev.

2.7.4 Iztekanje smole

Smola v lesu začne iztekati na površino, pri temperaturi od 60 °C do 65 °C. Smolo se lahko površinsko odstrani s skobljanjem in krpanjem, iztekanje pa lahko preprečimo tudi z maksimalno temperaturo sušenja od 55 °C do 60 °C.

2.7.5 Glivična in bakterijska obarvanja

Spremembe barve lesa nastanejo pri previsoki temperaturi in visoki relativni zračni vlažnosti v vlažnem lesu. Pojavljajo se na površini, lahko pa tudi v notranjosti. Sprememba barve lesa na površini (do 1 mm globine lesa), ki nastane pri iglavcih se lahko odstrani s skobljanjem deske.

V notranjosti lesa pa se obarvanja pojavljajo po celotni notranjosti lesa ali v obliki lis. Ta pojav preprečujemo s sušenjem z nižjo temperaturo do vlažnosti lesa 25 %.

Glive napadejo les pri temperaturi od 3 °C do 35 °C in višji vlažnosti lesa od 20 %. Na razvoj gliv ima velik vpliv gibanje zraka pri zmernih temperaturah v sušilnici. Pri dobri cirkulaciji zraka se glive ne razvijejo. Les je zaščiten pred glivami, ko je popolnoma napojen z vodo.

2.7.6 Neenakomerno sušenje

Neenakomerno sušenje lahko pripisujemo neenakomernemu kroženju zraka, netesnosti vrat, kapljanju vode iz vlažilnih naprav in mehanskim okvaram v sušilnici, tako da moramo izboljšati prerazporeditev grelnih naprav, zagotoviti enakomerno navlaževanje po vsej komori, preveriti hitrosti ventilatorjev, morebiti zamenjati šobe, ventile ali tesnila (Gorišek, 2004).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 MATERIAL

V naši raziskavi smo uporabljali hlodovino pridobljeno predvsem na bohinjskem območju. Vso hlodovino je bilo potrebno pripraviti za razžaganje. V jesenskem obdobju smo izbrali 8 hlodov povprečnega srednjega premera 31 cm in dolžine 4 m, v zimskem času pa 7 hlodov povprečnega premera 26 cm in dolžine 4 m. K pripravi že sortiranih hlodov štejemo lupljenje, obračanje, čiščenje, merjenje in čeljenje.

Hlodovino za izvedbo eksperimentalnega dela smo izbrali in kakovostno ovrednotili pred razžaganjem, kakovost pa natančno ocenili tudi na žaganem lesu. Hlodovina je bila uvrščena v kvalitetni razred C (sl. 6).

Hlodovino smo na polnojarmeniku razžagali v nerobljene deske debeline $19,2 \pm 1$ mm. Deske smo kasneje razžagali na dolžino 2 m, da je ustrezala dimenzijam pilotske sušilnice.



Slika 6: Izbor in priprava hlodovine za razžaganje.

3.2 METODE

V industrijski proizvodnji se slabša kakovost lesa v zimskem času pripisuje ostrejšim zunanjim klimatskim pogojem, zato smo eksperimentalni del sušenja izvedli v jesenskem in zimskem času. Vsi poskusi so bili izvedeni v pilotski eksperimentalni sušilni komori na Oddelku za lesarstvo. V jesenskem obdobju smo osušili dve šarži po enakem programu sušenja (priloga B in B1), v zimskem času pa dve šarži z različno psihrometrsko razliko in ravnovesno vlažnostjo (priloga B2 in B3).

Za vsako šaržo smo deske zložili v prizmatični zložaj velikosti 100 cm x 90 cm x 200 cm, ki je zagotavljal optimalno polnjenje sušilne komore. V zložajih je bilo od 80 do 90 desk (sl. 7). Končna vlažnost osušenih desk je bila definirana z zahtevami proizvodnje.



Slika 7: Prikaz letvičenega zložaja s pritrjenimi sondami.

Programe sušenja smo prilagodili že obstoječim režimom v industrijski proizvodnji in zmožnostim eksperimentalne sušilne komore. Iz vsake šarže smo izbrali 30 sledilnih vzorcev, 10 radialnih, 10 tangencialnih in 10 radialno - tangencialnih desk, ki smo jih natančno ocenjevali in spremljali čez celotni sušilni proces. Detajlno oceno kakovosti smo

izvedli pred in po sušenju. Izmere dimenzij žaganega lesa smo izvedli po standardu (SIST EN 1309-1). Žagan les smo razvrstili tudi v kvalitete razrede na podlagi vizualne ocene po standardu (SIST EN 1611-1).

Spremembo vlažnosti med sušenjem smo spremljali s štirimi merilnimi sondami, ki smo jih enakomerno razmestili po zložaju. Odgovarjajočo klimo, ki smo jo predpisali z režimom, smo kontrolirali z dvema psihrometroma nameščenima na vsaki strani komore, to je na vstopu zraka v zložaj.

Kontrolo sušenja smo izvajali s primerjavo poteka sušenja z načrtovanim, tekočim in rednim zapisovanjem vseh sušilnih parametrov in tekočim preverjanjem delovanja vseh naprav. Po doseženi željeni končni vlažnosti je sledilo kondicioniranje, izenačevanje in ohlajanje.

Pri oceni končne kakovosti, ki se je pričela s splošnim vizualnim pregledom celotne šarže, smo natančno določili še:

- pogostost, število in velikost čelnih in površinskih razpok,
- končne vlažnosti lesa,
- vlažnostni gradient po preseku lesa,
- notranje napetosti ter
- obseg obarvanja.

3.2.1 Klasifikacija desk

Za klasifikacijo desk smo uporabljali naslednje standarde:

- SIST EN 1309-1: Okrogli in žagani les – Metoda merjenja izmer (pregl. 1 in priloga A),
- SIST EN 1310: Okrogli in žagani les – Metoda merjenja značilnosti lesa,
- SIST EN 1611-1: Žagani les – Razvrščanje iglavcev po videzu – 1.del,

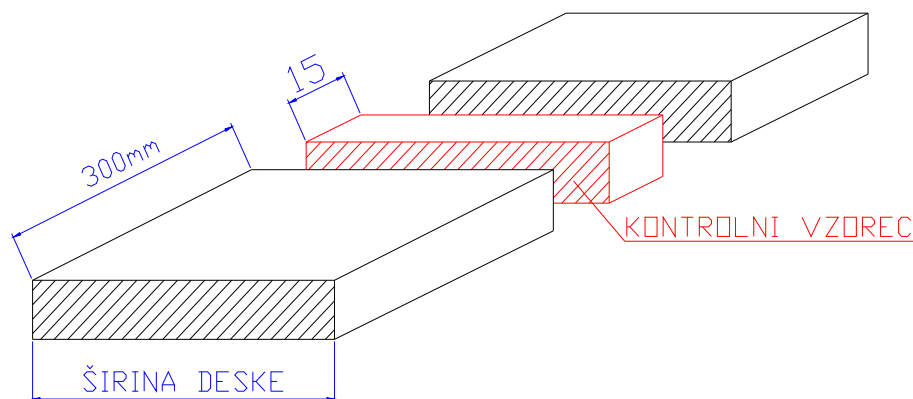
- SIST EN 13183-1: Delež vlage v žaganem lesu – 1. del: Določevanje s sušenjem v pečici,
- SIST EN 13183-2: Delež vlage v žaganem lesu – 2. del: Ocena z metodo električne upornosti,
- SIST ENV 14464: Žagani les – Metoda za ocenjevanje zaskorjenosti.

Preglednica 1: Razredi in oznaka kvalitetnega območja po standardu SIST EN 1309.

RAZRED	OZNAKA PO STANDARDU	
1	G2-0	G2/G4-0
2	G2-1	G2/G4-1
3	G2-2	G2/G4-2
4	G2-3	G2/G4-3
5	G2-4	G2/G4-4

3.2.2 Določitev vlažnosti lesa

Začetno vlažnost vsake deske smo določili z gravimetrično metodo (SIST EN 13183-1). Deske smo odčelili na oddaljenosti 300 mm od čela, s čimer smo izločili vpliv hitrejšega izsuševanja lesa s čelnih površin, zatem smo izžagali odrezke debeline 15mm, katere smo nato stehali in dobili mase vlažnega lesa (sl. 8).



Slika 8: Priprava sušilnega vzorca za ugotavljanje vlažnosti.

Odrezke smo osušili v sušilniku pri temperaturi $103 \pm 2^\circ \text{C}$ do konstantne mase. Tako smo dobili mase absolutno suhega lesa. Tehtanje v absolutno suhem stanju smo izvedli takoj po odvzemu vzorcev iz sušilnika. Vlažnosti kontrolnih odrezkov smo izračunali po formuli:

$$u(\%) = \frac{m_v - m_o}{m_o} \times 100\% = \frac{m_{H_2O}}{m_o} \times 100\% \quad \dots(5)$$

u ... lesna vlažnost (kg/kg; %),

m_v ... masa vlažnega odrezka (kg) in

m_o ... masa absolutno suhega odrezka (kg).

