

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Rok MIKLIČ

**METODOLOGIJA OCENJEVANJA KAKOVOSTI  
TEHNOLOGIJE SUŠENJA**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Rok MIKLIČ

**METODOLOGIJA OCENJEVANJA KAKOVOSTI TEHNOLOGIJE  
SUŠENJA**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

**METHODOLOGY OF QUALITY EVALUATION OF DRYING  
TECHNOLOGY**

GRADUATION THESIS  
University studies

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija lesarstva. Delo je bilo opravljeno na Katedri za tehnologijo lesa, Oddelka za lesarstvo, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Željka Goriška in za recenzenta doc. dr. Aleša Stražeta.

Mentor: prof. dr. Željko Gorišek

Recenzent: doc. dr. Aleš Straže

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Podpisani izjavljam, da je naloga rezultat lastnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Rok Miklič

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dn
- DK UDK 674.047
- KG sušenje lesa/tehnologija sušenja/kontrola kakovosti/konvekcijska sušilna komora
- AV MIKLIČ, Rok
- SA GORIŠEK, Željko (mentor)/STRAŽE, Aleš (recenzent)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, C.VIII/34
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
- LI 2016
- IN METODOLOGIJA OCENJEVANJA KAKOVOSTI TEHNOLOGIJE SUŠENJA
- TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
- OP VII, 47 str., 9 pregl., 6 sl., 5 pril., 25 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI Tehnologija sušenja lesa je najpomembnejši pripravljalni proces priprave surovine za proizvodnjo. Zajema več medsebojnih dejavnikov, ki vsak posamezno in v celoti vplivajo na končno kakovost končnega izdelka. S prilagojeno metodo smo sledili toku materiala skozi celotno pripravljalno fazo tehnologije sušenja v podjetju ESOL d.o.o. in na podlagi izbranih sušilnih komor ovrednotili pristope in izvajanje kontrole kakovosti. Metoda temelji na individualnem vizualnem ocenjevanju, na podlagi katerega smo zaznali negativne pojave in pomanjkljivosti pri izvajanju tehnologije sušenja. Ocene smo analizirali in podali ustrezne predloge za njihovo sanacijo in odpravo. Z upoštevanjem predlogov predvidevamo, da se bo izboljšala kakovost posušenega lesa, stanje sušilnih naprav, zmanjšala poraba energije ter s tem izboljšala fleksibilnost in ekonomski položaj podjetja.

### KEY WORDS DOCUMENTATION

- ND Dn
- DC UDC 674.047
- CX wood drying/drying technology/quality control/convection dry kiln
- AU MIKLIČ, Rok
- AA GORIŠEK, Željko (supervisor)/STRAŽE Aleš (reviewer)
- PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, C.VIII/34
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
- PY 2016
- TY METHODOLOGY OF QUALITY EVALUATION OF DRYING TECHNOLOGY
- DT Graduation thesis (University studies)
- NO VII, 47 p., 9 tab., 6 fig., 5 ann., 25 ref.
- LA sl
- Al sl/en
- AB Wood drying technology is the most important process of preparation of raw material for production. It covers several inter-factors which individually or as a whole have an impact on the final quality of the product. We have followed to the flow of material with especially designed method through all phases of drying technology in company ESOL d.o.o. Based on selected dry kilns, we have evaluated the approaches and implementation of quality control. Method is based on individual visual evaluation on the basis of which we have detected the negative consequences and the deficiencies in the drying process. We have analyzed the results and present relevant proposals for their reduction and correction. Taking into account our proposals, we predict that the quality of dried wood and drying equipment status will improve, energy consumption will decrease and thereby the flexibility and economic status of the company will improve.

## KAZALO VSEBINE

	Str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	II
KEY WORDS DOCUMENTATION	III
KAZALO VSEBINE	IV
KAZALO PREGLEDNIC	VI
KAZALO SLIK	VII
KAZALO PRILOG	VIII
<b>1 UVOD IN PREDSTAVITEV PROBLEMA</b> .....	1
1.1 UVOD IN PREDSTAVITEV PROBLEMA .....	1
1.2 HIPOTEZA .....	2
1.3 CILJI DIPLOMSKE NALOGE .....	2
<b>2 SPLOŠNI DEL</b> .....	3
2.1 OCENA IN STANJE SVEŽEGA LESA .....	3
2.2 PRIPRAVA LESA ZA SUŠENJE .....	5
2.3 TEHNOLOGIJA SUŠENJA LESA .....	7
<b>2.3.1 Sušilna komora in oprema</b> .....	7
<b>2.3.2 Izvajanje sušenja lesa v konvencionalnih sušilnih komorah</b> .....	9
2.3.2.1 Segrevanje .....	9
2.3.2.2 Sušenje .....	9
2.3.2.3 Izenačevanje in kondicioniranje .....	9
2.3.2.4 Ohlajanje .....	10
2.4 RAVNANJE Z LESOM PO KONČANEM SUŠENJU .....	10
<b>2.4.1 Ocenjevanje kakovosti sušenja</b> .....	10
2.4.1.1 Povprečna vlažnost lesa .....	11
2.4.1.2 Vlažnostni gradient .....	11
2.4.1.3 Notranje sušilne napetosti .....	12
2.4.1.4 Veženja .....	13
2.4.1.5 Razpoke .....	14
2.4.1.6 Barvne spremembe .....	15
2.4.1.7 Kolaps .....	16
<b>2.4.2 Skladiščenje lesa po končanem sušenju</b> .....	16
<b>3 MATERIAL IN METODE</b> .....	17
3.1 OBJEKT OCENJEVANJA .....	17
3.2 METODA OCENJEVANJA TEHNOLOGIJE KAKOVOSTI SUŠENJA LESA ..	19
<b>3.2.1 Namen ocenjevalnega lista</b> .....	19
<b>3.2.2 Sestava ocenjevalnega lista</b> .....	20
<b>4 REZULTATI IN RAZPRAVA</b> .....	30
4.1 REZULTATI .....	30
<b>4.1.1 Spremljanje materiala</b> .....	30
<b>4.1.2 Distančne letev</b> .....	30
<b>4.1.3 Paketi in postavitve paketov v sušilno komoro</b> .....	31
<b>4.1.4 Sušilna komora in sušilne naprave</b> .....	31
<b>4.1.5 Določanje in zapisovanje sušilnih parametrov</b> .....	32

<b>4.1.6</b>	<b>Kontrola kakovosti sušenja lesa</b> .....	33
4.2	ANALIZA REZULTATOV IN RAZPRAVA .....	33
<b>5</b>	<b>SKLEPI</b> .....	37
<b>6</b>	<b>VIRI</b> .....	38
	<b>ZAHVALA</b>	
	<b>PRILOGE</b>	

## KAZALO PREGLEDNIC

	Str.
Preglednica 1 - Informacije o izbranih sušilnih komorah v podjetju ESOL d.o.o.	19
Preglednica 2 - Ocenjevalni list za spremljanje in vrednotenje kakovosti tehnologije sušenja.	28
Preglednica 3 - Ocene kakovosti pri spremljanju lesa pred izvajanjem sušilnega postopka.	30
Preglednica 4 - Ocene uporabljenih distančnih letvic.	31
Preglednica 5 - Ocene postavitve paketov in njihova prizmatičnost.	31
Preglednica 6 - Ocene kakovosti sušilne komore.	32
Preglednica 7 - Ocene evidentiranja in spremljanja sušilnih parametrov.	33
Preglednica 8 - Ocene kakovosti pri spremljanju lesa po končanem tehničnem sušenju.	33
Preglednica 9 - Ocene kakovosti posameznih sklopov	34



## KAZALO SLIK

	Str.
Slika 1- Anizotropija krčenja v glavnih anatomskih smereh.	4
Slika 2 - Pravilno in nepravilno zložen zložaj (Geršak in Velušček, 2003).	5
Slika 3 - Perforirane letvice (Geršak in Velušček, 2003).	6
Slika 4 – Skica za izdelavo vilic in diagram za določitev stopnje zaskorjenja z viličnim testom (Welling, 1993).	13
Slika 5 - Najpogostejši tipi veženj (Vodopivec, 1998).	14
Slika 6 - Tok materiala v podjetju ESOL d.o.o.in točke na katerih se izvaja kontrola kakovosti.	18

## KAZALO PRILOG

- Priloga A-1: Tehnične značilnosti sušilne komore S1B.
- Priloga A-2: Tehnične značilnosti sušilne komore S4B
- Priloga A-3: Tehnične značilnosti sušilne komore S1D
- Priloga A-4: Tehnične značilnosti sušilne komore S4D
- Priloga A-5: Tehnične značilnosti sušilne komore S5D

## 1 UVOD IN PREDSTAVITEV PROBLEMA

### 1.1 UVOD IN PREDSTAVITEV PROBLEMA

Sušenje lesa na primerno vlažnost je neizogibna tehnološka faza pri pripravi asortimentov za izdelavo stavbnega in bivalnega pohištva. Za doseganje primerne vlažnosti lesa se skoraj v vseh primerih uporablja tehnično sušenje, saj s prilagajanjem ključnih parametrov, kot so pretok zraka, temperatura in relativna zračna vlažnost, lahko nadzorujemo sam postopek sušenja lesa. S tehničnim sušenjem les izpostavimo ostri klimi, kar privede do hitrega izhlapevanja vode in pojava določenih napetosti v njegovi notranjosti. Zaradi značilne anizotropne in nehomogene zgradbe lesa so napetosti neenakomerno razporejene, zato sušenje predstavlja veliko nevarnost za nastanek različnih napak.

Učinkovitost celotnega proizvodnega procesa in tudi končni ekonomski učinek je v veliki meri odvisen od izvajanja in priprave surovine za samo proizvodnjo. Med pripravljalnimi operacijami je najpomembnejši postopek sušenje lesa. Celotna tehnologija sušenja lesa zajema več med seboj povezanih dejavnikov, ki vsak posamezno in v celoti vplivajo na končno kakovost izvedenega proizvodnega procesa. Pri tehnologiji sušenja lesa moramo zato kakovostno izvajati razvrščanje lesne surovine, pripravo asortimentov za izvajanje sušenja lesa, spremljati in nadzorovati sušilni proces, izvesti kontrolo kakovosti osušenega materiala, kot tudi primerno vzdrževati sušilne naprave.

Tehnično sušenje je eden izmed dražjih in dolgotrajnih postopkov v lesnopredelovalni industriji, zato mu moramo nameniti veliko pozornosti. Za doseganje boljše kakovosti osušenih asortimentov moramo pogoje sušenja konstantno nadzorovati in jih prilagajati. Da lahko pogoje sušenja korektno nadzorujemo, moramo konstantno spremljati stanje sušilnih naprav in surovine pred, med in po sušenju. Sušilnice so podvržene obrabi, iztrošenosti in mehanskim poškodbam, tako da jih moramo nenehno vzdrževati, posodabljati in nadgrajevati. Poleg pravilno vzdrževanih sušilnih naprav, pa na kakovost sušenja vpliva tudi priprava in skladiščenje surovine pred samim postopkom sušenja.

Postopek sušenja je dolgotrajen, energetsko potraten proces, ki zahteva velike finančne investicije v sušilno opremo. Dolgotrajnost postopka ima za podjetje negativen učinek, saj vpliva na samo fleksibilnost celotne proizvodnje in vezavo velikih denarnih sredstev v surovino, kar je slabost, saj so želje po fleksibilnosti danes vse večje. Zaradi tega se v praksi poskuša različne režime sušenja, v želji, da bi postopek čim bolj optimizirali svojim potrebam. Kar pa privede do zanemarjanja vzdrževanja sušilnih naprav, slabšega razvrščanja lesne surovine in slabšega izvajanja kontrole kakovosti osušenega materiala.

## 1.2 HIPOTEZA

Tehnična oprema za izvajanje in spremljanje sušilnega postopka postaja vse bolj učinkovita in izpopolnjena, a se kljub temu posveča premalo pozornosti pripravi materiala, izvajanju kontrole kakovosti lesa pred začetkom sušenja, izobraževanju sušilničarjev in vzdrževanju sušilnih naprav. Predpostavljamo, da bomo z ustrežno metodologijo uspešno zaznali negativne pojave pri izvajanju sušenja in tako prispevali k izboljšanju kakovosti osušenega materiala, zmanjšanju porabe energije in boljšemu ekonomskemu položaju podjetja.

## 1.3 CILJI DIPLOMSKE NALOGE

V izbranem lesnem podjetju ESOL d.o.o. bomo v celotni pripravljalni fazi sušenja ovrednotili pristope in izvajanje kontrole kakovosti, ki nam bodo omogočili identificirati kritična mesta in pripraviti ustrezne ukrepe za njihovo sanacijo in odpravo.

## 2 SPLOŠNI DEL

Celovita kontrola kakovosti tehnologije sušenja lesa ni samo ocenjevanje lesa z vidika nastanka sušilnih napak, ampak zajema spremljanje celotnega tehnološkega procesa od sprejemanja in kontrole lesa pri prevzemu, morebitnega skladiščenja na prostem in izvajanje naravnega sušenja, do izvedbe izbranih tehničnih načinov sušenja in seveda kontrole lesa po zaključku sušenja. Kontrolo kakovosti sušilnega procesa torej pričnemo z oceno stanja vhodne surovine ter postopka njene priprave za sušenje, s poudarkom na ustreznem oblikovanju zložajev. Težišče uspešne priprave lesa za nadaljnjo proizvodnjo temelji na pravilni pripravi in izvajanju samega sušenja. Pri tem moramo zagotoviti ustrezno manipulacijo z lesom, učinkovito in zanesljivo delovanje sušilne komore in vgrajenih naprav (grelnikov, ventilatorjev, vlažilnih naprav, merilnih instrumentov in regulacije) ter optimalno izvajanje sušilnega procesa, tako s skrbnim načrtovanjem procesnih parametrov, kot tudi pri njihovi kontroli in regulaciji v samem procesu. Pred nadaljnjo obdelavo materiala se nato izvede še celovita kontrola kakovosti posušenega lesa, ki zajema oceno povprečne vlažnosti, vlažnostnega gradienta, notranjih sušilnih napetosti, veženja, razpok, barvnih sprememb in kolapsa ter oceno postopkov skladiščenja pred mehansko obdelavo.

### 2.1 OCENA IN STANJE SVEŽEGA LESA

V procesu sušenja lesa moramo spremljati lastnosti in spremembe, ki se pojavljajo na surovini. Les namreč sestavljajo različni anatomske elementi oziroma celice, ki opravljajo prevodno in/ali mehansko nalogo. Celice s prevladujočo prevodno vlogo se zaradi tanjše celične stene lažje sušijo in manj krčijo, »mehanske« celice imajo debelejšo steno zato se težje sušijo in bolj krčijo, kar lahko povzroči več napak pri sušenju. Les iglavcev v večini sestavlja le ena vrsta celic s prevodno in z mehansko nalogo (traheide), ostalih celic je relativno malo (okrog 10 % strženovih trakov in izjemoma vzdolžni parenhim), zato se praviloma lažje in hitreje suši od lesa listavcev, ki ga sestavljajo bolj raznolike in specializirane celice s prevodno (traheje, strženovi trakovi, osni parenhim) ali z mehansko nalogo (vlakna v širšem smislu) (Čufar, 2006).

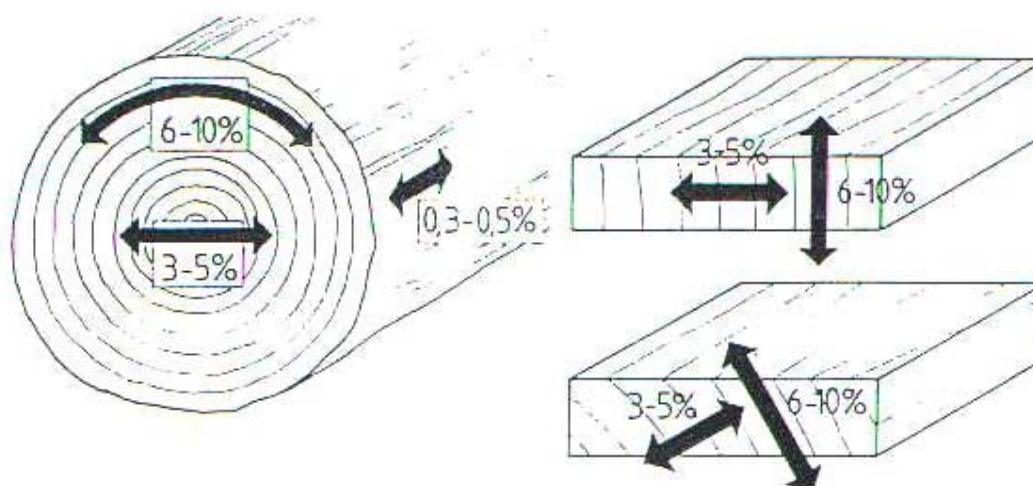
Pomembna fizikalna lastnost lesa je gostota, ki je odvisna od drevesne vrste, rastiščnih pogojev, anatomske in kemične zgradbe, vrste in količine ekstraktivov in vlažnosti. Gostota ima zato velik vpliv na sušenje lesa. Les z večjo gostoto in debelejšimi celičnimi stenami vsebuje več vezane vode, ki izhaja počasi, kratka se počasneje suši. Pri tem obstaja možnost napak zaradi krčenja (Trübswetter, 2006). 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).

Gostota lesa je odvisna predvsem od poroznosti, ki jo definirajo prostori zapolnjeni z vodo ali plini. Ti prostori so lumni, pa tudi medcelični in medkristaliti prostori. Poroznost ima pomembno vlogo pri nadaljnji obdelavi in uporabi lesa.

Za ohranjanje življenjskih funkcij dreves s tem povezanim prenosom rudninskih in organskih snovi je pomembna voda. Ta je pomembna tudi v posekanem lesu, saj vpliva na tehnološke lastnosti lesa, obdelavo in uporabo. Voda v lesu je lahko prosta oziroma kapilarna v lumnih celic, ali vezana oziroma higroskopska voda v celičnih stenah, ki se skozi les giblje počasneje in težje izhlapeva. Po poseku iz lesa najprej izhlapi kapilarna voda. Stanje oziroma vlažnost lesa, pri katerem je izhlapela vsa prosta voda, a ima hkrati še vso vezano vodo, poimenujemo točka nasičenosti celičnih sten (TNCS). Vlažnost lesa upada od periferije proti sredini vendar ni nikoli nižja od točke nasičenosti celičnih sten. TNCS se giblje med 22 % in 35 %, odvisno od vrste lesa. Pod to točko izhaja samo vezana voda, kar prinaša spremembe lastnosti lesa. Za sušenje lesa je bistveno, da zaradi izparevanja vezane vode porabimo več toplotne energije. Pri manjši količini vezane vode je zaradi večjih sil adsorpcije potrebne več toplote, saj voda težje izhaja. Pri tem se pojavi krčenje lesa in nevarnost napak, a se hkrati izboljšajo mehanske lastnosti, zaradi česar se lahko sušenje izvaja pri višjih temperaturah (Geršak in Velušček, 2003; Novak, 2008).

Les je higroskopen pod točko nasičenosti celičnih sten. Pod to točko lahko iz okolice sprejema vlago ali pa jo okolici oddaja. Ta lastnost lesu omogoča, da se prilagodi vlažnosti in temperaturi zraka. Les ima težnjo uravnovešanja oziroma vzpostavljanja ravnovesne vlažnosti. Cilj sušenja je, da lesu pred predelavo v določen izdelek zagotovimo stabilnosti in kakovost, zato les posušimo na ravnovesno vlago, ki jo zahteva izdelek (Kolin, 2000; Novak, 2008).

S sušenjem voda izhlapeva iz lesa, ta postaja lažji, zmanjšuje se njegov volumen in les se krči. Pri izhlapevanju proste vode se ne spreminjajo dimenzije lesa, pač pa le gostota, z izgubo vezane vode pa se les krči. Zaradi krčenja in nabrekanja pride do vrste napak, zato moramo les, še posebej tistega, ki se močno krči, sušiti previdno in počasi (Trübswetter, 2006). Napake so zaradi anizotropije krčenja še pogostejše (Slika 1).

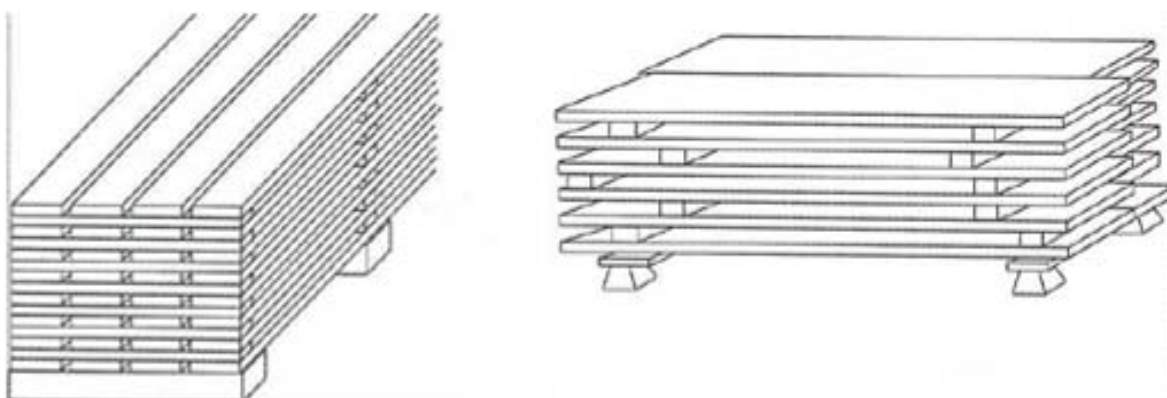


Slika 1- Anizotropija krčenja v glavnih anatomskih smereh.

Kakovost lesa in njegovih fizikalnih, mehanskih, estetskih in fizikalno-kemijskih lastnosti je še posebej pomembno zagotavljati pred njegovim sušenjem, saj se s sušenjem spremenijo vse njegove lastnosti. Pred sušenjem je zato potrebno temeljito preveriti vlažnost, obliko in strukturo lesa, oziroma odkriti potencialne napake, ki bi se med sušenjem lahko še povečale. Potrebno je preveriti koničnost, krivost, ovalnost, žlebatost, koritavost, grčavost, prisotnost reakcijskega in juvenilnega lesa, napake srca, smolike, razpoke, gnilobo, rjavost, piravost, rove žuželk, mehanske poškodbe in tujke v lesu.

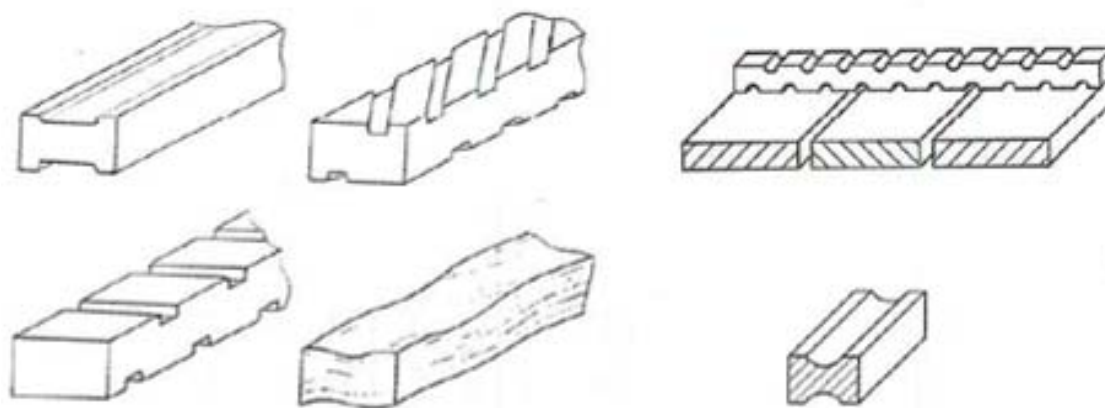
## 2.2 PRIPRAVA LESA ZA SUŠENJE

Pred tehničnim sušenjem lesa je pomemben postopek njegova priprava. Žagan les je potrebno pravilno zložiti v skladovnice. V skladovnice zlagamo žaganice iste vrste in enakih dimenzij. Lahko se jih zлага ročno ali strojno, pri čemer se strojnega zlaganja poslužujemo v primeru večje količine lesa. Dolžina skladovnice je odvisna od dolžine žaganic, širina od zmogljivosti strojne opreme s katero zlagamo, višina pa od višine zložaja. Najvišje skladovnice dosegajo višino petih metrov, pri čemer gre za skladovnice iglavcev, skladovnice listavcev pa so zaradi večje teže običajno nižje. Skladovnico sestavljajo dva do trije zložaji položeni drug nad drugega in med seboj ločeni z gredicami ali morali. Skladovnica leži na lesenih ali železnih podpornih legah, ki se nahajajo na betonskih podstavkih v obliki priskekane piramide, tako da je 40 do 60 cm dvignjena od tal. S tem je omogočeno gibanje zraka pod skladovnico, spodnje žaganice pa zaščitimo pred talno vlago in umazanijo. Postavljeno skladovnico pokrijemo, da jo zaščitimo pred vplivi okolja. Pri tem mora biti za zagotovitev dostopa zraka streha odmaknjena vsaj deset centimetrov od žaganic. Razpored in gostota skladovnic je odvisna predvsem od klime in vrste lesa, saj pregosto zlaganje upočasni sušenje in omogoči delovanje gliv, nasprotno pa lahko pri redkem zlaganju pride do pokanja in zvijanja lesa zaradi prehitrega sušenja. Razmik med žaganicami je običajno od 1 do 5 centimetrov. Čela žaganic morajo biti poravnana (Gorišek s sod., 1994; Kolin, 2000; Simpson, 1991)(Slika 2).



Slika 2 - Pravilno in nepravilno zložen zložaj (Geršak in Velušček, 2003).

Pri zlaganju žaganic v skladovnico med vrste žaganic polagamo letvice, da ločimo vrste in omogočimo dotok zraka v notranjost. Letvice morajo biti zložene druga nad drugo, da se žaganice zaradi teže ne zvijejo. Za letvice je priporočljivo, da so iz enakega lesa kot žaganice, običajno pa se uporabljajo smrekove in jelove letvice, ki so bolj odporne na veženje in ne povzročajo barvnih sprememb. Letvice so posušene na 8 do 10 % vlažnost, ponekod pa jih celo impregnirajo. Njihova debelina je odvisna od dimenzije žaganic, če pa želimo zasenčiti čela, letvice malo izvlečemo iz zložaja ter v tem primeru uporabimo širše letvice. Zaviranje sušenja na mestih naleganja žaganic na letvice preprečujemo s perforiranimi letvicami, ki imajo zaradi utorov manjšo površino naleganja (Slika 3). Stik žaganice z letvicami je manjši, zato se les hitreje suši in z manj madeži. Pri zelo občutljivem lesu se uporabljajo tudi kovinske letvice, prevlečene s plastiko, ali le plastične ali lamelirane (Gorišek s sod., 1994).



Slika 3 - Perforirane letvice (Geršak in Velušček, 2003).

Pri zlaganju desk izberemo kontrolne deske za ugotavljanje vlažnosti, predhodno določimo mesta za sledilne kose ter namestimo sonde za merjenje vlažnosti. Pred pričetkom sušenja vse zložaje pregledamo, ocenimo kakovost lesa ter identificiramo in zabeležimo napake.

Les v tako pripravljenih skladovnicah lahko sušimo tudi na prostem, pri čemer je čas sušenja odvisen od različnih dejavnikov, in sicer od letnega časa sušenja, ozračja, lokacije, vrste in debeline lesa, žaganja in zlaganja, razmerja beljave in črnjave, itd. Les se naravno suši tudi več let, povprečni čas sušenja pa znaša od dva do sedem mesecev. Orientacijski čas sušenja na prostem lahko izračunamo s Kasnerjevo formulo. Trajanje sušenja v mesecih je produkt Kasnerjevega koeficienta in debeline lesa. Naravno posušen les uskladiščimo v pokritih zračnih prostorih, žaganice pa zložimo druga na drugo brez letvic. Sušenje na prostem je cenejše, vendar dolgotrajno in zahteva veliko skladiščnega prostora, z njim pa je težko doseči določen odstotek vlage, zato so tudi izgube zaradi napak pri sušenju večje kot pri tehničnem sušenju (Gorišek s sod., 1994; Kolin, 2000).



## 2.3 TEHNOLOGIJA SUŠENJA LESA

Sušenje lesa je v lesno predelovalni industriji nujen postopek, ki se razlikuje glede na način izvedbe na konvekcijsko, vakuumsko in kondenzacijsko sušenje. Kljub uvajanju različnih tehnik sušenja, je konvekcijsko sušenje, ki ga poimenujemo tudi normalno-temperaturno konvekcijsko komorsko sušenje z delno izmenjavo zraka, še vedno najbolj pogosto. S tem postopkom se osuši približno 90 % vsega žaganega lesa, delež lesa, posušenega z vakuumsko in kondenzacijsko ali drugo tehniko pa je veliko manjši (Obronek, 2010).