Vlažnost lesa na kontrolnih deskah smo določevali tudi z električno – uporovno metodo (SIST EN 13183-2), ki smo jo uporabljali po sušenju, saj je primerna le v vlažnostnem območju od 7 % do 27 %. Meritve smo izvedli z uporovnim merilnikom Gann Hydromette M 4050 z igelnimi elektrodami, ki smo jih zabili vsaj 300 mm od čela elementov, pravokotno na smer vlaken do 1/3 debeline deske oz. elementa. Meritev smo odčitali po treh sekundah, ko se je inštrument povsem umiril.

3.2.3 Določitev vlažnostnega gradienta

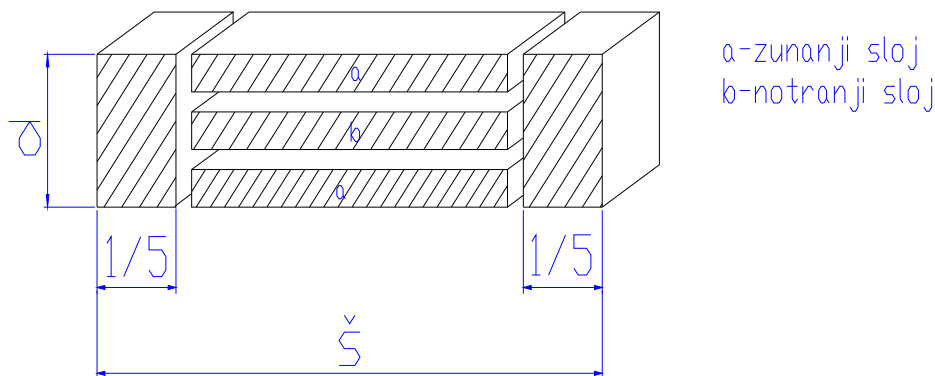
Pri določitvi vlažnostnega gradienta smo ravno tako odžagali odrezke debeline 15 mm ter širine 60 mm. Odrezke po debelini žaganice smo razžagali na tri enake sloje, jih označili ter vsakega posebej stehali. Prav tako smo jih osušili v laboratorijskem sušilniku pri temperaturi $103 \pm 2^\circ \text{C}$ do konstantne mase (sl. 9). Po končanem sušenju smo vse odrezke ponovno stehali ter izračunali vlažnostni gradient po formuli:

$$(\% / mm) = \frac{u_b - u_a}{d_b - d_a} \quad \dots(6)$$

u_b ... vlažnost notranjih plasti (%),

u_a ... vlažnost zunanjih plasti (%) in

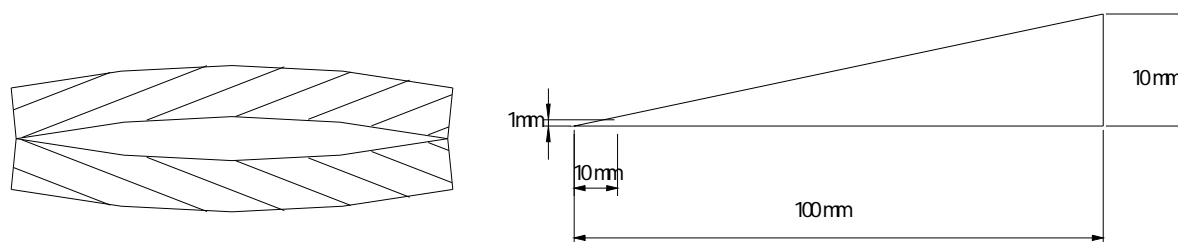
d_b, d_a ...razdalja med središčinama zunanje in notranje lamele



Slika 9: Priprava vzorca za ugotavljanje vlažnostnega gradienta po debelini.

3.2.4 Merjenje notranjih napetosti

Notranje napetosti po sušenju smo določili po standardu SIST ENV 14464 (2003). Na tračno žagalnem stroju smo na oddaljenosti 300 mm od čela elementa izžagali 150 mm dolg preizkušaneec, ki smo ga razpolovili na dva enaka dela in ju označili. Med preizkušance smo vstavili merilno zagozdo oziroma klin in odčitali razmik, ki je določen v mm (sl. 10). Preizkušance smo nato nepredušno zaprli v plastične vrečke. Po 48 urah smo meritev ponovili.

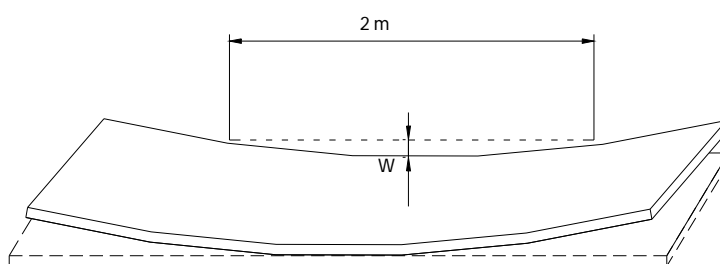


Slika 10: Merilna zagozda oz. klin za ugotavljanje notranjih napetosti.

3.2.5 Merjenje veženja

3.2.5.1 Lok in sabljavost

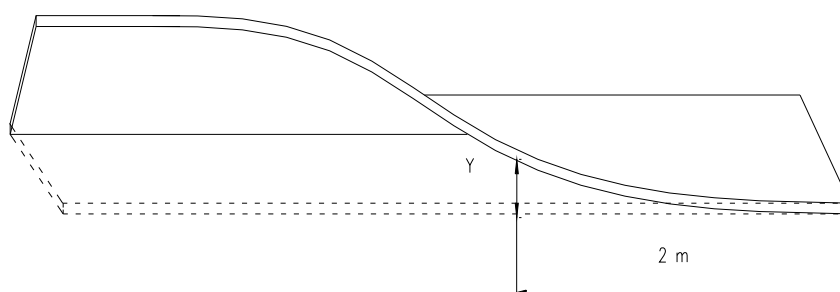
Pri lokavosti smo izmerili maksimalno vzdolžno ukrivljenost na ploskvi (sl. 11). Za kose dolge maksimalno 2 m smo položili ravnilo in izmerili. Rezultat smo podali v mm na 2m dolžine.



Slika 11: Prikaz načina merjenja lokavosti.

3.2.5.2 Zavitost

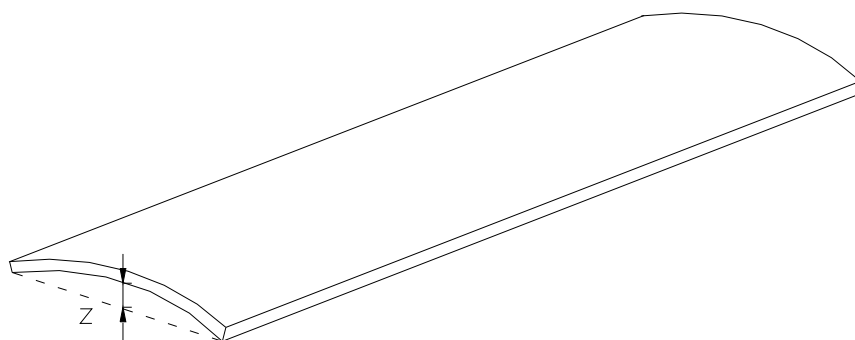
Pri zavitosti smo izmerili maksimalno spiralno odstopanje od površine, v vzdolžni smeri, ki jo vidimo v obliki propelarja (sl. 12). Izrazili smo jo v mm ali v % dolžine.



Slika 12: Prikaz načina merjenja zavitosti.

3.2.5.3 Koritavost

Pri koritavosti smo izmerili maksimalno ukrivljenost po širini deske, in sicer tako, da smo na polovici dolžine deske, čez celotno širino deske postavili ravnilo, in izmerili oddaljenost deske od ravnila (sl. 13). Rezultat izrazimo v mm ali v % širine.



Slika 13: Prikaz načina merjenja koritavosti.

3.2.6 Predstavitev sušilnih režimov

V jesenskem obdobju smo osušili dve šarži. Šarži 1 in 2 sta potekali po milejših pogojih z začetne vlažnosti 80 % na končno vlažnost 8 % (pregl. 2). Sušenje smo v vseh štirih primerih pričeli pri temperaturi 65 °C in jo postopoma dvigovali na končno 70 °C, medtem ko smo psihrometrsko razliko povečevali pri milejših pogojih iz začetne 9 °C na končno 20 °C, pri ostrejši šarži pa smo sušenje začeli s psihrometrsko razliko 11 °C in jo postopoma dvigovali do 28 °C (pregl. 3).

Zaradi mile zime smo pri šaržah 3 in 4 uporabljali tudi predhodno zmrznjene deske, ki smo jih za 72 ur dali zamrzniti v zmrzovalno skrinjo, pri temperaturi – 15 °C do – 18 °C.

Preglednica 2: Sušilna programa za smrekovino debeline 19 mm za šarži 1 in 2; u – vlažnost, T – temperatura, ΔT – psihrometska razlika, u_r – ravnovesna vlažnost.