### 2.3.1 Sušilna komora in oprema

Konvekcijsko sušenje, ki ga poznamo tudi kot konvencionalno, je čedalje bolj izpopolnjeno in prinaša večjo kakovost osušenega lesa. Njegova prednost je v poljubni nastavitvi pogojev sušenja in možnosti znižanja časa sušenja s povišanjem temperature. Običajno se uporablja za vse vrste lesa, pri čemer les v komori miruje, spreminja oziroma prilagaja pa se klima, glede na vrsto lesa, debelino in lesno vlažnost. Da se les čim prej posuši, ga sušimo pri najvišji možni temperaturi in hitrem gibanju zraka. Po samem sušenju pa je za zagotavljanje kakovosti les potrebno še »temperirati« in »umiriti« v nadzorovanem klimatiziranem prostoru. Temperature v konvencionalnih sušilnicah se gibljejo med 40 in 100°C, pri čemer je relativna zračna vlažnost 20 do 100 % in hitrost zraka od 1,5 do 4 m/s, odvisno od vrste, debeline in vlažnosti žaganic. Tovrstno sušenje ima tudi nekaj pomanjkljivosti, saj zaradi izmenjave zraka porabi več energije, obstaja pa tudi nevarnost napak pri sušenju z ostrejšo klimo (Geršak in Velušček, 2003; Obronek, 2010).

Konvencionalne sušilnice so različne glede na velikost, izvedbo (zidane ali montažne), dimenzije zložajev, način polnjenja ter praznjenja, vrsto grelnih naprav, naprav za kroženje zraka ter merilnih naprav. Njihova zmogljivost lahko znaša tudi do nekaj 100 m<sup>3</sup>. So različnih dimenzij in narejene po željah in potrebah naročnikov. Nameščene morajo biti v ustreznih prostorih, ki zagotavljajo ustrezno infrastrukturo, nosilnost ter dostopnost. Lahko so zidane ali montažne, vendar pa morajo biti, ne glede na način izvedbe toplotno izolirane, nepropustne, korozijsko odporne in imeti zadostno nosilnost. Toplotna izolativnost je pomembna za zmanjševanje toplotnih izgub ter preprečevanje nastajanja kondenza, ki lahko vpliva na celotno sušilnico in zmanjšuje njeno trajnost ter zmanjša kakovost osušenega lesa. Nabiranje kondenza preprečimo z odstranitvijo toplotnih mostov, drenažnimi jaški, preprečevanjem in sanacijo poškodb na sušilni komori ter premazi. Vhod v sušilno komoro mora ustrezati transportu lesa, pri čemer naj bi bila vrata čim manjša, vendar kot celotna sušilnica toplotno izolirana ter s čim hitrejšim in tesnim zapiranjem (Obronek, 2010; Straže, 2005).

Za segrevanje zraka skrbijo grelniki, za njegovo kroženje pa ventilatorji z nameščenimi dovodnimi in odvodnimi zračniki. Za vlaženje zraka je v konvencionalni sušilni komori še vlažilnik, za vodenje sušenja pa merilne in krmilne naprave. Običajno imajo sušilne komore dovod grelnega medija iz centralnega parnega kotla, kjer se toplota prenaša preko ogrevanega medija, pri čemer napravo za gretje sestavlja cevna mreža, razdelilnik, ventili in grelniki. V grelnike, običajno v obliki samostojnih rebrastih cevi ali njihovih registrov, doteka vroč medij, ki se v njem ohlaja in oddaja toploto v prostor. Pri tem so lahko grelniki

povezani v skupino, ki enakomerno segreva zrak celotne sušilnice. Grelni medij (voda ali vodna para) se iz parnega kotla usmeri v razdelilnik in nato istočasno v posamezne grelnike. Na zunanji steni sušilnice oziroma na razdelilniku se nahajajo ventili preko katerih se regulira temperaturo zraka v sušilnici (Kolin, 2000). Za delovanje sušilne komore so izredno pomembne naprave za gibanje zraka oziroma ventilatorji, ki morajo zagotavljati:

- prenos toplote iz grelnikov na površino lesa,
- odstranjevanje uparjene vode s površine lesa,
- mešanje zračnih tokov pri izmenjavi zraka (Obronek, 2010).

Spremembo hitrosti kroženja zraka v sušilni komori dosežemo z uravnavanjem delovanja ventilatorjev, ki je lahko stopenjsko ali brezstopenjsko. Primeren ventilator izberemo po preučitvi gibanja zadostnih količin zraka in primerne hitrosti, izgube tlaka, prepihanja, porabe energije, vibraciji in hrupa, izvedbe in dostopnosti. Ločimo dve vrsti ventilatorjev, in sicer aksialne in radialne ventilatorje. V večini prevladujejo aksialni ventilatorji, ki omogočajo pretok velikih količin zraka, ponujajo možnost spremembe smeri vrtenja ter so preprostejši in cenejši. Gibanje zraka pri aksialnih ventilatorjih poteka v smeri pogonske osi, s tem ventilatorjem pa lahko v gibanje poženemo velike količine zraka, a povzroča hkrati padec tlaka, kar zmanjšuje enakomernost sušenja, lahko se dosežajo manjše hitrosti in imajo zato slabši izkoristek. Radialni ventilatorji po drugi strani dosežajo veliko hitrost zraka in so manj občutljivi na tlačne razlike, a niso reverzibilni in ne prepihujejo enakomerno. Učinkovitejše kroženje zraka lahko dosežemo s postavitvijo bočnih ventilatorjev, ki so postavljeni na optimalnem mestu ob zložajih, omogočajo velik pretok zraka, povzročajo manj vibracij in hrupa ter so lažji za vzdrževanje. Zaradi neenakomernega sušenja, ki ga povzročajo, se niso bolj uveljavili. Najmanjša ustreznost hitrost zraka je 1,3 m/s, v komorah z vzdolžnim prepihanjem pa do 8 m/s (Gorišek s sod., 1994; Obronek 2010).

Poleg uravnavanja temperature je med sušenjem potrebno vzdrževati predpisano relativno zračno vlažnost, ki jo zagotavljamo z zračniki za izmenjavo zraka in vlažilniki zraka. Zaradi izločanja vode je potrebno zrak med sušenjem razvlaževati oziroma sušiti. Pri normalno-temperaturnem komorskem konvekcijskem sušenju zrak navadno osušimo s segrevanjem, kondenzacijo ali z delno izmenjavo. Nasprotno zrak v komori vlažimo s spuščanjem nasičene vodne pare ali brizganjem vode. Vlažilnik je nameščen pred vstopom zraka v zložaj, voda pa ne sme brizgati neposredno na les. Zrak v komori je potrebno navlaževati v fazi segrevanja, ob sanaciji napak, pri odpravljanju zaskorjevanja, na koncu sušenja med kondicioniranjem ter za obarvanje in sterilizacijo. (Gorišek s sod., 1994; Kolin, 2000; Obronek, 2010).

Poleg vseh omenjenih naprav imajo sodobne sušilnice tudi naprave za merjenje in regulacijo klime zraka ter merilnike vlažnosti lesa. Merilne naprave merijo temperaturo zraka in relativno vlažnost zraka. Vlažnost lesa merimo na več mestih, za regulacijo pa uporabimo povprečne vlažnosti vseh merilnih mest, vlažnost naključnega mesta ali najbolj vlažnega kosa. Temperaturo uravnavamo z regulacijskimi ventili na grelnikih, relativno vlažnost zraka pa z odpiranjem ali zapiranjem loput zračnikov. V sodobnih sušilnicah lahko s spremembo vrtilne hitrosti ventilatorjev reguliramo tudi hitrost zraka.

### 2.3.2 Izvajanje sušenja lesa v konvencionalnih sušilnih komorah

Postopek konvencionalnega sušenja lesa se lahko prične že s sušenjem na prostem ali v predsušilnici oziroma v prostoru za nizkotemperaturno sušenje pri temperaturi 25 do 35 °C. Sušilni postopek je razdeljen v štiri faze in sicer segrevanje, sušenje, kondicioniranje in ohlajanje.

#### 2.3.2.1 Segrevanje

Začetna faza pri tehničnem sušenju lesa je segrevanje zraka in naprav v komori, ki jih je potrebno segreti na temperaturo sušenja lesa. Za pravilno in ekonomično izvajanje faze segrevanja je pomembna priprava toplotne energije, prenos toplote v sušilno komoro in ustrezno stanje grelnih naprav. Za segrevanje komore porabimo precej energije, zato je smotrno nepretrgano obratovanje sušilnice (Gorišek s sod., 1994; Kolin, 2000).

#### 2.3.2.2 Sušenje

Fazo sušenja, v kateri les oddaja vodo, razdelimo na tri dele. V prvi fazi sušenja prosta voda s površine izhlapeva v zrak, iz sredice pa na površino. Tako iz sredine lesa proti površini nastane močnejši ali šibkejši masni tok. Ta faza traja do takrat, ko zunanje plasti žaganic dosežejo vlažnost nasičenja celičnih sten (TNCS). Hitrost sušenja je stalna in odvisna od izhlapevanja, slednje pa je odvisno od relativne vlažnosti in hitrosti zraka. Temperatura je v tej fazi zaradi nevarnosti napak nižja in konstantna, relativna vlažnost zraka pa višja. Hitrejši je tudi pretok zraka za pospešeno izhlapevanje vode in sušenje. Prva faza sušenja je razmeroma kratka. Ko začne vlažnost lesa na površini padati pod TNCS, se začne druga faza sušenja, ki traja toliko časa, da tudi sredina žaganic doseže TNCS. Pri tem je, v izogib napakam zaradi napetosti, potrebno paziti, da je vlažnostni gradient čim manjši. V tej fazi se hitrost sušenja upočasni, pospešimo jo lahko z dvigom temperature. V zadnji fazi sušenja izhaja le še vezana voda, vlažnost lesa pa pade pod TNCS. Ta faza je najdaljša, saj se hitrost sušenja zniža. Zato je potrebno zviševati temperaturo in zmanjševati relativno vlažnost zraka, ki sta ob koncu sušenja na najvišji oziroma najnižji možni stopnji celotnega postopka, pri čemer pa obstaja velika verjetnost napak zaradi krčenja (Geršak s sod., 1998; Gorišek s sod., 1994).

#### 2.3.2.3 Izenačevanje in kondicioniranje

Po koncu sušenja se začne faza izenačevanja, v kateri izenačimo vlago med posameznimi žaganicami v sušilnici. Slednje imajo namreč po koncu sušenja različno vlažnost, ki jo je potrebno izenačiti do dovoljenega odstopanja +/- 2 % od končne vlažnosti. Postopek pričnemo izvajati, ko najbolj suh kos doseže 2 % nižjo vlažnost od končne in traja, dokler se najbolj vlažen kos ne posuši na končno vlažnost.

Kondicioniranje se izvaja za izenačitev vlage po prečnem prerezu žaganic, ter da se zmanjšajo sušilne napetosti. Dovoljeni padec vlažnosti lesa je 1 % na centimeter. Kondicioniranje se začne, ko najbolj vlažna žaganica doseže končno vlažnost, ne glede na to, ali smo jih predhodno izenačevali, in traja do izenačitve vlažnosti po debelini. Pri kondicioniranju moramo vlažiti zrak, pri čemer se suha temperatura dvigne nad

maksimalno, kar pa odpravimo z znižanjem temperature za 10 °C že pred pričetkom postopka kondicioniranja.

V praksi lahko s postopkom izenačevanja in kondicioniranja nastanejo težave, zato se običajno izvaja le ena faza, ki jo poimenujemo kar kondicioniranje. Z njim začnemo, ko je povprečna vlažnost žaganic dosegla končno vlažnost oziroma so žaganice posušene. V kolikor oba postopka združimo, potem suha temperatura ostaja nespremenjena, ravnovesna vlažnost pa je enaka ali do 2 % višja od končne vlažnosti (Gorišek s sod., 1994).

#### 2.3.2.4 Ohlajanje

Po sušenju se žaganice pred izhodom iz sušilnice nekaj ur hladijo. Grelniki so izklopljeni, lopute zračnikov lahko malo odprte, ventilatorji pa vklopljeni. Ko je temperatura žaganic za 30 °C višja kot zunanja, se lahko odprejo tudi vrata in izklopijo ventilatorji, pri čemer je treba paziti, da ventilatorjev ne izklopimo prezgodaj, kar lahko povzroči kondenzacijo vodne pare iz zraka. Žaganice moramo ohladiti na zunanjo temperaturo, da se izognemo razpokam in napetostim (Gorišek s sod. 1994).

### 2.4 RAVNANJE Z LESOM PO KONČANEM SUŠENJU

Kakovostno posušen les je brez vidnih površinskih in notranjih razpok, ima želeno končno vlažnost, je brez deformacij in obarvanj. Znotraj posameznega kosa je vlažnostni gradient minimalen, v lesu pa ni prisotnih sušilnih napetost v prečni in vzdolžni smeri. Napake, ki se pojavijo po sušenju, so lahko posledica kakovosti žaganega lesa zaradi njegovih inherentnih lastnosti, ki so odvisne predvsem od rasti pogojev drevesa. Te značilnosti so orientacija vlaken, širina branik, grče, smolni žepki, reakcijski ali juvenilni les ter poškodbe gliv in insektov (Welling, 1994; Gorišek, 1997).

Kakovost sušenja je odvisna od pravilnega vodenja in nadziranja sušilnega postopka, medtem ko na kakovost lesa nimamo neposrednega vpliva, zato so lahko napake, ki nastanejo pri sušenju tudi posledica slabše kakovosti lesa in njegovih prirojenih lastnosti. Napake, ki so posledica kakovosti lesa, je dokaj enostavno ločiti od napak, nastalih zaradi neustreznega vodenja sušilnega postopka. Največ težav nam zato povzročajo napake, ki so posledica inherentnih lastnosti lesa in se pojavijo šele pod določenimi pogoji v času sušenja. Domnevamo, da bi se tem napakam izognili s pravilnim vodenjem sušenja, če bi zanje vedeli. V takšnih primerih je težko presoditi, ali so napake posledica neustrezne izbire sušilnega postopka ali inherentnih lastnosti lesa (Welling, 1994).

#### 2.4.1 Ocenjevanje kakovosti sušenja

Za kakovost sušenja je ocenjevanje in spremljanje sušilnega procesa pomembno, saj tako lahko pravočasno zaznamo možnost nastanka napak, prilagodimo parametre sušenja in se napakam pravočasno izognemo. Z informacijami pridobljenimi o ustreznosti sušilnega režima, lahko režim sušenja optimiziramo ter s tem izboljšamo postopek sušenja. Les slabše kakovosti lahko izločimo pred nadaljnjo predelavo ali pa ga uporabimo za kakšen drug namen. V primeru kasnejših sporov lažje ugotovimo nastale nepravilnosti pri poteku sušenja ali vzrok za nastalo napako, če vodimo zapisnik o spremljanju sušilnega postopka.