FAZA	ŠARŽA 1				ŠARŽA 2			
	u (%)	T (°C)	ΔT (°C)	u_r (%)	u (%)	T (°C)	ΔT (°C)	u_r (%)
Segrevanje	80	65	9	9,2	80	65	9	9,2
Sušenje	70	66	9,5	8,9	70	66	9,5	8,9
	60	67	9,5	8,9	60	67	9,5	8,9
	50	68	9,5	8,8	50	68	9,5	8,8
	40	69	10	8,6	40	69	10	8,6
	30	70	11	8	30	70	11	8
	25	70	12	7,5	25	70	12	7,5
	20	70	13,5	6,9	20	70	13,5	6,9
	15	70	17	5,8	15	70	17	5,8
	10	70	20	5	10	70	20	5
Izenačevanje	8	70	20	5	8	70	20	5
Kondicioniranje	8	70	6	11	8	70	6	11

Preglednica 3: Sušilna programa za smrekovino debeline 19 mm za šarži 3 in 4; u – vlažnost, T – temperatura, ΔT – psihrometska razlika, u_r – ravnovesna vlažnost.

FAZA	ŠARŽA 3				ŠARŽA 4			
	u (%)	T (°C)	ΔT (°C)	u_r (%)	u (%)	T (°C)	ΔT (°C)	u_r (%)
Segrevanje	80	65	11	8,1	80	65	13,5	7
Sušenje	70	66	11	8,1	70	66	13,5	7
	60	67	11	8,1	60	67	13,5	7
	50	68	11	8	50	68	13,5	7
	40	69	12	7,5	40	69	13,5	7
	30	70	14	6,8	30	70	13,5	7
	25	70	16	6	25	70	16	6
	20	70	19	5,2	20	70	18	5,4
	15	70	22	4,3	15	70	22	4,3
	10	70	20	4,9	10	70	28	3,1
Izenačevanje	8	70	19,5	5	8	70	19,5	5
Kondicioniranje	8	70	6	11	8	70	6	11

4 REZULTATI

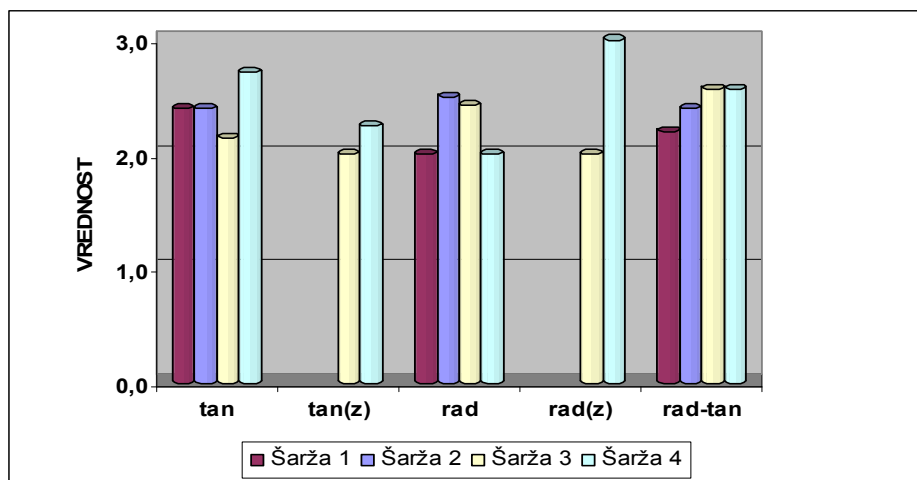
4.1 KLASIFIKACIJA DESK

Povprečne ocene klasificiranih desk za grče in ostale značilnosti lesa po orientiranosti in po posameznih šaržah prikazuje preglednica 4. Pri tangencialnih in tangencialno zmrznjenih deskah je bila ocena višja pri šarži 4. Pri radialnih deskah sta izstopali z višjo oceno šarži 2 in 3 pri radialno zmrznjenih deskah pa šarža 4 (sl. 14).

Preglednica 4: Povprečna ocena kakovosti desk glede na njihovo orientiranost in šaržo.

smer	RAZRED				
	tan	tan(z) *	rad	rad(z) *	rad-tan
ŠARŽA 1	2,4		2,0		2,2
ŠARŽA 2	2,4		2,5		2,4
ŠARŽA 3	2,1	2,0	2,4	2,0	2,6
ŠARŽA 4	2,7	2,3	2,0	3,0	2,6

* predhodno zamrznjene deske



Slika 14: Povprečna razvrstitev desk glede na orientiranost in šaržo.

4.2 KINETIKA SUŠENJA

Časi sušenja so se iz režima v režim krajšali, kar je posledica večanja ostrine sušenja (pregl. 5). V jesenskem času, ko smo sušili šarži 1 in 2, so bile uporabljene deske z večjo začetno vlažnostjo in tudi z večjo začetno maso. Povprečna končna vlažnost osušenega lesa se je gibala okoli 8 %. Izstopala je šarža 1, pri kateri smo les osušili na povprečno končno vlažnost lesa 13,5 %.

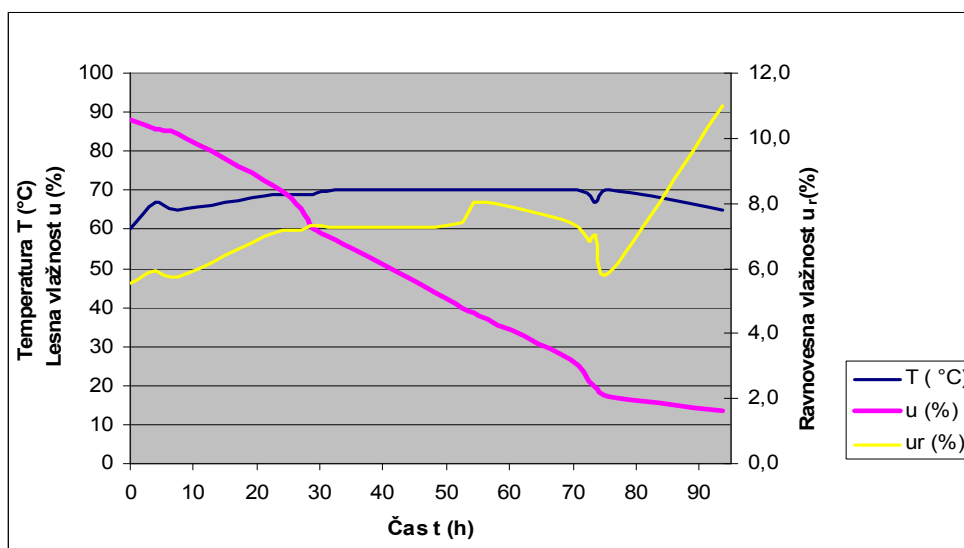
Preglednica 5: Trajanje sušenja po šaržah in začetne ter dosežene končne vlažnosti.

ŠARŽA	čas (h)	Začetna vlažnost u_z (%)	Končna vlažnost u_k (%)
ŠARŽA 1	93,7	87,9	13,5
ŠARŽA 2	55,5	96	7,8
ŠARŽA 3	47,5	73,5	8,9
ŠARŽA 4	45,5	63,7	8,5

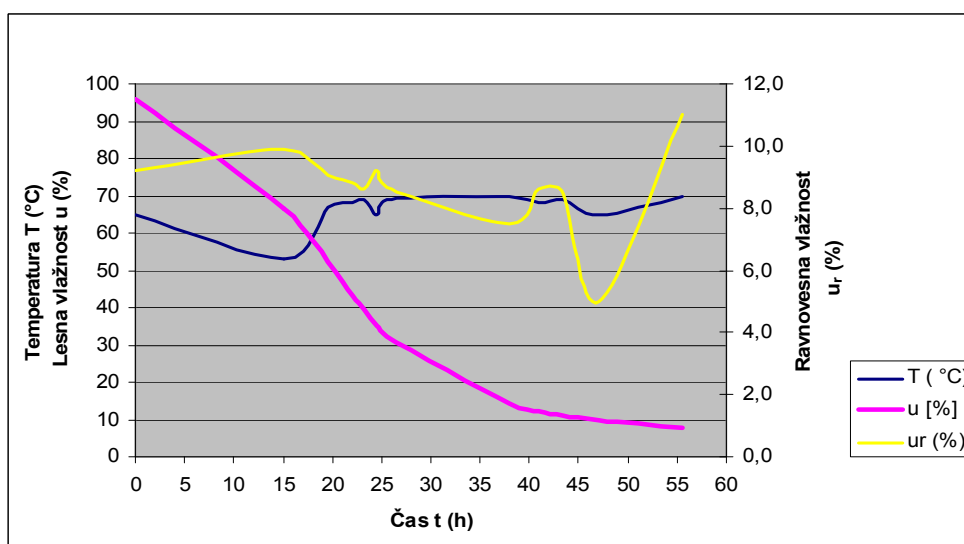
4.3 POTEK SUŠENJA

Sušilne karakteristike smrekovine smo vrednotili z izvajanjem štirih ciklusov sušenja. Sušilna postopka v jesenskem času sta bila najmilejša, predvsem šarža 1 (sl. 15), kar se vidi tudi po času. Lesna vlažnost je skozi celotni proces sušenja skoraj linearno padala, vendar je bila nekoliko višja od pričakovane. Sušenje se je začelo s temperaturo 60 °C in zaključilo s 65 °C.