Za vrednotenje oziroma ocenjevanje lesa je potrebno imeti merljive lastnosti oziroma veličine. Potrebno je poznati značilnosti, ki določajo kakovost sušilnega postopka oziroma kakovost posušenega lesa ter kako jih ovrednotimo (EN 14298, 2004; Welling, 1995). Praviloma nam uporabniki natančno določijo kakšno kakovost posušenega lesa želijo, zaradi česar je pomembno, da sušilničarji uporabljajo enake kriterije glede kakovosti. Glede namena uporabe lesa je odvisno tudi kateri kriteriji kakovosti so bolj pomembni. Med najpomembnejšimi so povprečna vlažnost in njeno odstopanje med posameznimi elementi, vlažnostni gradient, prisotnost notranjih napetosti, razpoke, veženja, barvne spremembe in pri sušenju listavcev še kolaps.

#### 2.4.1.1 Povprečna vlažnost lesa

S sušenjem želimo doseči zeleno končno vlažnost lesa, zato je odstopanje dejanske vlažnosti od zelene primarna napaka sušenja, ravno tako pomembna pa je enakomerna oziroma neenakomerna porazdelitev vlažnosti med elementi znotraj šarže. Ta napaka se pri sušenju pogosto pojavlja in povzroča veliko težav pri nadaljnji obdelavi lesa. Najpogostejša vzroka neenakomerne vlažnosti med posameznimi elementi sta neenakomerna vlažnost lesa pred začetkom sušenja in neenakomerno sušenje. Neenakomerna vlažnost pred začetkom sušenja se pojavi na primer, ko skupaj sušimo svež ravno razžagan les in pa les s predušenja, ki ima nižjo vlažnost. Poleg tega je voda v drevesu različno razporejena, saj je vlažnost ranega lesa praviloma višja od kasnega lesa, prav tako je tudi različna vlažnost med beljavo in jedrovino, ipd. Vzroki za neenakomerno sušenje so tudi drugi: nepravilno oblikovani zložaji, nepravilno prepričavanje, nepravilno letvičenje, itd. Zaradi neenakomerne porazdelitve vlažnosti po prerezu sušičnega se lesa pride do pojava notranjih sušilnih napetost, ki lahko povzročijo deformacije in razpoke v lesu. Da se temu izognemo, moramo pravilno formirati zložaje, uporabljati pravilno debelino distančnih letev in paziti na razmik med elementi. Zložaji morajo biti čim bolj prizmatični, elementi, ki jih sušimo istočasno pa naj bodo približno enake debeline in imajo čim bolj enako začetno vlažnost (Vodopivec, 1998).

#### 2.4.1.2 Vlažnostni gradient

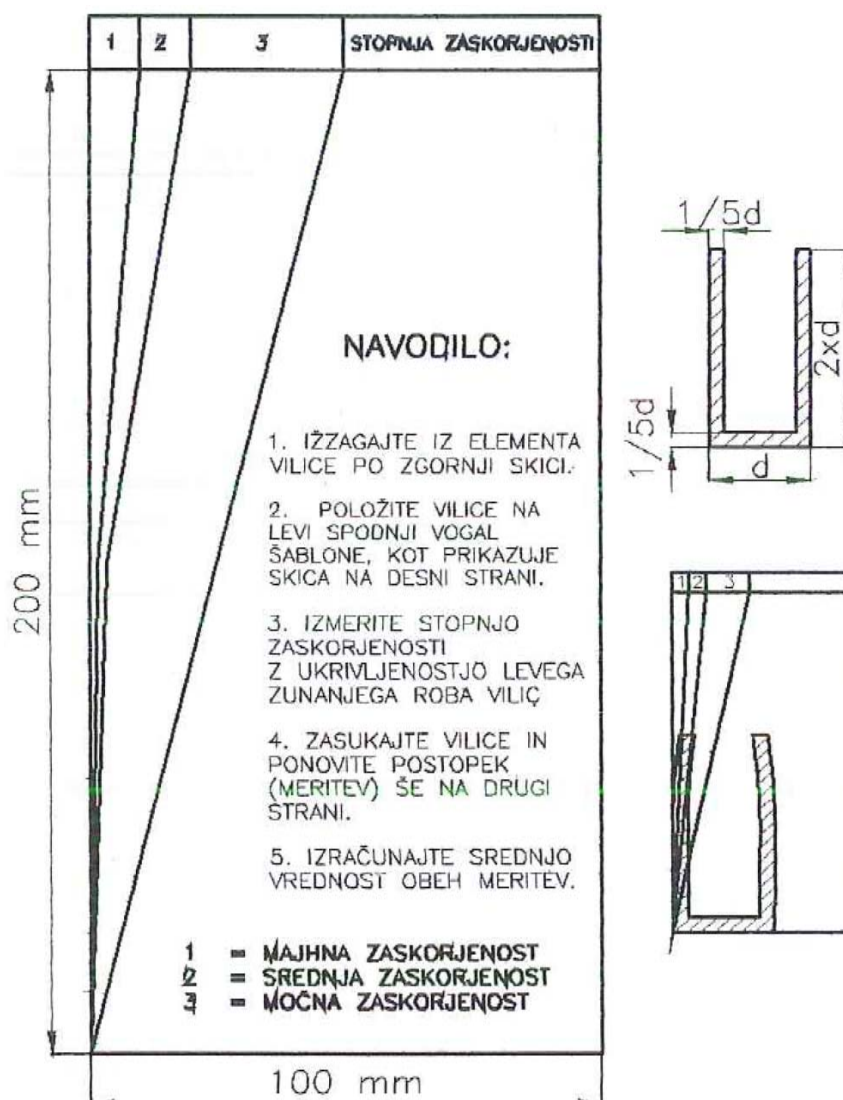
Razlika med vlažnostjo površine in vlažnostjo sredice žaganice imenujemo vlažnostni gradient. Vlažnost površine merimo najmanj 5 mm globoko ali na 1/6 debeline vzorca, vlažnost sredice pa na sredini debeline vzorca (Welling 1994). Vlažnostni gradienti so v lesu prisotni že pred začetkom sušenja. Vlažnostni gradient je pomemben pri difuziji vezane vode, ki je hitrejša, če je razlika med vlažnostjo notranjih in zunanjih plasti večja. Med sušenjem vlažnostni gradient povzroča notranje napetosti, katerih posledica so lahko zaskorjenost, deformacije in razpoke. Prevelikim vlažnostnim gradientom se lahko med sušenjem izognemo z ustrezno hitrostjo sušenja. V primeru, da so se napake zaradi prevelikega vlažnostnega gradienta že pojavile, jih lahko zmanjšujemo s parjenjem in vlaženjem površine lesa. Po končanem sušenju ga odpravimo s fazo kondicioniranja in temperiranja v ustrezni klimi. Pri spremljanju in vodenju sušilnega postopka so vlažnostni gradienti pomembni, saj lahko zaradi njih predvidevamo o velikost prisotnosti notranjih sušilnih napetosti (Vermaas s sod. 1993; Viljoen s sod., 1995; Koderman, 1996).

### 2.4.1.3 Notranje sušilne napetosti

Vlažnostni gradient in anizotropna zgradba lesa privedeta do nastanka sušilnih napetosti v lesu (Gorišek, 1994). Hitro izparevanje vode s površine sušenca povzroči, da se le ta osuši pod TNCS in se prične hitreje krčiti kot sredica. Zato se na površini pojavijo natezne napetosti, v sredici pa tlačne napetosti. V primeru, da so natezne napetosti na površini večje kot je prečna trdnost lesa se pojavijo površinske razpoke. Z nadaljnjim sušenjem se na površini pojavijo plastične deformacije, zaradi katerih se napetostno stanje obrne. Velikost krčenja je odvisna od napetostnega stanja, zato se les v postopku sušenja pod tenzijo krči manj, pri sušenju pod tlakom pa bolj. V primeru, da so natezne napetosti na zunanjih plasteh sušenca večje kot je prečna trdnost lesa se pojavijo površinske razpoke ali pokline. Ko vlažnost sredice pade pod TNCS, se ta prične krčiti in napetostno stanje se obrne. Na površini se pojavijo tlačne napetosti, v sredici pa natezne napetosti. Tlačne napetosti na površini lahko zaprejo razpoke nastale pred obratom napetostnega stanja, zato le te postanejo neopazne to nam oteži njihovo identifikacijo. Do nastanka notranjih razpok pride, ko natezne napetosti sredice sušenca prekoračijo prečno trdnost lesa. V kolikor je notranjih razpok veliko jih imenujemo satavost oziroma sataste razpoke (Vodopivec, 1998).

Za pojav sušilnih napetosti je praviloma krivo prehitro sušenje, najpogostejša napaka, ki je posledica sušilnih napetosti pa je zaskoritev oziroma zaskorjenje. Pojavi se v primeru, ko so ob izravnani prečni vlažnosti po prerezu napetosti v sušencu porazdeljene tako, da so zunanje plasti obremenjene na tlak, sredica pa na nateg. Takšnemu stanju se s konvekcijskim postopkom sušenja ne moremo izogniti, saj je posledica sušilnih napetosti, katere povzroča vlažnostni gradient. Deformacije in/ali razpoke se pojavijo v kolikor nadaljujemo s preostim režimom sušenja. Posledice zaskorjenosti lahko preprečimo le s primerno ostrino sušenja. V kolikor se je zaskorjenost že pojavila jo lahko odpravimo ali skušamo ublažiti s parjenjem ali rekondicioniranjem. Ob koncu sušenja je pomembna faza kondicioniranja s čimer nekoliko navlažimo zunanje plasti lesa ter tako sprostimo preostanek notranjih napetosti in izenačimo vlažnostni gradient (Gorišek, 1994).

Merjenje oziroma spremljanje notranjih sušilnih napetosti je še zlasti pomembno takrat, ko sušimo novo drevesno vrsto ali kadar spreminjamo že ustaljen sušilni režim. Za merjenje sušilnih napetosti se tradicionalno uporablja destruktivna metoda viličnega testa. Izdelajo se vilice po predpisanem postopku, s katerim se nato ugotavlja napetostno stanje glede na to kako se kraka vilic ukrivita (Slika 4). Kadar se ukrivita navznoter govorimo o zaskorjenosti, če pa se ukrivita navzven pa o obratni zaskorjenosti. Stopnjo zaskorjenosti ugotovimo takoj po izdelavi vilic, če pa želimo ugotoviti še učinek vlažnostnega gradienta na velikost sušilnih napetosti, pa moramo vilice kondicionirati pri normalni klimi ( $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi = 55\% \pm 10\%$ ) za iglavce vsaj 24 ur, za listavce pa 48 ur (EN 144 64, 2003).



Slika 4 – Skica za izdelavo vilic in diagram za določitev stopnje zaskorjenja z viličnim testom (Welling, 1993).

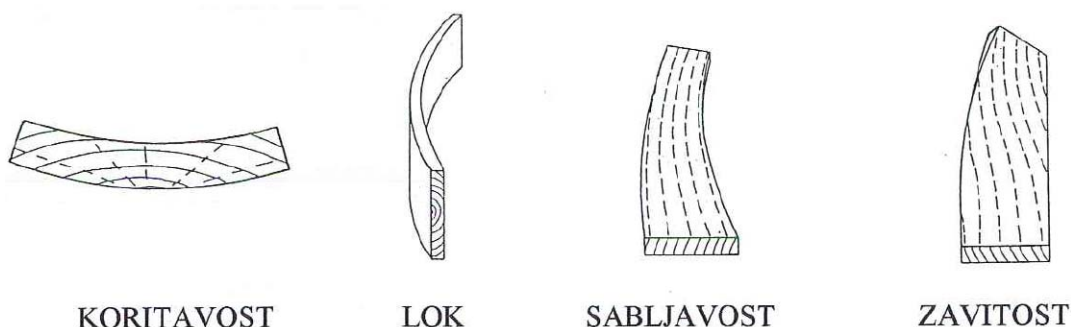
#### 2.4.1.4 Veženja

»Z veženjem označujemo vsakršno distorzijo ravne ploskve v vzdolžni ali preči smeri« (Gorišek s sod., 1994). Večina veženj se pojavi med sušilnim postopkom, vendar so vzrok za njihov nastanek največkrat inherentne lastnosti lesa (specifična zgradba lesnega tkiva). Zato so veženja odraz kakovosti lesa in ne kakovosti sušilnega postopka.

Najpogostejše tipične oblike veženj so (Slika 5):

- KORITAVOST ali ukrivljenost po širini, katere vzrok je anizotropija krčenja lesa, ki jo lahko preprečujemo z obtežitvijo zložaja.
- LOK ali vzdolžna ukrivljenost, katere vzrok so rastne napetosti in nepravilno zlaganje, in jo lahko preprečimo z boljšim zlaganjem žaganic v zložaje.
- SABLJAVOST ali bočna ukrivljenost v vzdolžni smeri, katere vzrok zanjo so rastne napetosti.

- ZAVITOST ali spiralna zavitev v vzdolžni smeri, katere vzrok je zavita rast, preprečimo pa jo lahko s pazljivim zlaganjem in obteževanjem zložajev .



Slika 5 - Najpogostejši tipi veženj (Vodopivec, 1998).

Vzroki veženja, ki so posledica nepravilnega sušilnega postopka, so na primer nepravilno letvičenje, kar povzroča zavitev, notranje sušilne napetosti in vlažnostni gradient zaradi prehitrega/prepočasnega lokalnega sušenja. Veženja, ki nastanejo zaradi sušilnega postopka, lahko preprečimo ali vsaj omilimo z upoštevanjem navodil in priporočil za posamezno fazo sušenja (pravilna priprava zložajev, kondicioniranje in temperiranje po sušenju, itd.). Pojavu veženj, ki izvirajo iz specifične zgradbe lesa in prečne krčitvene anizotropije se ne moremo izogniti, lahko pa jih omilimo z na primer obteževanjem zložajev, predhodnim parjenjem lesa in podobnimi ukrepi. Veženja ocenjujemo vizualno ali pa z merjenjem prirastka deformacij glede na stanje pred začetkom sušenja (Vodopivec, 1998; Welling, 1994).

#### 2.4.1.5 Razpoke

Kakovost sušenja je tesno povezana z nastankom razpok, ki so posledica sušilnega postopka. Razpoke so pri sušenju pogost pojav, vendar je potrebno poudariti, da vse razpoke niso posledica sušenja oziroma nepravilnih pogojev sušenja, če ravno so se pojavile v času sušilnega postopka. Ločiti moramo razpoke, ki so posledica inherentnih lastnosti lesa in razpoke, ki se pojavijo zaradi neustreznih sušilnih pogojev.

Razpoke, ki so posledica inherentnih lastnosti lesa:

- razpoke zaradi rastnih napetosti,
- kolesivost ali krožne razpoke.

Razpoke, ki so posledica neustreznih sušilnih pogojev so:

- površinske razpoke ali pokline,
- notranje razpoke – satavost,
- čelne razpoke.

Vse razpoke načeloma delimo na notranje in zunanje. Najpogostejše zunanje razpoke so čelne razpoke in pokline, ki nastanejo na čelih sušencev in navadno potekajo v radialni smeri oziroma v smeri trakov. Vzrok za nastanek čelnih razpok je prehitro izhajanje vode v vzdolžni smeri. Razpoki, ki poteka skozi celotno debelino sušenca pravimo reža, če pa ne



sega skozi celotno debelino, jo imenujemo napoka. Pokline, ki jih imenujemo razpoke na površini, so praviloma manjših velikosti, ter se pojavijo zaradi prehitrega sušenja v začetku sušilnega postopka. Proti koncu sušilnega postopka se zaradi natezних sil v notranjosti lesa pojavijo notranje razpoke. Pogosto so povezane s kolapsom, ki se pojavi pri vlažnostih nad TNCS. Najvažnejši vzrok za nastanek razpok, ki nastanejo zaradi neustreznega sušilnega postopka, je prehitro sušenje. Velik problem nam predstavljajo čelne razpoke, predvsem pri krajših decimiranih elementih, ki so praviloma iz lesa listavcev. Zmanjšamo jih lahko tako, da pred začetkom sušenja čela elementov premažemo s snovjo, ki zmanjšuje izhajanje vode (Vodopivec, 1998).

#### 2.4.1.6 Barvne spremembe

Dokaj pogost pojav pri sušenju lesa so obarvanja in diskoloracije oziroma nezaželene barvne spremembe lesa. Od intenzivnosti obarvanja in namena uporabe lesa je odvisna velikost te sušilne napake, saj zaradi estetskih lastnosti zmanjšuje njegovo vrednost. Med napake sušenja štejemo samo tiste barvne spremembe, ki se pojavijo med samim sušilnim postopkom. Za zaznavanje barvnih sprememb, katerih vzrok je sušenje, moramo pred začetkom sušenja pripraviti vzorce, ki jih sušimo počasneje in pri nižji temperaturi. Po končanem sušenju pa jih primerjamo z barvo osušenega lesa.

V grobem delimo vzroke za nastanek barvnih sprememb na biotske in abiotske. Najugodnejši pogoji za biotska obarvanja so na začetku sušilnega postopka, ko je relativna zračna vlažnost visoka, temperatura pa razmeroma nizka, kar lahko povzroči modrenje ali plesnenje lesa. Abiotska obarvanja se lahko pojavijo pri višji temperaturi in relativni zračni vlažnosti in vlažnosti lesa nad 30 % ter ob prisotnosti kisika. Med najpogostejša obarvanja štejemo:

- Čreslovinska (taninska) obarvanja nastanejo zaradi izpiranja in oksidacije akcesornih snovi pri vlažnosti nad TNCS in povišani temperaturi.
- Kondenzacijske lise (sivi ali črni madeži) nastanejo zaradi kondenzacije vode na površini.
- Črnilasti madeži (temnomodre do črne lise) nastanejo zaradi reakcije železa z vlažnim lesom, ki vsebuje tanin in/ter kovinske ione (npr. hrast).
- Letvična progavost (sive, modre ali rjave proge na mestih, ki so bili v stiku z distančnimi letvami) nastane zaradi prevlažnih ali neustreznih distančnih letev izdelanih iz lesa, ki je nagnjen k barvnim spremembam.

Bolj kot sam izvor je z vidika uporabnosti lesa pomembna velikost in globina obarvanja. Ocenjevanje obarvanja je precej težavno, predvsem pa subjektivno. Izvedemo ga na prečnem prerezu lesa, vsaj 300 mm od čela, s čistim rezom. Pri vrednotenju obarvanega lesa razlikujemo zgolj med različnimi tipi obarvanj (Gorišek, 1993; Gorišek in Straže, 2001):

- Površinska obarvanja, kadar so površinske plasti lesa temnejše kot notranje.
- Notranja obarvanja, kadar so površinske plasti svetlejšje kot notranje.
- Homogena obarvanja, kadar se lesu po celotnem prerezu enakomerno spremeni barva.
- Nehomogena obarvanja, kadar se pojavijo madeži ali progasti vzorci, ki se po barvnem odtenku ločijo od osnovne prevladujoče barve v ozadju.

#### 2.4.1.7 Kolaps

Abnormalna oblika skrčka, ki se pojavi nad TNCS, ko je v celičnih lumnih še prosta voda, imenujemo kolaps. Pojavi se, ko kapilarna tenzija oziroma natezna napetost vode v celičnih lumnih prekorači prečno tlačno trdnost lesa. S tem pride do porušitve celičnih sten v lumne celice. Kolaps se lahko pojavi pri naravnem ali pri tehničnem sušenju, največkrat na čelu sušenca, kjer je izhlapevanje vode najintenzivnejše, kapilarna tenzija pa največja. Zaradi bistveno manjših odprtin v pikenjski membrani so h kolapsu bolj nagnjeni listavci, medtem ko se pri iglavcih praktično ne pojavlja (Gorišek, 1994; Vodopivec, 1998).

Kolaps se pojavi zaradi prevelike hitrosti sušenja v prvi fazi, ko les vsebuje še prosto vodo. Izognemo se mu tako, da občutljive drevesne vrste na začetku sušilnega postopka sušimo s primerno hitrostjo in temperaturo. V primeru, da se nam je kolaps že pojavil, ga lahko v veliki meri odpravimo z rekondicioniranjem s pomočjo vodne pare, pri vlažnosti lesa okrog 20 %. S tem les izpostavimo višji temperaturi in relativni zračni vlažnosti. Zrak in vodna para v lumnih zvišata tlak ter s tem do določene mere povrneta celice v prvotno obliko. Rekondicioniranje je učinkovito samo v primeru, ko je kolaps na površini sušenca in še ni prišlo do notranjih napak oziroma satavosti (Chafe, 1990).

#### 2.4.2 Skladiščenje lesa po končanem sušenju

Med postopkom tehničnega sušenja se v lesu pojavijo velike napetosti, zato se priporoča, da les pred mehansko obdelavo določen čas, to je od 3 do 14 dni, miruje v klimatiziranih prostorih.

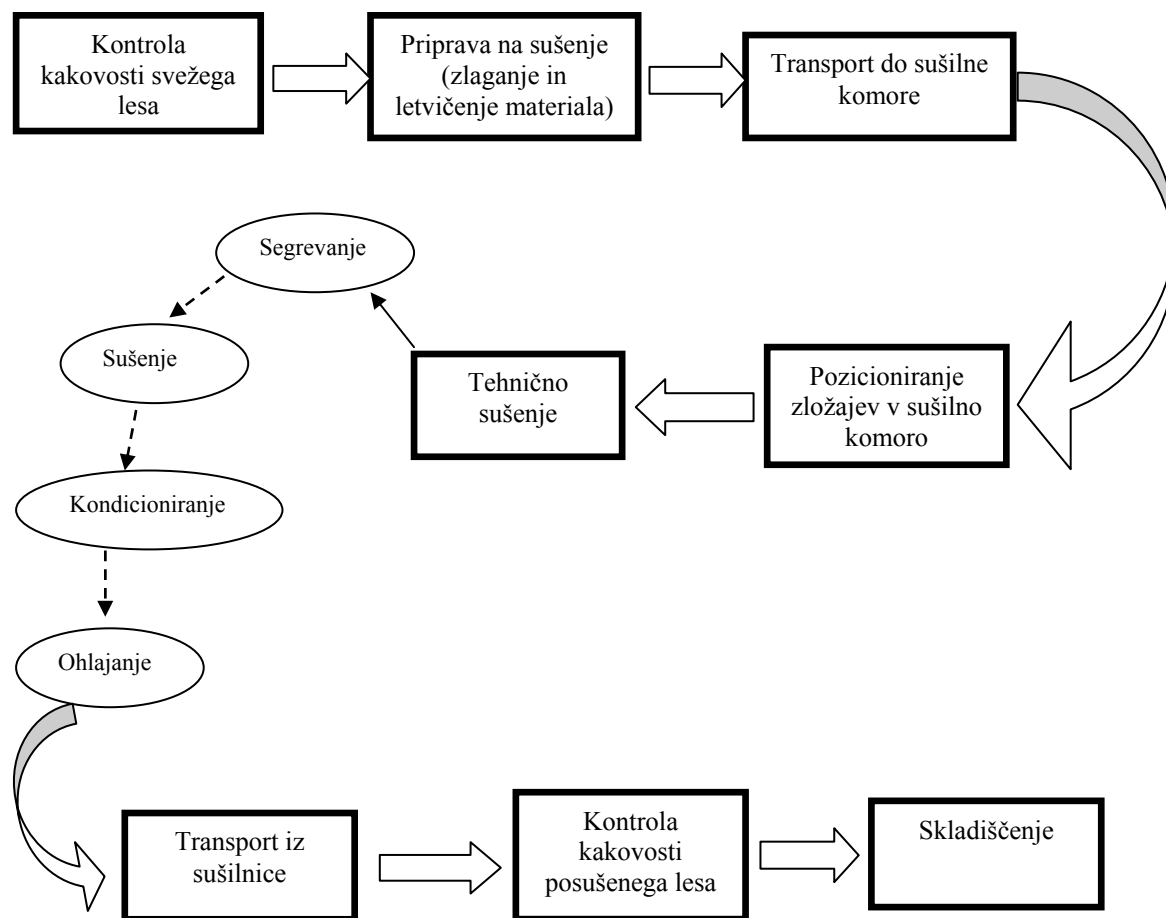
Klima zraka mora ustrezati končni ravnovesni vlažnosti lesa. Če je les posušen na 8 % vlažnost, naj bi bil skladiščen v prostoru s temperaturo 15 °C in pri relativni zračni vlažnosti 42 %. Če relativna zračna vlažnost ni ustrezna, bo les pričel delovati in pojavile se bodo napake. Za vzdrževanje konstantne in želene klime v prostoru skladiščenja posušenega lesa je idealno, če imamo klimatsko napravo. Ustreza tudi ogrevan prostor v katerem so nameščeni industrijski vlažilniki zraka. Takšno skladiščenje lesa je še posebej priporočljivo v obratih, ki se ukvarjajo z lepljenjem lesa, saj že majhno delovanje lesa povzroči razpoke (Geršak in Velušček, 2003).

### 3 MATERIAL IN METODE

Metodologijo ocenjevanja kontrole celotnega tehnološkega procesa sušenja lesa smo oblikovali v podjetju ESOL d.o.o., ki se nahaja v Črnomlju. Je srednje veliko invalidsko lesnopredelovalno podjetje s 153 zaposlenimi. Ustanovljeno je bilo leta 1995, njihovi glavni proizvodi pa so masivne lepljene plošče, spojene širinsko, dolžinsko-širinsko in trislojno iz lesa listavcev. Poleg tega izdelujejo še karoserijske elemente za počitniške prikolice, mobilne hiške in avtodome. Iz ostankov, nastalih pri izdelavi plošče in karoserijskih elementov izdelujejo lesne brikete za kurjavo. Toploto za oskrbovanje sušilnih komor, parilnic, tehnologije za lepljenje plošč in ogrevanje samih poslovnih prostorov pridobijo kot višek energije pri proizvodnji elektrike, katero proizvajajo v elektrarni na biomaso z močjo 1 MW.

#### 3.1 OBJEKT OCENJEVANJA

V podjetju ESOL d.o.o. smo ocenili celoten potek sušenja, s poudarkom na postopku tehničnega sušenja lesa, ki ga izvajajo v normalno-temperaturnih konvekcijskih komorah z delno izmenjavo zraka. Svež vlažen les, ki ga pripeljejo dobavitelji v podjetju najprej skladiščijo in ocenijo njegovo kakovost (Slika 6). Pregledajo njegovo vlažnost, koničnost, krivost, ovalnost, žlebatost, grčavost, prisotnost reakcijskega in juvenilnega lesa, napake srca, smolike, razpoke, gnilobo, obarvanost, piravost, rove žuželk, mehanske poškodbe in tujke v lesu. Pregledano surovino z uporabo čelnih viličarjev razvrstijo v zložaje, ki jih pred nadaljnjim postopkom oziroma samim sušenjem hranijo v pokritem skladišču. Zložaje nato s čelnim viličarjem odpeljejo do sušilne komore, kjer jih poskušajo čim bolj optimalno zložiti in izkoristiti kapaciteto sušilnice. Ko so zložaji pripravljene na sušenje, pričnejo z izvajanjem postopka tehničnega sušenja. Najprej naloženi les segrevajo na temperaturo, ki je primerna za nadaljnje sušenje lesa. Material je nato pripravljen na dejansko sušenje, ki ga izvajajo v različnih sušilnih komorah. Po koncu sušenja sledita še izenačevanje, s katerim izenačijo vlažnost vsega lesa v sušilni komori, ter ohlajanje, ki se izvede pred praznitvijo sušilnice in s katerim zmanjšajo možnost napak in napetosti v posušenem lesu. Po končanem postopku tehničnega sušenja zložaje s čelnim viličarjem premestijo v skladišče suhega lesa, kjer je v nekaj dneh, do največ dveh tednov pripravljen na nadaljnjo obdelavo. V času, ko les miruje v skladišču suhega lesa, izvedejo tudi celovito kontrolo kakovosti posušenega lesa.



Slika 6 - Tok materiala v podjetju ESOL d.o.o. in točke na katerih se izvaja kontrola kakovosti.

Pri ocenjevanju kakovosti tehnologije sušenja lesa v podjetju ESOL d.o.o. smo se osredotočili na pet normalno-temperaturnih konveksijskih komor z delno izmenjavo zraka. Ključni podatki o ocenjevanih sušilnih komorah so podani (Preglednica 1), podrobne tehnične karakteristike pa v (prilogi A).