Pri šarži 2 (sl. 16) so bili pogoji sušenja primernejši, kar se vidi tudi po času sušenja. Sušenje se je začelo s temperaturo 65 °C in končalo s temperaturo 70 °C. Lesna vlažnost je iz začetne 96 % padala in se ustavila pri končni vlažnosti 7,8 %.

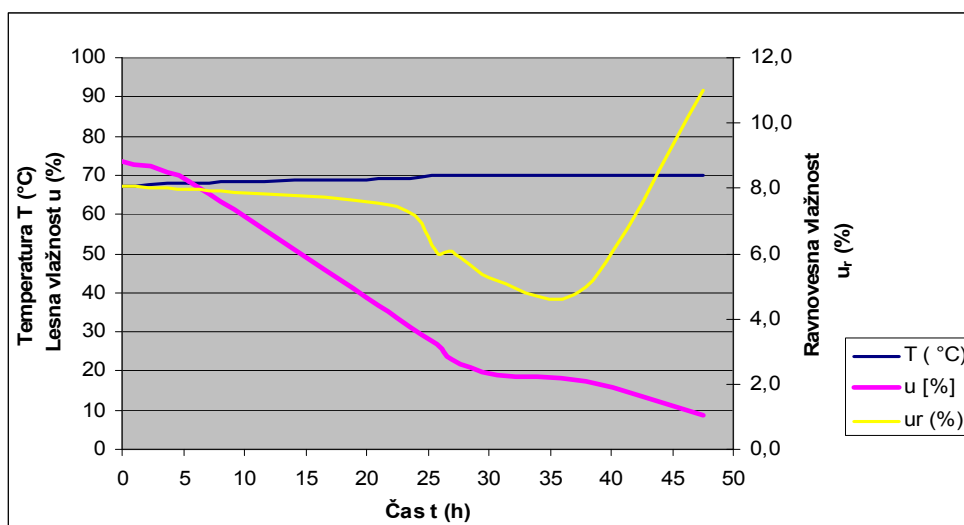


Slika 15: Potek 1. šarže sušenja: Ravnovesna vlažnost (u_r), lesna vlažnost (u) in temperatura sušenja (T) v odvisnosti od časa (t).

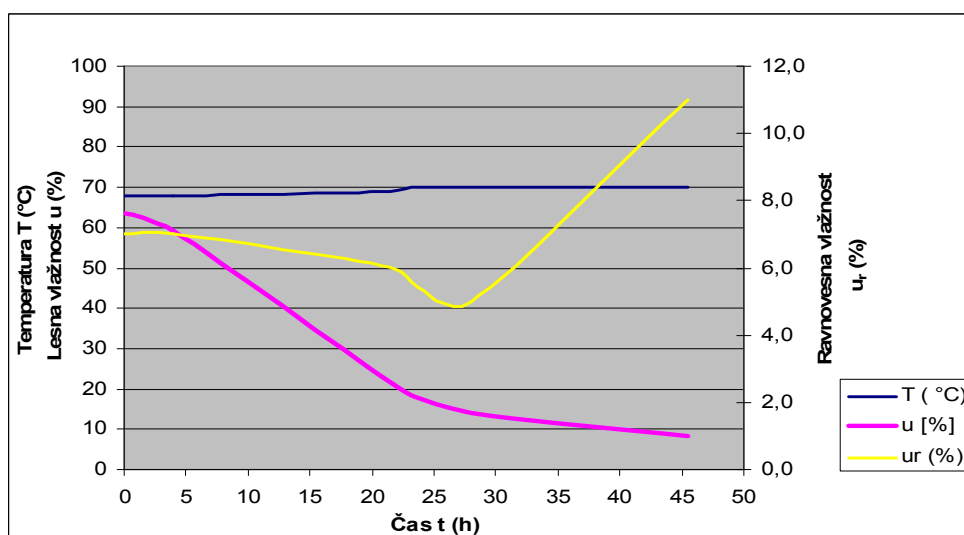


Slika 16: Potek 2. šarže sušenja: Ravnovesna vlažnost (u_r), lesna vlažnost (u) in temperatura sušenja (T) v odvisnosti od časa (t).

Šarži 3 (sl. 17) in 4 (sl. 18), sta potekali v zimskem času, temu primerno pa smo prilagodili tudi režima, saj smo sušili pri povišani psihrometriški razliki in ravnovesni vlažnosti, kar se vidi že pri sami krivulji sušenja. Sušenje se je začelo s temperaturo 67 °C in končalo s temperaturo 70 °C. Ravnovesna vlažnost se je gibala od 8,1 % do 5 %, ter do 11 % v fazi kondicioniranja.



Slika 17: Potek 3. šarže sušenja: Ravnovesna vlažnost (u_r), lesna vlažnost (u) in temperatura (T) v odvisnosti od časa (t).



Slika 18: Potek 4. šarže sušenja: Ravnovesna vlažnost (u_r), lesna vlažnost (u) in temperatura (T) v odvisnosti od časa (t).

4.4 KONČNA VLAŽNOST SUŠENJA IN NJENA VARIABILNOST

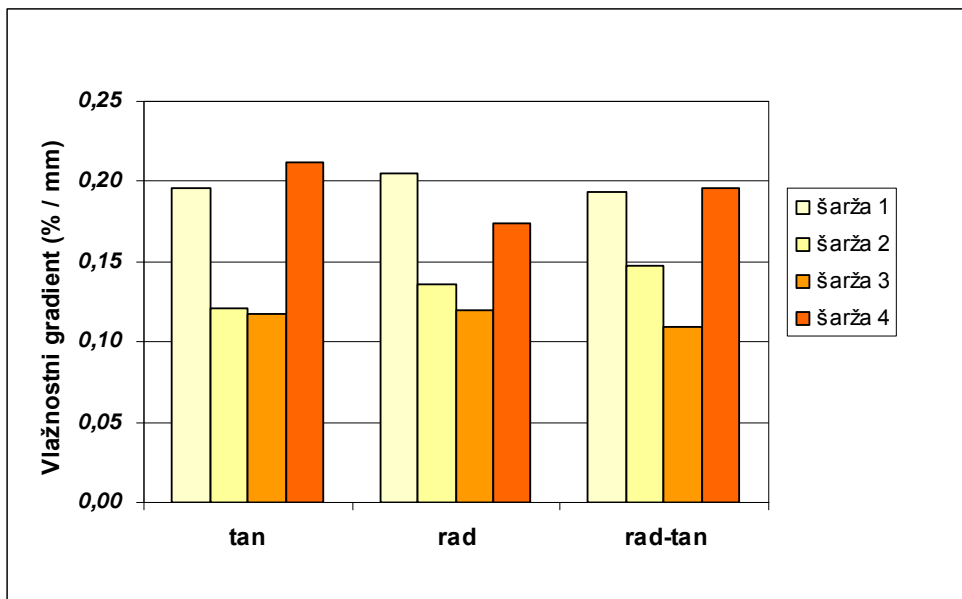
V vseh štirih šaržah je bila ciljna končna vlažnost 8 %, ki je zaradi težav delovanja merilnih naprav, v prvi šarži nismo dosegli, v ostalih treh pa smo jo dosegli v sprejemljivih odstopanjih (pregl. 6). Tudi zmrznjene deske v tretji in četrti šarži so imele še dopustno odstopanje pri končni vlažnosti.

Preglednica 6: Povprečne končne vlažnosti po posameznih šaržah in osnovna statistika.

	ŠARŽA 1	ŠARŽA 2	ŠARŽA 3	ŠARŽA 4	ZMRZNJENE DESKE ŠARŽA 3	ZMRZNJENE DESKE ŠARŽA 4
Ū	13,6	7,8	8,9	8,4	9,0	8,4
n desk	30	30	21	21	8	8
STDEV	1,305	0,692	0,739	0,679	0,506	0,822
CV	0,096	0,089	0,082	0,081	0,082	0,081
MIN	11,4	6,1	7,9	7,2	8,7	7,5
MAKS	16,3	9,5	10,2	9,8	10,0	9,8