*Preglednica 1 - Podatki o izbranih sušilnih komorah v podjetju ESOL d.o.o.*

Značilnosti sušilne komore Oznaka sušilne komore	Vrsta lesa	Debelina lesa	Nazivna kapaciteta sušilne komore	Izvedba vrat	Inštalirana toplotna moč	Inštalirana električna moč
<b>S1B</b>	JELŠA	32 mm	60-100 m <sup>3</sup>	HARMONIKA 2-3 PREKLOPNA	540 KW	26 KW
	SAPELI	50mm				
<b>S4B</b>	BUKEV	25 mm	60-100 m <sup>3</sup>	HARMONIKA 2-3 PREKLOPNA	540KW	26 KW
<b>S1D</b>	HRAST	50 mm	90-130 m <sup>3</sup>	DVIŽNO-ODVOZNA	815 KW	28 KW
<b>S4D</b>	HRAST	38 mm, 50 mm	60-100 m <sup>3</sup>	DVIŽNO-ODVOZNA	540 KW	26 KW
<b>S5D</b>	SMREKA	25 mm, 30 mm	60-100 m <sup>3</sup>	HARMONIKA 2-3 PREKLOPNA	450 KW	20 KW

### 3.2. METODA OCENJEVANJA TEHNOLOGIJE KAKOVOSTI SUŠENJA LESA

Z metodo opazovanja smo v izbranem podjetju ESOL d.o.o. pregledali njihove prostore, opremo ter postopek tehničnega sušenja lesa. Metoda ocenjevanja kakovosti sušilnega postopka je temeljila na oceni izvajanja tehnologije sušenja, od vstopa lesa v podjetje, do predaje materiala v nadaljnjo tehnološko predelavo. Poudarek je bil na individualnem vizualnem pregledu lesa, pregledu distančnih letvic, oblike in postavitve paketov v sušilnih komorah, vzdrževanja same komore in njenih sestavnih elementov, arhiviranja in beleženja sušilnih parametrov ter na pregledu izvedbe ocenjevanja kakovosti posušenega lesa. Merila in kriterije smo izbrali po predlogih strokovne literature (Boone s sod. 1991, Pervan, 2000), ter jih dopolnili in prilagodili ocenjevanju v izbranem podjetju. Merila so temeljila na osnovi opisnih ocen, ki smo jih prevedli v številčno lestvico, pri čemer 4 pomeni najboljše in 1 najslabše.

#### 3.2.1 Namen ocenjevalnega lista

Napakam se pri sušenju lesa ne moremo izogniti, lahko pa s pravilnim sušenjem zmanjšamo njihovo pojavljanje in tako dosežemo večjo vrednost lesa. Da se jim lahko uspešno izognemo, moramo poznati vzroke, zaradi katerih nastanejo. Z ocenjevalnim listom smo skušali ovrednotiti posamezne kritične točke v celotnem procesu sušenja lesa, ki vsaka posamezno in v celoti vplivajo na končno kakovost posušenega materiala. Cilj

ocenjevalnega lista je zaznati v kateri fazi pretoka materiala se lahko, oziroma se pojavljajo napake zaradi samega sušilnega procesa. Predvidevamo, da je s kvantitativno oceno lažje odkriti kritične točke, jih ustrezno sanirati ter s tem pridobiti na sami kakovosti posušenega lesa in posledično končnega izdelka.

### **3.2.2 Sestava ocenjevalnega lista**

Ocenjevalni list je sestavljen iz šestih sklopov, s katerimi smo skušali zajeti celoten tok lesa, od dobave v podjetje, do nadaljnje mehanske obdelave (Preglednica 2). V prvem sklopu smo ocenjevali poznavanje zgodovine lesa, njegovo ustrezno umestitev v skladišču, vizualno kakovost ter označevanje samih paketov s strani podjetja in dobavitelja. V drugem in tretjem sklopu smo ocenjevali pripravo in postavitve paketov v sušilno komoro, kjer smo izmerili debelino in ukrivljenost distančnih letev, preverili koliko jih manjka v posameznem zložaju ter njihovo vertikalno poravnanoost in debelino podložnih letev. Pri ocenjevanju postavitve paketov v komoro smo preverili njihovo obliko, debelino lesa v paketu, postavitve, razmik in razvrščanje neenakomerno dolgih paketov. Poleg tega smo preverili še koliko različnih drevesnih vrst in debelin elementov je v komori. V četrtem najobsežnejšem sklopu smo ocenjevali vzdrževanje sušilnih komor, postavitve in uporabo merilnih inštrumentov, pojavljanje kondenzata v komori, vzdrževanje higiene v komori, tesnjenje vrat ter mehansko delovanje elementov sušilne komore (ventilatorjev, prezračevalnih loput, sistema za navlaževanje in regulacijskih ventilov tople vode). V petem sklopu smo ocenjevali evidentiranje in zapisovanje sušilnih parametrov, vizualno ocenjevanje in uporabo kontrolnih vzorcev. V zadnjem, šestem sklopu smo ocenjevali še pogostost in način izvajanja kontrole kakovosti posušenega lesa, njegovo skladiščenje ter podajanje informacij o napakah sušenja iz nadaljnje mehanske obdelave.

Kriteriji in merila za vrednotenje kakovosti tehnologije sušenja.

## **1. SPREMLJANJE MATERIALA**

### **1.1 Zgodovina lesa pred sušenjem**

- 4- Zgodovina lesa pred sušilnico je znana
- 3- Zgodovino lesa lahko pridobimo z poizvedovanjem
- 2- Zgodovine lesa ne poznamo
- 1- Za zgodovino lesa se nihče ne zanima

### **1.2 Urejenost prostora za skladiščenje svežega lesa**

- 4- Svež les je pred sušenjem primerno skladiščen in zaščiten pred meteornimi padavinami
- 3- Les je zaščiten pred atmosferskimi vplivi, vendar je na neprimernem prostoru
- 1- Les je nezaščiten pred atmosferskimi vplivi

### **1.3 Vizualno ocenjevanje kakovosti lesa pred sušenjem**

- 4- Ocenjevanje kakovosti se vedno izvaja na svežem lesu
- 3- Ocenjevanje kakovosti se občasno izvaja na svežem lesu
- 1- Ocenjevanje kakovosti se ne izvaja na svežem lesu

#### **1.4 Označevanje paketov (lesna vlažnost, datum začetka sušenja, položaj v sušilnici, datum konca sušenja)**

- 4- Označuje se vsak paket
- 3- Skupinsko označevanje celotne sušilnice ali dela sušilnice
- 1- Nobenih podatkov o spremljanju paketov

## **2. DISTANČNE LETVE**

### **2.1 Enakost debeline distančnih letev**

- 4- Toleranca debeline letev je 1 mm ali manj
- 3- Toleranca debeline letev je 2 mm ali manj
- 2- Toleranca debeline letev je 3 mm ali manj
- 1- Toleranca debeline letev je večja kot 3 mm

### **2.2 Ravnost distančnih letev**

- 4- Vse letve so zakrivljene ali izbočene manj kot 50 mm
- 3- Manj kot 3 letve imajo ukrivljenost ali izbočenost večjo kot 50 mm
- 2- Manj kot 5 letev je ukrivljenih ali izbočenih več kot 50 mm
- 1- Več kot 5 letev je ukrivljenih ali izbočenih več kot 50 mm

### **2.3 Manjkajoče distančne letve**

- 4- Vse distančne letve so prisotne ali manjkata manj kot dve
- 3- Manjka manj kot 5 distančnih letev
- 2- Manjka manj kot 10 distančnih letev
- 1- Manjka več kot 10 distančnih letev

### **2.4 Razporeditev distančnih letev**

- 4- Vse distančne letve so vertikalno poravnane, manjkati ne smeta več kot dve
- 3- Manj kot 5 distančnih letev ni vertikalno poravnanih
- 2- Manj kot 10 distančnih letev ni vertikalno poravnanih
- 1- Več kot 10 distančnih letev ni vertikalno poravnanih

### **2.5 Distančne letve na robu paketa**

- 4- Manj kot 2 letve sta na robu
- 3- Manj kot 5 letev je na robu
- 2- Manj kot 10 letev je na robu
- 1- Več kot 10 letev je na robu

### **2.6 Enakost debeline podložnih letev (palet)**

- 4- Toleranca debeline podložnih letev je 3 mm ali manj
- 3- Toleranca debeline podložnih letev je 6 mm ali manj
- 2- Toleranca debeline podložnih letev je 9 mm ali manj
- 1- Toleranca debeline podložnih letev je večja kot 9 mm

### **3. PAKETI IN POSTAVITEV PAKETOV V SUŠILNO KOMORO**

#### **3.1 Paketi so pravokotne oblike na obeh koncih (poravnano s čela)**

- 4- Vsi elementi v paketu so na koncu podprti z letvami, čela so vertikalno poravnana
- 3- Manj kot 5 elementov na paket ne doseže zunanje letve ali gledajo več kot 7cm čez
- 2- Manj kot 10 elementov na paket ne doseže zunanje letve ali gledajo več kot 15cm čez
- 1- Več kot 10 elementov na paket ne doseže zunanje letve ali gledajo več kot 15cm čez

#### **3.2 Elementi v paketu so s strani poravnani**

- 4- Vsi paketi so s strani poravnani
- 3- Največ 1 vrsta v paketu ni poravnana
- 2- Največ 3 vrste v paketu niso poravnane
- 1- Več kot 3 vrste v paketu niso poravnane

#### **3.3 Enakost debeline lesa v paketu**

- 4- Vsi elementi so enako debeli in se dotikajo distančnih letvic, letvice niso ukrivljene
- 3- Vsaj 10 elementov v paketu se ne dotika distančnih letvic ali pa so letvice ukrivljene preko debelejših ali tanjših elementov
- 2- Debelina elementov je tako različna, da so letvice zvite in se pokažejo vrzeli, razmik med elementi in letvicami je večji kot 3,2 mm
- 1- Variacija debeline je tako velika, da paket nima pravih oblik

#### **3.4 Homogenost lesa v sušilni komori**

- 4- Les iste drevesne vrste, enake debeline in enake začetne vlažnosti
- 3- Les iste drevesne vrste, različnih debelin in različne začetne vlažnosti
- 2- Les sorodnih drevesnih vrst
- 1- Les različnih drevesnih vrst

#### **3.5 Postavitev paketov v sušilnici**

- 4- Prva ali zadnja vrsta je tesno ob steni; naslednja vrsta je tesno ob nasprotni steni
- 3- Vrste so zamaknjene in paketi so več kot 60 cm odmaknjeni od stene
- 2- Nobenega truda se ne vloži v preprečevanje kratkega kroženja zraka
- 1- Dodatna vrsta paketov je postavljena v prostor ob vratih

#### **3.6 Razmik med zložaji**

- 4- Razmik med zložaji je 8 do 10cm
- 3- Razmik med zložaji je 7 do 20cm
- 2- Eden ali več zložajev od 4 sosednjih zložajev ima manjši razmik kot 7 cm
- 1- Razmik večine zložajev je manjši kot 7 cm

#### **3.7 Razvrščanje neenakomerno dolgih paketov**

- 4- Na vrhu so krajši paketi, paketi so na vrhu in s čela poravnani
- 2- Občasno se pojavljajo praznine med paketi na vrhu in na koncih zložaja
- 1- Zelo pogosto se pojavljajo praznine



## **4. SUŠILNA KOMORA IN SUŠILNE NAPRAVE**

### **4.1 Splošna kontrola sušilnice: inštalacije, korozija, izolacija**

- 4- Kontrola in poročilo se izvede vsakih 6 tednov
- 3- Kontrola in poročilo se izvede na vsake tri mesece
- 2- Kontrola in poročilo se izvede vsako leto
- 1- Kontrola in poročilo se ne izvaja

### **4.2 Preverjanje delovanja naprav**

- 4- Delovanje naprav se pregleduje med postopki in v času izvajanja sušenja
- 3- Delovanje naprav se preverja pred vsakim sušenjem
- 2- Delovanje naprav se preverja občasno
- 1- Delovanje naprav se ne preverja

### **4.3 Tesnost strehe**

- 4- Streha tesni
- 2- Streha pušča ob močnejših nalivih
- 1- Streha nenehno pušča

### **4.4 Preverjanje ustrezne izolativnosti sušilne komore**

- 4- Konstrukcija je brez vidnih poškodb in je v prvotnem stanju
- 3- Vidne so kondenzacijske lise na toplotnih mostovih
- 2- Konstrukcija je mehansko poškodovana
- 1- Mehanske poškodbe so večje, zato se zaznajo učinki kondenzacije

### **4.5 Kondenzirana voda v sušilnici**

- 4- Ni vidnih znakov kondenzacije
- 3- Kondenzacija se občasno pojavi na steni, ob ventilatorjih, ob razpokah
- 2- Večja prisotnost kondenzirane vode, korozija, sušilnica ne tesni
- 1- Sušilnica ne deluje zaradi velike količine kondenzirane vode

### **4.6 Kontrola tesnjenja vrat**

- 4- Vrata tesnijo in ni vidnih posledic kondenzacije
- 3- Vrata ne tesnijo zaradi deformacije
- 2- Na vratih je nameščeno neustrezno tesnilo
- 1- Na vratih tesnilo ni nameščeno, zaznana je občutna kondenzacija vode

### **4.7 Čiščenje poda sušilne komore**

- 4- Pod se čisti pred vsakim polnjenjem komore
- 3- Pod se čisti pred polnjenjem samo v primeru večjih nečistoč
- 2- Pod se čisti 2x letno
- 1- Pod se nikoli ne čisti

#### **4.8 Kondenzat vode na tleh sušilnice**

- 4- Kondenzat se na tleh sušilnice redko pojavi ali pa ga sploh ni
- 3- Manjša količina se pojavi v hladnih dneh
- 2- Manjša količina se pojavi občasno
- 1- Nenehno se pojavljajo luže vode

#### **4.9 Kalibracija senzorjev za temperaturo**

- 4- Kalibracijo se izvede vsaj vsake pol leta in rezultati se zabeležijo
- 3- Kalibracijo se izvede na vsakih 6 – 24 mesecev
- 2- Kalibracijo se izvede ko se pojavi sum napake senzorjev
- 1- Kalibracija še ni bila nikoli izvedena

#### **4.10 Pravi položaj tipala za vlago zraka (psihrometra)**

- 4- Psihrometer je nameščen na vhodu zračnega toka
- 3- Psihrometer je nameščen blizu ventilatorja
- 2- Psihrometer je nameščen na oddaljenosti večji od 1m od ventilatorja in ni blizu zračnega toka
- 1- Psihrometer je nameščen blizu zida ali stropa

#### **4.11 Menjavanje krpic vlažnega termometra**

- 4- Krpico se zamenja pri vsakem polnjenju
- 3- Krpico se menja po predpisanem urniku
- 1- Krpico se menja redko oziroma če je umazana, preperela ali razpada

#### **4.12 Dodajanje mehke vode v posodo z mokrim termometrom**

- 4- Dodajanje mehke vode se izvaja avtomatsko
- 3- Pregledovanje in dodajanje mehke vode se izvaja ob vsakem vstopu v komoro
- 2- Dodajanje mehke vode se izvaja po potrebi
- 1- Posoda z mehko vodo je prazna

#### **4.13 Kontrola celuloznih lističev**

- 4- Menjajo se redno, kot predpisuje proizvajalec
- 3- Ne menjajo se redno
- 1- Menjajo se, ko ravnovesna vlažnost izrazito odstopa