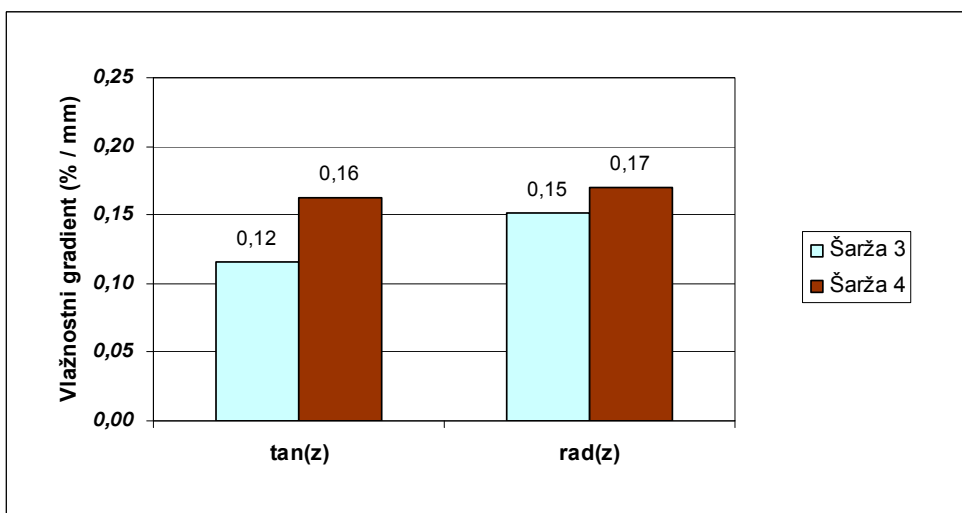
4.5 VLAŽNOSTNI GRADIENT

Vlažnostni gradient po posameznih šaržah se je gibal v predpisanih ali dogovorjenih mejah do 0,2 %/mm. Pri tangencialno usmerjenih deskah se je gibal od 0,12 %/mm do 0,21 %/mm, pri radialnih od 0,12 %/mm do 0,22 %/mm ter pri radialno tangencialno usmerjenih deskah od 0,11 %/mm do 0,20 %/mm. Glede na usmerjenost desk sta odstopali šarža 1 pri radialno usmerjenih deskah in šarža 4 pri tangencialno usmerjenih deskah (sl. 19).



Slika 19: Vlažnostni gradient tangencialnih, radialnih in radialno tangencialnih desk po šaržah.

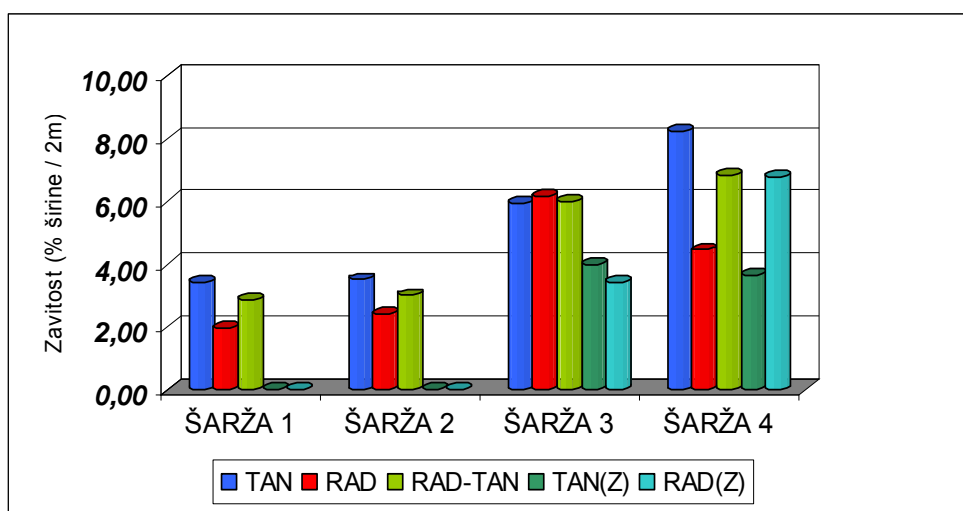
Pri zmrznjenih deskah je bil vlažnostni gradient v tretji šarži manjši kot v četrti, ki smo jo sušili v ostrejših pogojih (sl. 20).



Slika 20: Vlažnostni gradient tangencialnih in radialnih desk po končanem sušenju pri zmrznjenih deskah.

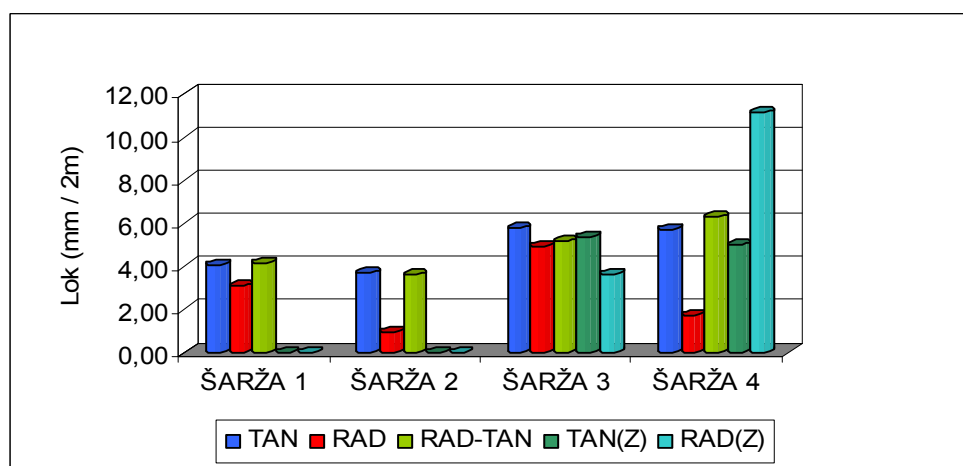
4.6 VEŽENJA

Zavitost je bila v vseh šaržah največja na tangencialnih deskah (sl. 21). Pri šarži 3 in 4 smo poleg ostalih desk sušili tudi zmrznjene deske, kjer je odstopala šarža 4, z večjim deležem zavitosti pri radialnih deskah.



Slika 21: Prisotnost zavitosti po posameznih šaržah.

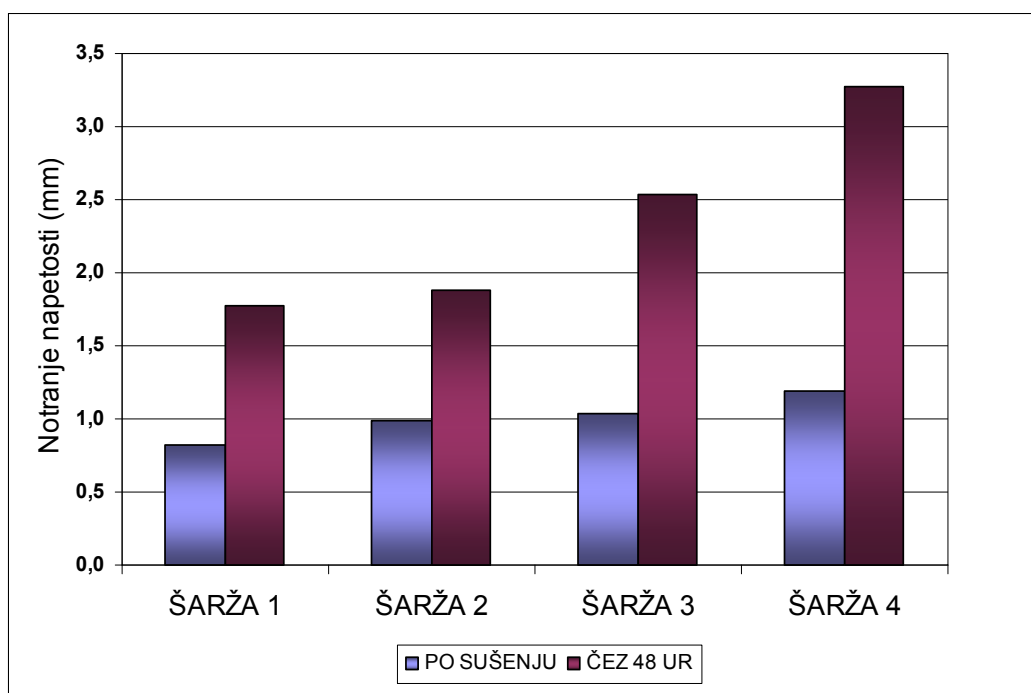
Pri lokavosti sta v vseh šaržah izstopala večja deleža pri tangencialnih in radialno tangencialnih deskah ter večji delež radialnih zmrznjenih desk pri šarži 4 (sl. 22).



Slika 22: Lokavost desk po posameznih šaržah in orientiranosti.

4.7 ZASKORJENJE

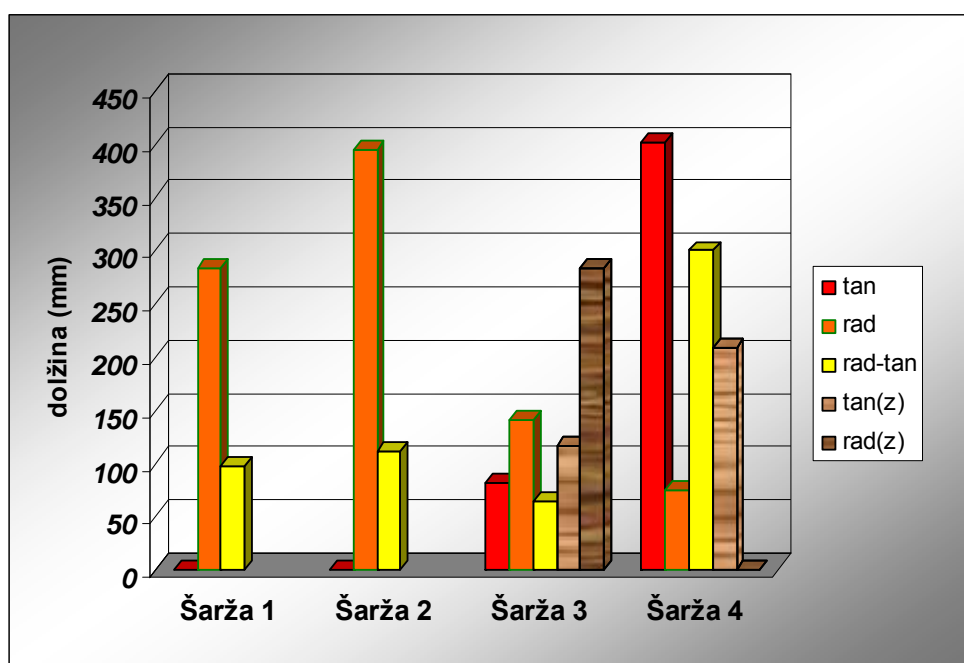
Notranje napetosti po končanem sušenju so bile največje v četrti šarži, v kateri so bili tudi najostrejši pogoji sušenja (sl. 23). Relativno majhne razlike notranjih napetosti med šaržami so bile izmerjene takoj po sušenju, bistveno pa so razlike narasle po 48 urah. Vzrok je v izbrani metodi določevanja zaskorjenja, ki pri opazovanju po 48 urah izkazuje tudi vpliv vlažnostnega gradienta.



Slika 23: Zaskorjenje takoj po sušenju ter po 48 urah.

4.8 ČELNE RAZPOKE

Delež čelnih razpok je bistveno odstopal pri radialnih deskah oziroma juvenilnih sredicah, kar smo tudi pričakovali. Odstopala je šarža 4 v kateri sta prevladovala deleža tangencialnih in radialno tangencialnih desk. Velik delež radialno zmrznjenih desk je bil prisoten tako pri šarži 3 in 4 (sl. 24).



Slika 24 : Čelne razpoke v odvisnosti od orientacije po posameznih šaržah.

5 RAZPRAVA

5.1 PRIMERJAVA MED ŠARŽAMI

Rezultati raziskav in meritev so nam pokazali, da sta se šarži 1 in 2 sušili pod milejšimi pogoji, kar se vidi na daljšem času sušenja. Posledica so manjše sušilne napake, ki se odražajo na bistveno manjšem deležu zavitosti in lokavosti, prav tako pa tudi pri zaskorjenju (pregl. 7).

Preglednica 7: Zavitost in lokavost po posameznih šaržah v odvisnosti od časa sušenja.

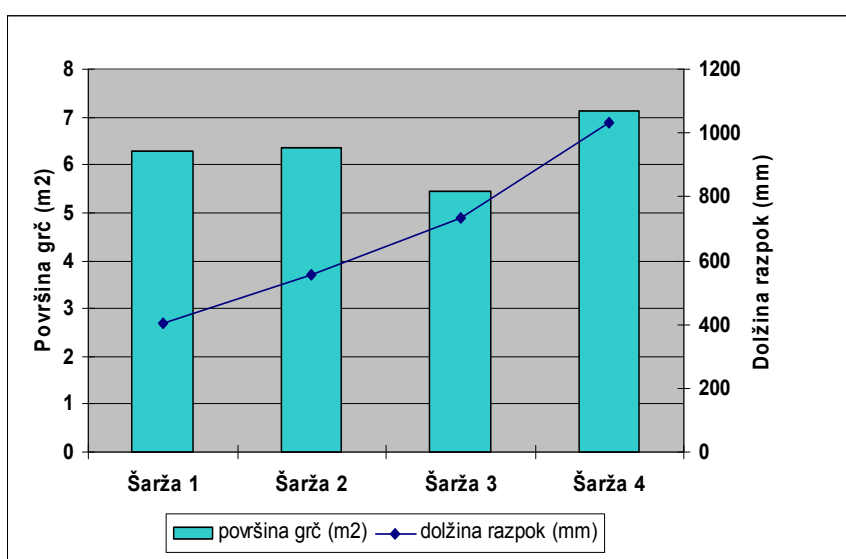
ŠARŽA	ZAVITOSTI (% širine / 2m)					LOKAVOSTI (mm /2m)				
	TAN	RAD	RAD-TAN	TAN(Z)	RAD(Z)	TAN	RAD	RAD-TAN	TAN(Z)	RAD(Z)
ŠARŽA 1	3,42	1,95	2,89	0,00	0,00	4,06	3,06	4,15	0,00	0,00
ŠARŽA 2	3,52	2,43	3,01	0,00	0,00	3,68	0,96	3,59	0,00	0,00
ŠARŽA 3	5,97	6,16	6,01	3,98	3,42	5,76	4,93	5,14	5,38	3,63
ŠARŽA 4	8,26	4,46	6,83	3,67	6,78	5,71	1,71	6,29	5,00	11,13

Prisotno je bilo tudi veženje, ki ga težko povsem preprečimo, lahko pa ga zmanjšamo s pazlivejšim zlaganjem zložajev v prizmo. Pri režimih 1, 2 in 4 je bil delež zavitosti nekoliko večji pri tangencialnih in radialno tangencialnih deskah, pri režimu 3 pa pri radialnih deskah.

Delež lokavosti je bil prav tako nekoliko večji pri tangencialnih in radialno tangencialnih deskah. Pri lokavosti bi bilo smotrno izločanje lesa z veliko zavistostjo vlaken, zavistost zgornjih desk zložaja (delež le teh je bil zelo majhen), pa bi lahko zmanjšali z obtežitvijo.

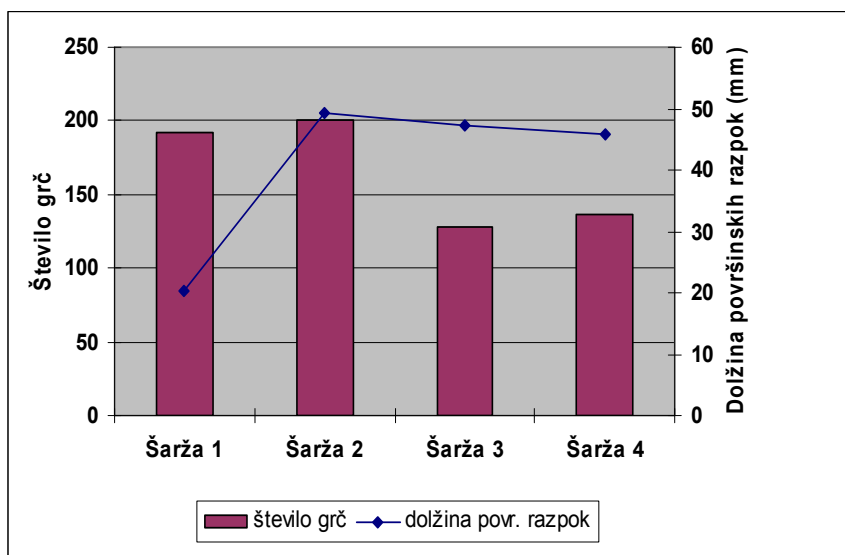
5.2 VPLIV ZGRADBE LESA NA KAKOVOST OSUŠENEGA LESA

Naredili smo primerjavo med skupno dolžino razpok in skupno površino grč. Iz nje je razvidno, da se je skupna dolžina razpok iz režima v režim povečevala glede na višjo ostrino sušenja, medtem, ko je bila površina grč pri vseh režimih dokaj enaka in ni imela večjega vpliva na dolžino razpok (sl.25).



Slika 25: Primerjava med skupno površino grč in skupno dolžino razpok.

Primerjavo med številom grč in dolžino površinskih razpok, nam prikazuje slika 26. Iz nje je razvidno, da nam večje število grč lahko povzroči daljše površinske razpoke, ni pa to pravilo. Delež površinskih razpok pa je bil kljub ostrejšim pogojem dokaj enak.



Slika 26: Primerjava med številom grč in dolžino površinskih razpok.

6 SKLEPI

Proučevanje sušilnih karakteristik smrekovine po posameznih šaržah je pokazalo naslednje rezultate:

- Končna kakovost sušenja je bila v zimskem času nižja, saj je prišlo do večje prisotnosti čelnih razpok, notranjih napetosti in veženja, predvsem zavitosti, saj se je delež celo podvojil. Razlog je v nizkih temperaturah v zimskem obdobju ter ostrejših pogojih sušenja.
- V primerjavi med radialno in tangencialno orientiranimi deskami, nam rezultati prikazujejo bistveno večjo prisotnost čelnih razpok na radialnih deskah, prav tako tudi v primerjavi z zmrznjenimi deskami. Razlog je slabša kvaliteta desk, saj sredice načeloma izžagamo.
- Grče prav tako negativno vplivajo na tehnološke lastnosti, predvsem na mehanske, velik delež grč pri ostrejših režimih pa je tudi izpadel. Grče lahko tudi vplivajo na dolžino površinskih razpok, ni pa pogojeno.