#### **4.14 Uporaba tipal za merjenje lesne vlažnosti**

- 4- Tipala se uporabljajo kot predpisuje proizvajalec
- 3- Tipala se uporabljajo, vsa ne delujejo, vsa se ne uporabljajo
- 1- Tipala se ne uporabljajo

#### **4.15 Oprema in ventilatorji se redno preverjajo**

- 4- Ventilatorji, motorji, ležaji, gredi ter ostala oprema se preverja mesečno
- 3- Se preverja na tri mesece
- 2- Se preverja letno
- 1- Se ne preverja redno

#### **4.16 Ventilatorji potiskajo zrak v pravi smeri in so dobro podmazani**

- 4- Vsi ventilatorji se vrtijo v isti smeri in so dobro podmazani, v intervalih, ki jih priporoča proizvajalec
- 3- Vsi ventilatorji se vrtijo v isti smeri ampak niso podmazani, v intervalih, ki jih priporoča proizvajalec
- 2- Delovanje in smer vrtenja ventilatorjev se redko preverja
- 1- Delovanje in podmazovanje ventilatorjev se ne preverja razen, ko so v okvari

#### **4.17 Redno preverjanje hitrosti zraka**

- 4- Hitrost zraka se preverja v primeru neobičajne postavitve zložajev oziroma polletno
- 3- Hitrost zraka se preverja, ko se pojavi problem
- 2- Hitrost zraka je bila preverjena, ko je bila sušilnica zgrajena oziroma obnovljena
- 1- Hitrost zraka ni bila še nikoli izmerjena

#### **4.18 Delovanje loput za dovod svežega zraka**

- 4- Delovanje loput se preverja tedensko, lopute so ustrezne velikosti
- 3- Delovanje loput se preverja mesečno, lopute niso ustrezne velikosti
- 2- Delovanje loput se preverja dvakrat letno, lopute so očitno premajhne glede na velikost komore
- 1- Delovanje loput se preverja samo v primeru problema

#### **4.19 Čistost grelnih teles**

- 4- So čista in niso blokirana
- 3- So delno čista, rahlo zarjavela in niso blokirana
- 1- So zelo zarjavela in blokirana z nečistočo

#### **4.20 Vzdrževanje sistema za navlaževanje**

- 4- Ventili se pregledujejo vsaj vsake tri mesece
- 3- Pregledujejo se letno
- 1- Pregledujejo se, ko se pojavi problem

#### **4.21 Preverjanje regulacijskih ventilov za dovajanje tople vode**

- 4- Preverjajo se vsake 3 mesece
- 3- Preverjajo se letno
- 1- Preverjajo se samo, ko se pojavi napaka

#### **4.22 Delovanje ventilov tople vode**

- 4- Ventili se 100 % odpirajo in zapirajo, ko je to potrebno
- 2- Komaj zaznavno uhajanje tople vode pri zaprtih ventilih, pri polni potrebi tople vode se odprejo več kot 90 %
- 1- Uhajanje tople vode je lahko zaznati pri zaprtih ventilih, pri polni potrebi tople vode se odprejo manj kot 90 %

## **5. DOLOČANJE IN ZAPISOVANJE SUŠILNIH PARAMETROV**

### **5.1 Evidenca podatkov o poteku sušenja**

- 4- Evidenca podatkov je popolna, težave so lahko rešljive
- 3- Podatki se hranijo, dokler se težava ne odpravi
- 2- Podatki so delni, po pol leta so težko dostopni
- 1- Evidence sušenja se ne vodi

### **5.2 Vizualno ocenjevanje kakovosti lesa med sušenjem**

- 4- Med sušilnim procesom se redno izvaja vizualni pregled
- 3- Med sušilnim procesom se občasno izvaja vizualni pregled
- 1- Med sušilnim procesom se ne izvaja vizualni pregled

### **5.3 Uporaba kontrolnih vzorcev za spremljanje vlažnosti**

- 4- Kontrolni vzorci so izbrani, pripravljeni in nameščeni, kot priporoča literatura
- 3- Kontrolnim vzorcem se manj posveča, uporabljajo se 2-3 vzorci na sušilnico
- 2- Kontrolne vzorce se redko uporablja
- 1- Kontrolnih vzorcev se ne uporablja

### **5.4 Uporaba kontrolnih vzorcev za sledenje hitrosti sušenja**

- 4- Vzorci se uporabljajo in pregledujejo 3-krat tedensko
- 3- Vzorci se uporabljajo in pregledujejo 1-krat tedensko
- 2- Vzorci se redko uporabljajo
- 1- Vzorci se ne uporabljajo

### **5.5 Pravilna izbira sledilnih vzorcev**

- 4- Sledilne vzorce se vedno izbere, pripravi in postavi kot je priporočeno, vsaj 6 vzorcev na šaržo
- 3- Sledilni vzorci so po navadi izbrani, pripravljeni in postavljeni dobro, vsaj 6 vzorcev na šaržo
- 2- Slaba izbira, priprava in postavitve sledilnih vzorcev, ali pa je vzorcev manj kot 6 na šaržo
- 1- V izbiro sledilnih vzorcev se ne vlaga posebnega truda, vzorci so slabo postavljeni, ali imamo samo 1 do 3 vzorce

## **6. KONTROLA KAKOVOSTI SUŠENJA LESA**

### **6.1 Pogostost izvajanja kontrole kakovosti lesa**

- 4- Celovita kontrola kakovosti se izvaja pred, med in po sušenju (vizualna, odvzem vzorcev za zaskorjenje, za vlažnost, za vilični test)
- 3- Vizualni pregled v celotnem procesu sušenja
- 2- Kontrola lesa se izvaja vizualno po končanem sušenju
- 1- Kontrola kakovosti lesa se ne izvaja

## **6.2 Pregledovanje razpok na lesu pred začetkom in/ali na koncu sušenja**

- 4- Vedno se preverja prisotnost razpok
- 3- Občasno se preverja prisotnost razpok
- 1- Prisotnost razpok se ne preverja

## **6.3 Ocenjevanje veženja lesa po sušenju**

- 4- Vedno se preverja veženje lesa
- 3- Občasno se preverja veženje lesa
- 1- Veženja lesa se ne preverja

## **6.4 Kontrola notranjih napetosti**

- 4- Vilični test se izvaja redno
- 3- Vilični test se izvaja občasno
- 1- Vilični test se ne izvaja

## **6.5 Ocenjevanje enakomernosti sušenja lesa**

- 4- Merita se povprečna vlažnost in vlažnostni gradient sistematično po celotni šarži
- 3- Na celotni šarži se določa le končna vlažnost
- 1- Končna vlažnost in vlažnostni gradient se ne določata

## **6.6 Skladiščenje posušenega lesa**

- 4- Posušen les se vedno skladišči v zaprtem in klimatiziranem prostoru
- 3- Posušen les se vedno skladišči pokrit
- 2- Posušen les je le nekaj dni na odprtem
- 1- Posušen les je nezaščiten do nadaljnje uporabe

## **6.7 Povratne informacije o napakah, nastalih pri sušenju**

- 4- Morebitne sušilne napake se spremljajo tudi pri nadaljnji predelavi lesa
- 2- Pri nadaljnji obdelavi lesa se beležijo samo sušilne napake večjega obsega
- 1- Informacije o morebitnih sušilnih napakah se ne zbirajo v nadaljnji predelavi lesa

*Preglednica 2 - Ocenjevalni list za spremljanje in vrednotenje kakovosti tehnologije sušenja.*

## SPREMLJANJE KAKOVOSTI TEHNOLOGIJE SUŠENJA

**Komora:** \_\_\_\_\_

**Datum:** \_\_\_\_\_

OCENA  
SLABO-DOBRO

### 1. SPREMLJANJE MATERIALA

1.1 Zgodovina lesa pred sušenjem.....	1..2..3..4
1.2 Urejenost prostora za skladiščenje svežega lesa.....	1.....3..4
1.3 Vizualno ocenjevanje kakovosti lesa pred sušenjem.....	1.....3..4
1.4 Označevanje paketov (lesna vlažnost, datum začetka sušenja, položaj v sušilnici, datum konca sušenja) .....	1.....3..4

### 2. DISTANČNE LETVE

2.1 Enakost debeline distančnih letev.....	1..2..3..4
2.2 Ravnost distančnih letev. ....	1..2..3..4
2.3 Manjkajoče distančne letve.....	1..2..3..4
2.4 Razporeditev distančnih letev.....	1..2..3..4
2.5 Distančne letve na robu paketa .....	1..2..3..4
2.6 Enakost debeline podložnih letev (palet) .....	1..2..3..4

### 3. PAKETI IN POSTAVITEV PAKETOV V SUŠILNO KOMORO

3.1 Paketi so pravokotne oblike na obeh koncih (poravnost s čela).....	1..2..3..4
3.2 Elementi v paketu so s strani poravnani.....	1..2..3..4
3.3 Enakost debeline lesa v paketu.....	1..2..3..4
3.4 Homogenost lesa v sušilni komori.....	1..2..3..4
3.5 Postavitev paketov v sušilnici.....	1..2..3..4
3.6 Razmik med zložaji.....	1..2..3..4
3.7 Razvrščanje neenakomerno dolgih paketov.....	1..2.....4

### 4. SUŠILNA KOMORA IN SUŠILNE NAPRAVE

4.1 Splošna kontrola sušilnice: inštalacije, korozija, izolacija.....	1..2..3..4
4.2 Preverjanje delovanja naprav.....	1..2..3..4
4.3 Tesnost strehe.....	1..2.....4
4.4 Preverjanje ustrezne izolativnosti sušilne komore.....	1..2..3..4
4.5 Kondenzirana voda v sušilnici.....	1..2..3..4
4.6 Kontrola tesnjenja vrat.....	1..2..3..4
4.7 Čiščenje poda sušilne komore.....	1..2..3..4

4.8	Kondenzat vode na tleh sušilnice.....	1..2..3..4
4.9	Kalibracija senzorjev za temperaturo.....	1..2..3..4
4.10	Pravilen položaj tipala za vlago zraka (psihrometra) .....	1..2..3..4
4.11	Menjavanje krpic vlažnega termometra.....	1.....3..4
4.12	Dodajanje mehke vode v posodo z mokrim termometrom.....	1..2..3..4
4.13	Kontrola celuloznih lističev.....	1.....3..4
4.14	Uporaba tipal za merjenje lesne vlažnosti.....	1.....3..4
4.15	Oprema in ventilatorji se redno preverja.....	1..2..3..4
4.16	Ventilatorji potiskajo zrak v pravi smeri in so dobro podmazani.....	1..2..3..4
4.17	Redno preverjanje hitrosti zraka.....	1..2..3..4
4.18	Delovanje loput za dovod svežega zraka.....	1..2..3..4
4.19	Čistoča grelnih teles.....	1.....3..4
4.20	Vzdrževanje sistema za navlaževanje.....	1.....3..4
4.21	Preverjanje regulacijskih ventilov za dovajanje tople vode.....	1.....3..4
4.22	Delovanje ventilov tople vode.....	1..2.....4

## **5. DOLOČANJE IN ZAPISOVANJE SUŠILNIH PARAMETROV**

5.1	Evidenca podatkov o poteku sušenja.....	1..2..3..4
5.2	Vizualno ocenjevanje kakovosti lesa med sušenjem.....	1.....3..4
5.3	Uporaba kontrolnih vzorcev za spremljanje vlažnosti.....	1..2..3..4
5.4	Uporaba kontrolnih vzorcev za sledenje hitrosti sušenja.....	1..2..3..4
5.5	Pravilna izbira sledilnih vzorcev.....	1..2..3..4

## **6. KONTROLA KAKOVOSTI SUŠENJA LESA**

6.1	Pogostost izvajanja kontrole kakovosti lesa.....	1..2..3..4
6.2	Pregledovanje razpok na lesu pred začetkom in/ali na koncu sušenja.....	1.....3..4
6.3	Ocenjevanje veženja lesa po sušenju.....	1.....3..4
6.4	Kontrola notranjih napetosti.....	1.....3..4
6.5	Ocenjevanje enakomernosti sušenja lesa.....	1.....3..4
6.6	Skladiščenje posušenega lesa.....	1..2..3..4
6.7	Povratne informacije o napakah nastalih pri sušenju.....	1..2.....4

## 4 REZULTATI IN RAZPRAVA

Z izdelano metodologijo smo na podlagi ocenjevalnega lista ocenjevali pet naključno izbranih sušilnih komor v podjetju ESOL d.o.o. Z ocenjevanjem smo prišli do naslednjih rezultatov, ki smo jih razdelili v šest sistematskih sklopov. Posamezne ocene smo povzeli in podali skupno oceno posameznega sklopa.

### 4.1 REZULTATI

#### 4.1.1 Spremljanje materiala

Ocene glede spremljanja materiala so si podobne, saj se večina materiala skladišči na istem prostoru, pa tudi samo beleženje zalog materiala poteka na enak način pri vseh sušilnih komorah v podjetju (Preglednica 3). Vseeno pa smo iz rezultatov ocenjevanja in opazovanja zaznali razliko, saj se večjo pozornost posveča lesu hrasta kot pa smrekovini, bukovini ali lesu jelše in sapelija. Predvidevamo, da se hrastovini posveča več pozornosti zaradi daljšega in zahtevnejšega sušenja.

*Preglednica 3 - Ocene kakovosti pri spremljanju lesa pred izvajanjem sušilnega postopka.*

OZNAKA KOMORE	S1B	S4B	S1D	S4D	S5D	Povprečno
1.1 Zgodovina lesa pred sušenjem	4	3	4	4	3	3,6
1.2 Urejenost prostora za skladiščenje svežega lesa	3	4	4	4	3	3,6
1.3 Vizualno ocenjevanje kakovosti lesa pred sušenjem	3	3	4	3	3	3,2
1.4 Označevanje paketov (lesna vlažnost, datum začetka sušenja, položaj v sušilnici, datum konca sušenja)	3	3	4	4	4	3,6
<b>SKUPNA OCENA</b>	<b>3,3</b>	<b>3,3</b>	<b>4,0</b>	<b>3,8</b>	<b>3,3</b>	

#### 4.1.2 Distančne letve

V komori S1B so bile uporabljene aluminijaste letve, katerih prednost je, da ne povzročajo obarvanj. Uporabljajo jih za letvičenje lesa jelše, ki je še posebej občutljiv na obarvanja pri uporabi lesenih letev. Aluminijaste letve imajo manjšo površino naleganja na les in toliko ne zavirajo sušenja, da bi povzročilo obarvanje. Vendar pa so zaradi majhne togosti podvržene zvijanju med njihovo manipulacijo. Iz rezultatov lahko razberemo, da se večjo pozornost posveča letvičenju hrastovega lesa, kar je razumljivo, saj je njegovo sušenje zahtevno in dolgotrajno (Preglednica 4).