7 POVZETEK

Sušenje spada med zahtevne lesno obdelovalne postopke, zato zahteva celovit interdisciplinaren pristop z več vidikov. Vsi vključeni dejavniki zahtevajo podrobno poznavanje vsakega posebej, nikogar pa ne smemo obravnavati ločeno. Kljub novim tehnologijam pa se v procesu sušenja še vedno srečujemo z napakami.

Smrekovina predstavlja glavno surovino za proizvodnjo opažnih plošč v podjetju Lip Bohinj d.d. V podjetju so se pri samem postopku sušenja v zimskem času srečevali s povečano prisotnostjo predvsem čelnih razpok. Zato smo se na podlagi končne kvalitete osušenega lesa v našem primeru odločili za preverjanje postopkov sušenja in prisotnosti napak, ter pripravili štiri šarže sušenja, ki smo jih izvajali tako v jesenskem kot v zimskem času. V jesenskem času sta šarži sušenja potekali z nekoliko milejšimi pogoji kot v zimskem času.

Samo sušenje je potekalo v pilotski eksperimentalni komori po prilagojenih proizvodnih programih in po usklajenem procesu, od ocenjevanja hlodovine do merjenja vseh lastnosti in značilnosti lesa, med katere sodijo tudi določevanje lesne vlažnosti, vlažnostnega gradienta, merjenja grč in napak, zaskorjenja, zavivosti, itd.

Končne vlažnosti pri treh šaržah so bile zadovoljive in so se gibale od 7,8 % do 9 %, medtem ko je v prvi šarži nekoliko odstopala od želene vlažnosti in je bila 13,5 %. Časi sušenja so se gibali med 45,5 in 55,5 urami, izstopala je šarža 1, ki je trajala 93,7 ur.

Pri merjenju vlažnostnega gradienta smo ugotovili, da so se vse šarže gibale v dovoljenih mejah. V tangencialni, radialni in radialno tangencialni smeri sta izstopali predvsem šarži 1 in 4.

Tudi v našem primeru se napakam v samem procesu sušenja nismo mogli povsem izogniti, tako čelnim razpokam, zavivosti in lokavosti.

Pri veženju sta odstopala deleža zavitosti pri tangencialnih deskah, kar smo tudi pričakovali. Pri ugotavljanju lokavosti sta izstopala večja deleža pri tangencialnih in radialno tangencialnih deskah.

Sušili smo tudi predhodno zmrznjene deske, kjer je bil delež zavitosti in lokavosti večji pri radialnih deskah v šarži 4.

Vsekakor so v lesu prisotne tudi napetosti, ki so se iz režima v režim povečevale, vse to pa lahko prepisujemo ostrejšim režimom. Pri šarži 3 in 4 se je delež povečal za skoraj dvakrat.

Delež čelnih razpok je bistveno odstopal pri radialnih deskah oziroma juvenilnih sredicah, kar smo tudi pričakovali. Odstopala je ponovno šarža 4 v kateri sta prevladovala deleža tangencialnih in radialno tangencialnih desk. Velik delež radialno zmrznjenih desk je bil prisoten tako pri šarži 3 in 4.

Lahko pa delež čelnih razpok zmanjšamo s premazovanjem čel oziroma s pravilnim letvičenjem in prizmiranjem zložajev ter s pokrivanjem skladovnice, da žaganice zavarujemo pred zunanjimi vplivi. Delež veženja pa zmanjšamo z obtežitvijo zložaja.

Glede sušenja se je vlažnostni gradient gibal v dovoljenih mejah od 0,2 %/mm ali 2 %/cm, tako da v našem primeru ni bilo večjega odstopanja, kljub temu, da so nekatere šarže potekale pri ostrejših pogojih.

Samim napakam pa se lahko izognemo tudi s pravilno izbiro sušilnega postopka, temperature, ostrine in hitrosti sušenja.

8 VIRI

1. Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.
2. Folvik K., Sandland K. M. 2003. Occurrence of checks in knots of Norway spruce timber during drying. The effect of various drying schedules. V: 8th internacional IUFRO wood drying conference – Brasov: 424-429 str.
3. Geršak M., Medjugorac N., Velušček V. 1998. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska založba, Zveza lesarjev Slovenije: 153 str.
4. Gorišek Ž., Geršak M., Čop T., Velušček V., Mrak C. 1994. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska založba, Zveza društev inženirjev in tehnikov lesarstva Slovenije: 235 str.
5. Gorišek Ž. 1996. Kako kvalitetno posušiti les. V: Sušenje lesa, Kako do posušenega lesa v malih obratovalnicah – mednarodni posvet. Ljubljana.
6. Gorišek Ž. 2004. Napake pri sušenju lesa, 1 in 2. del. Korak 5, 3: 16-17 in 5, 4: 14-15.
7. Gorišek Ž. 2004. Sušenje lesa, 2. del. Gibanje vode v lesu. Korak 5, 2: 23
8. Gosar M. 2004. Poročilo iz praktičnega usposabljanja. (neobjavljeno).
9. Hanhijarvi A., Wahl P., Rasanen J., Silvennoinen R. 2003. Observation of development of microcracks on wood surface caused by drying stresses. *Holzforschung*, 5: 561–565

10. Kollmann F. 1982. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York. Springer – Verlag.: 1050 str.
11. Perstorper M., Johansson R., Kliger R., Johansson G. 2001. Distortion of norway spruce timber. Part 1. Variation of relevant wood properties. Holz als Roh – und Werkstoff 59: 94 – 103
12. Persson K. 1997. Modelling of wood properties by a micromechanical approach. Report TVSM – 3020. Lund Institute of Technology.
13. SIST EN 1309 – 1:2000. Okrogli in žagani les – Metoda merjenja izmer. Round and sawn timber - Method of measurement of dimensions – Part 1: Sawn timber.
14. SIST EN 1310. 2001. Okrogli in žagani les – Metoda merjenja značilnosti lesa. Round and sawn timber – Method of measurement of features.
15. SIST EN 1611-1. 2003. Žagani les – Razvrščanje iglavcev po videzu – 1.del. Sawn timber – Appearance grading of softwoods – Part 1: European spruces, firs, pines and douglas firs.
16. SIST EN 13183 – 1: 2003. Delež vlage v žaganem lesu – 1. del: Določevanje s sušenjem v pečici. Moisture content of a piece of sawn timber - Part 1: Determination by oven dry method.
17. SIST EN 13183 – 2: 2003. Delež vlage v žaganem lesu – 2. del: Ocena z metodo električne upornosti. Moisture content of a piece of sawn timber - Part 2: Estimation by electrical resistance method.
18. SIST ENV 14464: 2003. Žagani les – Metoda za ocenjevanje zaskorjenosti. Sawn timber – Method for assessment of case – hardening.

19. Šega B. 2003. Standardi za okrogli in žagani les – študijsko gradivo. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 30 str.
20. Torelli N. 1990. Les in skorja. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 70 str.
21. Wagenführ R., 1996. Holzatlas - 4.neuberab, Leipzig, Fachbuchverlag: 688 str.
22. Wengert E.M., Meyer D. 1993. Causes and cures for warp in drying. University of Wisconsin school of natural resources department of forestry. www.woodweb.com/knowledge_base/Warp_in_Drying.html.

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi, oblikovanju in urejanju diplomskega dela se zahvaljujem vsem, ki so mi na kakršen koli način pomagali pri mojem delu.

Posebej se želim zahvaliti mentorju prof. dr. Željku Gorišku in asistentu mag. Alešu Stražetu za nesebično strokovno pomoč, usmerjanje in nasvete pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se recenzentki doc. dr. Dominiki Gornik Bučar za skrben pregled diplomske naloge.

Zahvaljujem se podjetju Lip Bohinj za odobreni material, še posebej direktorju, g. Jožetu Cerkovniku in vodji žage za pomoč pri izboru in razžagovanju hlodovine.

Prav tako se zahvaljujem vsem svojim najbližjim za podporo in potrpežljivost.

PRILOGE

Priloga A: Izmera dimenzij žaganega lesa (SIST EN 1309-1).

IZMERE	Oznaka deske
	Deska št.
Debelina (mm)	
Širina (mm)	
Dolžina (mm)	
Volumen deske (m³)	

Izmere grč in razvrstitev na podlagi ocene grč na dveh ploskvah (G2 postopek)

Glej OPOMBE	ZNAČILNOSTI		Oznaka deske
			Deska št.
(A) (B)	Velikost okroglih/ovalnih grč na ocenjevani ploskvi	zdrave vrasle	
		delno vrasle	
		obdane z lubjem	
		nagnite ali izpadajoče	
(A) (C)	Število grč na najslabšem metru	skupno število	
		od tega nagnitih/izpadajočih ali obdanih z lubjem	
		od tega podolgovatih in krilastih	
Skupna velikost grč na najslabšem metru			
Kakovostni razred na podlagi grč			
OPOMBE:			
(A) Grče manjše od 10 mm ne upoštevamo, razen , če so nagnite ali izpadajoče			
(B) Pri deskah smrek, jelk, duglazij in macesnov širine 225 mm ali več, lahko velikost grč povečamo za 10 mm			
Pri deskah bora širine 180 mm ali več, lahko velikost grč povečamo za 10 mm			
(C) Pri kosih, ki so širši od 225 mm lahko skupno število grč povečamo za 50%			

Izmere značilnosti in razvrstitev na podlagi značilosti (G2 in G4 postopek)

glej O P O M B E	ZNAČILNOSTI		Oznaka deske
			Deska št.
	vrastki skorje na ocenjevani (izbrani) ploskvi	število na najslabši meter	
		skupna dolžina (mm)	
	smolike na ocenjevani (izbrani) ploskvi	število na najslabši meter	
		skupna dolžina (mm)	
	smolnat les na vseh straneh	% področja na površini	
	kompresijski les na vseh straneh	% področja na površini	
(E)	nenormalen potek vlaken	na vseh straneh	
(F)	trohnoba	na vseh straneh	
(F)	obarvanost na vseh straneh	globoka % področja na površini	
		površinska obarvanost % področja na površini	
(F)	napad insektov na vseh straneh		
	lisičavost	širina na ploskvi pri obeh robvih (mm)	
		širina na robu (mm)	
		dolžina (% na vseh robvih)	
	stržen	prisotnost	

se nadaljuje

nadaljevanje preglednice

glej O P O M B E	ZNAČILNOSTI		Oznaka deske
			Deska št.
	razpoke na ocenjevani (izbrani) ploskvi	čelne razpoke na obeh čelih (% širine)	
		razpoke na ploskvi (% dolžine) debelina < 60 mm	
		debelina ≥ 60 mm	
		razpoke (% dolžine)	
	veženje	lok (mm na 2 m) debelina < 45 mm	
		debelina ≥ 45 mm	
		sablja (mm na 2 m)	
		zavitost (% širine na 2 m)	
		korito (% širine)	
Kakovostni razred na podlagi značilnosti			
Kakovostni razred na podlagi skupne ocene grč in značilnosti			
OPOMBE: (E) Z izrazom nenormalen potek vlaken označujemo rebrast potek vlaken, vključke prečno prerezanih vlaken inp. (F) Merjeno v skladu z zahtevami SIST EN 1311. Če je prizadetih več področij površine seštejemo.			

Priloga B: Program sušenja žaganega lesa (šarža 1), sprememba mase in poraba električne energije pri komorskem sušenju.

Šarža 1				
Vrsta lesa	SMREKA			
Debelina	20 mm			
FAZA	u (%)	T (°C)	ΔT (°C)	u_r (%)
Segrevanje	80	65	9	9,2
Sušenje	70	66	9,5	8,9
	60	67	9,5	8,9
	50	68	9,5	8,8
	40	69	10	8,6
	30	70	11	8
	25	70	12	7,5
	20	70	13,5	6,9
	15	70	17	5,8
	10	70	20	5
Izenačevanje	8	70	20	5
Kondicioniranje	8	70	6	11

Potek sušenja

Datum / Ura	t [h]	masa [kg]	El.energija	T (°C)	u (%)	o	u_r (%)
16.10.2006 11:00	0,0	581	26910	60	87,9	15,9	5,5
16.10.2006 15:00	4,0	574	26930	67	85,6	14,4	5,9
16.10.2006 18:30	7,5	571	26942	65	84,6	14,7	5,8
17.10.2006 9:30	22,5	530	26998	69	71,4	10,1	7,1
17.10.2006 14:00	27,0	511	27019	69	65,2	9,1	7,2
17.10.2006 16:00	29,0	495	27030	69	60,1	8,2	7,3
17.10.2006 19:30	32,5	487	27046	70	57,5	7,9	7,3
18.10.2006 9:00	46,0	451	27091	70	45,8	6,3	7,3
18.10.2006 15:30	52,5	433	27113	70	40,0	5,4	7,4
18.10.2006 18:00	55,0	426	27123	70	37,8	4,7	8,0
19.10.2006 8:30	69,5	392	27169	70	26,8	3,6	7,4
19.10.2006 11:30	72,5	375	27187	69	21,3	3,1	6,9
19.10.2006 12:30	73,5	370	27193	67	19,6	2,8	7,0
19.10.2006 14:40	75,7	362	27206	70	17,1	2,9	5,9
20.10.2006 8:40	93,7	351	27226	65	13,5	2,3	11,0

Priloga B1: Program sušenja žaganega lesa (šarža 2), sprememba mase in poraba električne energije pri komorskem sušenju.

Šarža 2				
Vrsta lesa	SMREKA			
Debelina	20 mm			
FAZA	u (%)	T (°C)	ΔT (°C)	u_r (%)
Segrevanje	80	65	9	9,2
Sušenje	70	66	9,5	8,9
	60	67	9,5	8,9
	50	68	9,5	8,8
	40	69	10	8,6
	30	70	11	8
	25	70	12	7,5
	20	70	13,5	6,9
	15	70	17	5,8
	10	70	20	5
	Izenačevanje	8	70	20
Kondicioniranje	8	70	6	11

Potek sušenja

Datum / Ura	t [h]	masa [kg]	El.energija	T (°C)	u [%]	o	u_r (%)
23.10.2006 16:30	0,0	549	27249	65	96,0	10,4	9,2
24.10.2006 7:30	15,0	466	27352	53	66,4	6,7	9,9
24.10.2006 12:00	19,5	427	27403	67	52,4	5,8	9,0
24.10.2006 14:30	22,0	401	27429	68	43,2	4,9	8,8
24.10.2006 15:45	23,3	391	27444	69	39,6	4,6	8,6
24.10.2006 17:00	24,5	378	27457	65	35,0	3,8	9,2
24.10.2006 18:00	25,5	370	27466	69	32,1	3,7	8,7
25.10.2006 6:30	38,0	320	27535	70	14,2	1,9	7,5
25.10.2006 9:30	41,0	314	27547	68	12,1	1,4	8,6
25.10.2006 12:00	43,5	311	27556	69	11,0	1,3	8,5
25.10.2006 15:30	47,0	307	27567	65	9,6	1,9	5,0
26.10.2006 0:00	55,5	302	27588	70	7,8	1,5	11,0

Priloga B2: Program sušenja žaganega lesa (šarža 3), sprememba mase in poraba električne energije pri komorskem sušenju.

Šarža 3				
Vrsta lesa	SMREKA			
Debelina	20 mm			
FAZA	u (%)	T (°C)	ΔT (°C)	u_r (%)
Segrevanje	80	65	11	8,1
Sušenje	70	66	11	8,1
	60	67	11	8,1
	50	68	11	8
	40	69	12	7,5
	30	70	14	6,8
	25	70	16	6
	20	70	19	5,2
	15	70	22	4,3
	10	70	20	4,9
	Izenačevanje	8	70	19,5
Kondicioniranje	8	70	6	11

Potek sušenja

Datum / Ura	t [h]	masa [kg]	El.energija	T (°C)	u [%]	o	u_r (%)
5.3.2007 9:00	0,0	478	29505	67	73,5	9,1	8,1
5.3.2007 14:30	5,5	464	29539	68	68,4	8,6	8,0
6.3.2007 7:30	22,5	368	29657	69	33,6	4,5	7,5
6.3.2007 10:45	25,7	350	29689	70	27,0	4,5	6,0
6.3.2007 12:00	27,0	339	29701	70	23,0	3,8	6,1
6.3.2007 15:45	30,8	328	29716	70	19,1	3,7	5,1
6.3.2007 23:00	38,0	323	29726	70	17,2	4	5,0
7.3.2007 8:30	47,5	300	29781	70	8,9	1,8	11,0

Priloga B3: Program sušenja žaganega lesa (šarža 4), sprememba mase in poraba električne energije pri komorskem sušenju.

Šarža 4				
Vrsta lesa	SMREKA			
Debelina	20 mm			
FAZA	u (%)	T (°C)	ΔT (°C)	u_r (%)
Segrevanje	80	65	13,5	7
Sušenje	70	66	13,5	7
3	60	67	13,5	7
4	50	68	13,5	7
5	40	69	13,5	7
6	30	70	13,5	7
7	25	70	16	6
8	20	70	18	5,4
9	15	70	22	4,3
10	10	70	28	3,1
Izenačevanje	8	70	19,5	5
Kondicioniranje	8	70	6	11

Potek sušenja

Datum / Ura	t [h]	masa [kg]	El.energija	T (°C)	u [%]	o	u_r (%)
12.3.2007 11:00	0,0	443	29810	68	63,7	9,1	7,0
12.3.2007 15:00	4,0	431	29847	68	59,3	8,4	7,1
13.3.2007 8:30	21,5	335	29961	69	23,8	3,6	6,6
13.3.2007 10:30	23,5	326	29977	70	20,5	3,3	6,2
13.3.2007 15:00	28,0	315	29998	70	16,4	3,2	5,0
14.3.2007 8:30	45,5	301	30048	70	11,2	2,7	11,0

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Marjan GOSAR

**VPLIV KAKOVOSTI SMREKOVINE NA
IZKORISTEK OSUŠENEGA ŽAGANEGA LESA**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2007