*Preglednica 4 - Ocene uporabljenih distančnih letev.*

OZNAKA KOMORE	S1B	S4B	S1D	S4D	S5D	Povprečno
2.1 Enakost debeline distančnih letev	4	1	3	3	1	2,4
2.2 Ravnost distančnih letev	1	2	4	4	3	2,8
2.3 Manjkajoče distančne letve	3	2	4	4	3	3,2
2.4 Razporeditev distančnih letev	1	1	4	1	2	1,8
2.5 Distančne letve na robu paketa	1	1	4	4	3	2,6
2.6 Enakost debeline podložnih letev (palet)	2	3	3	3	2	2,6
<b>SKUPNA OCENA</b>	<b>2,0</b>	<b>1,7</b>	<b>3,7</b>	<b>3,2</b>	<b>2,3</b>	

#### 4.1.3 Paketi in postavitve paketov v sušilno komoro

Tudi pri oblikovanju in postavitvi paketov v sušilno komoro se največ truda vloži v oblikovanje in postavitve paketov pri sušenju hrastovine. Nekaj slabša je ocena pri sušilni komori z oznako S4D, kar je vzrok različnih debelin lesa in s tem povezanim težjim polnjenjem komore. Slaba ocena komore S1B, kjer se suši les jelše in sapelija, je zaradi sušenja dveh različnih drevesnih vrst hkrati, medtem ko najslabšo oceno komor S4B in S5D pripisujemo večjim dimenzijam paketov (Preglednica 5).

*Preglednica 5 - Ocene postavitve paketov in njihova prizmatičnost.*

OZNAKA KOMORE	S1B	S4B	S1D	S4D	S5D	Povprečno
3.1 Paketi so pravokotne oblike na obeh koncih (poravnost s čela)	4	2	4	3	2	3,0
3.2 Elementi v paketu so s strani poravnani	2	1	2	3	1	1,8
3.3 Enakost debeline lesa v paketu	4	3	4	2	3	3,2
3.4 Homogenost lesa v sušilni komori	1	4	4	3	3	3,0
3.5 Postavitve paketov v sušilnici	4	4	4	3	4	3,8
3.6 Razmik med zložaji	3	2	3	3	3	2,8
3.7 Razvrščanje neenakomerno dolgih paketov	1	2	4	4	2	2,6
<b>SKUPNA OCENA</b>	<b>2,7</b>	<b>2,6</b>	<b>3,6</b>	<b>3,0</b>	<b>2,6</b>	

#### 4.1.4 Sušilna komora in sušilne naprave

Iz rezultatov ocenjevanja sušilne komore in njenih sestavnih delov (Preglednica 6) lahko vidimo, da se splošna kontrola delovanja naprav, kalibracija senzorjev, preverjanje hitrosti zraka ter delovanje ventilov tople vode izvaja približno enkrat letno v vseh petih izbranih komorah. Ocene o poškodbah komore, njeni čistoči, pojavu kondenzacije ter o delovanju loput in ventilatorjev kažejo v prid S1D in S4D, saj sta ti dve komori novejši od ostalih treh. To sta nam potrdili tudi oceni iz preverjanja in vzdrževanja ventilatorjev ter sistema za navlaževanje, katerih ocena je slabša pri S1D in S4D. Pri ocenjevanju vzdrževanja merilnih naprav so ocene povsod najvišje, nekoliko slabšo oceno dosegajo komore starejše izvedbe, saj se tu pogosteje pojavljajo odpovedi tipal za merjenje lesne vlažnosti. Skupna ocena je najvišja pri novejših komorah, zato tudi v njih sušijo zahtevnejši in debelejši les.

*Preglednica 6 - Ocene kakovosti sušilne komore.*

<b>OZNAKA KOMORE</b>	<b>S1B</b>	<b>S4B</b>	<b>S1D</b>	<b>S4D</b>	<b>S5D</b>	<b>Povprečno</b>
4.1 Splošna kontrola sušilnice: inštalacije, korozija, izolacija	2	2	2	2	2	2,0
4.2 Preverjanje delovanja naprav	2	2	2	2	2	2,0
4.3 Tesnost strehe	2	2	4	4	2	2,8
4.4 Preverjanje ustrezne izolativnosti sušilne komore	2	2	3	3	1	2,2
4.5 Kondenzirana voda v sušilnici	2	2	3	3	2	2,4
4.6 Kontrola tesnjenja vrat	1	1	4	4	3	2,6
4.7 Čiščenje poda sušilne komore	2	2	4	4	3	3,0
4.8 Kondenzat vode na tleh sušilnice	2	1	3	3	3	2,4
4.9 Kalibracija senzorjev za temperaturo	3	3	3	3	3	3,0
4.10 Pravilen položaj tipala za vlago zraka (psihrometra)	4	4	4	4	X	4,0
4.11 Menjavanje krpic vlažnega termometra	X	X	X	X	4	4,0
4.12 Dodajanje mehke vode v posodo z mokrim termometrom	X	X	X	X	4	4,0
4.13 Kontrola celuloznih lističev	4	4	4	4	X	4,0
4.14 Uporaba tipal za merjenje lesne vlažnosti	3	3	4	4	3	3,4
4.15 Oprema in ventilatorji se redno preverjajo	3	3	2	2	2	2,4
4.16 Ventilatorji potiskajo zrak v pravi smeri in so dobro podmazani	3	2	4	4	1	2,8
4.17 Redno preverjanje hitrosti zraka	3	3	3	3	3	3,0
4.18 Delovanje loput za dovod svežega zraka	3	3	4	4	4	3,6
4.19 Čistoča grelnih teles	3	3	4	4	4	3,6
4.20 Vzdrževanje sistema za navlaževanje	4	4	3	3	3	3,4
4.21 Preverjanje regulacijskih ventilov za dovajanje tople vode	3	3	3	3	3	3,0
4.22 Delovanje ventilov tople vode	2	2	4	4	4	3,2
<b>SKUPNA OCENA</b>	<b>2,7</b>	<b>2,6</b>	<b>3,4</b>	<b>3,4</b>	<b>2,8</b>	

#### 4.1.5 Določanje in zapisovanje sušilnih parametrov

Uporabe kontrolnih vzorcev za spremljanje vlažnosti lesa in hitrosti sušenja se v izbranem podjetju ne poslužujejo. Vizualno preverjanje kakovosti lesa med sušenjem se v vseh komorah izvaja občasno, nekoliko več pozornosti se posveča lesu v komori S4D, saj se v njej suši hrastovina dveh različnih debelin. Glede evidence podatkov je boljši rezultat pri S1D in S4D (novejši komori), kar omogoča boljši oziroma naprednejši informacijski sistem kot pri komorah starejše izvedbe (Preglednica 7).

*Preglednica 7 - Ocene evidentiranja in spremljanja sušilnih parametrov.*

<b>OZNAKA KOMORE</b>	<b>S1B</b>	<b>S2B</b>	<b>S1D</b>	<b>S4D</b>	<b>S5D</b>	<b>Povprečno</b>
5.1 Evidenca podatkov o poteku sušenja	2	2	4	4	2	2,8
5.2 Vizualno ocenjevanje kakovosti lesa med sušenjem	3	3	3	4	3	3,2
5.3 Uporaba kontrolnih vzorcev za spremljanje vlažnosti	1	1	1	1	1	1,0
5.4 Uporaba kontrolnih vzorcev za sledenje hitrosti sušenja	1	1	1	1	1	1,0
5.5 Pravilna izbira sledilnih vzorcev	3	2	4	4	2	3,0
<b>SKUPNA OCENA</b>	<b>2,0</b>	<b>1,8</b>	<b>2,6</b>	<b>2,8</b>	<b>1,8</b>	

**4.1.6 Kontrola kakovosti sušenja lesa**

Iz rezultatov vidimo, da se večjo kontrolo kakovosti izvaja pri sušenju listavcev, saj je njihovo sušenje zahtevnejše in prinaša več napak (Preglednica 8). Slaba ocena pri kontroli notranjih napetosti je posledica tega, da se vilični test v nobenem primeru ne izvaja. Povratne informacije o napakah sušenja listavcev so večje, saj se les listavcev uporablja za izdelavo lepljenih plošč, medtem ko se smreka uporablja za izdelavo karoserijskih elementov, katerih dimenzije so manjše ter so sami elementi v končnem izdelku nevidni.

*Preglednica 8 - Ocene kakovosti pri spremljanju lesa po končanem tehničnem sušenju.*

<b>OZNAKA KOMORE</b>	<b>S1B</b>	<b>S4B</b>	<b>S1D</b>	<b>S4D</b>	<b>S5D</b>	<b>Povprečno</b>
6.1 Pogostost izvajanja kontrole kakovosti lesa	3	2	3	3	1	2,4
6.2 Pregledovanje razpok na lesu pred začetkom in/ali na koncu sušenja	3	3	3	3	1	2,6
6.3 Ocenjevanje veženja lesa po sušenju	3	3	3	3	3	3,0
6.4 Kontrola notranjih napetosti	1	1	1	1	1	1,0
6.5 Ocenjevanje enakomernosti sušenja lesa	3	3	3	3	3	3,0
6.6 Skladiščenje posušenega lesa	3	3	4	4	3	3,4
6.7 Povratne informacije o napakah nastalih pri sušenju	4	4	4	4	2	3,6
<b>SKUPNA OCENA</b>	<b>2,9</b>	<b>2,7</b>	<b>3,0</b>	<b>3,0</b>	<b>2,0</b>	

**4.2 ANALIZA REZULTATOV IN RAZPRAVA**

Na podlagi pridobljenih rezultatov (Preglednica 9) smo zaznali kritične točke pri procesu tehnologije sušenja lesa v izbranem podjetju, jih analizirali in podali predloge za izboljšavo celotnega sušilnega procesa. S tem smo skušali izboljšati kakovost posušenega materiala, organizacijo dela in ekonomski učinek podjetja.

*Preglednica 9 - Ocene kakovosti posameznih sklopov za posamezne komore.*

<b>OZNAKA KOMORE</b>	<b>S1B</b>	<b>S4B</b>	<b>S1D</b>	<b>S4D</b>	<b>S5D</b>
<i>Ocena kakovosti pri spremljanju lesa pred izvajanjem sušilnega postopka</i>	<b>3,3</b>	<b>3,3</b>	<b>4,0</b>	<b>3,8</b>	<b>3,3</b>
<i>Ocena uporabljenih distančnih letvic</i>	<b>2,0</b>	<b>1,7</b>	<b>3,7</b>	<b>3,2</b>	<b>2,3</b>
<i>Ocena postavitve paketov in njihova prizmatičnost</i>	<b>2,7</b>	<b>2,6</b>	<b>3,6</b>	<b>3,0</b>	<b>2,6</b>
<i>Ocena kakovosti sušilne komore</i>	<b>2,7</b>	<b>2,6</b>	<b>3,4</b>	<b>3,4</b>	<b>2,8</b>
<i>Ocena evidentiranja in spremljanja sušilnih parametrov</i>	<b>2,0</b>	<b>1,8</b>	<b>2,6</b>	<b>2,8</b>	<b>1,8</b>
<i>Ocena kakovosti pri spremljanju lesa po končanem tehničnem sušenju</i>	<b>2,9</b>	<b>2,7</b>	<b>3,0</b>	<b>3,0</b>	<b>2,0</b>

Glede samega poznavanja izvora materiala, njegovega skladiščenja, ocenjevanja kakovosti in evidentiranja v podjetju nimajo težav. Kljub temu bi lahko izboljšali samo evidentiranje žaganega lesa smreke in bukovine z bolj podrobnimi zapisi in etiketami na zložajih. Urejenost prostorov skladišča svežega lesa bi lahko izboljšali s postavitvijo dodatnih nadstrešnic, tako da bi bil ves les bolj pregledno skladiščen in lažje dostopen, s tem pa bi tudi pripomogli k lažjemu in bolj vestnemu izvajanju kontrole kakovosti svežega lesa. Poleg tega bi bil tako skladiščen les podvržen predhodno naravnemu sušenju in bi za tehnično sušenje porabili manj časa in energije.

Pri letvičenju največ pozornosti posvečajo težko sušečim vrstam, npr. hrastovini. V komorah s hrastovim lesom so bile letvice pretežno enakih debelin, niso bile zvite in so bile vertikalno poravnane, skratka zložaji so bili pravilno letvičeni. Nekaj odstopanj smo zaznali le pri podložnih letvah, ki so bile različnih debelin, vzrok temu pripisujemo polnitvi komore s hrastovino različnih dobaviteljev. V komori z jelševino so bile uporabljene aluminijaste letve, katerih prednost je, da imajo manjšo stično površino in ne reagirajo z lesom ter tako ne povzročajo letvične progavosti. Težavo smo zaznali pri vertikalni poravnanosti letev, saj se tu ni posvečalo nobene pozornosti in tudi letve so bile zaradi mehanskih poškodb zvite. Predvidevamo, da bo posledica tako slabega letvičenja povečano veženje lesa med procesom sušenja. Stanje se da izboljšati na cenovno ugoden način, saj je potrebno v prihodnje poravnati sorazmerno mehke aluminijaste letve ter posvetiti večjo pozornost vertikalni poravnanosti letev, ki pa bo lažje dosegljiva z ravnimi letvami. Slabšo oceno sta dobili tudi komori z bukovimi in smrekovimi deskami. Kot napako letvičenja tu ocenjujemo neenakomerno debelino letvic in slabo vertikalno poravnanost. Predlagamo, da se pri letvičenju obrača letvice tako, da so vedno enake debeline ali pa se neustrezne izloči ter jih polaga eno nad drugo, da se doseže vertikalna poravnanost letev v zložaju.

Ocene iz sklopa oblikovanja zložajev in polnitve sušilne komore so najslabše pri komorah v katerih so sušili bukove in smrekove deske. Tukaj je potrebno vložiti več truda v

oblikovanje zložajev, tako da so deske s strani in čela poravnane, prav tako ti paketi tudi niso bili pravilno letvičeni, zato bi bilo potrebno delavce, ki jih pripravljajo seznaniti s pravili o formiranju zložajev. Posledica dolgih in neprizmatičnih zložajev je tudi nezadosten razmik med zložaji in pojavljanje praznin v sušilni komori. V komori S1B so sušili dve različni drevesni vrsti različnih debelin in sicer jelševino debeline 32 mm in les sapelija debeline 50 mm, zato je zaradi nehomogenosti lesa v komori tudi najslabša ocena. Predvidevamo, da je to posledica tega, da podjetje ni imelo dovolj lesa jelše ali sapelija za zapolnitev celotne komore, saj je bila napolnjenost komore manj kot polovična.

Sušilne komore z oznako S1B, S4B in S5D so starejših izvedb, zato so dobljene ocene s področja kontrole sušilnih komor in njenih sestavnih delov nižje. Zaradi slabših pogojev sušenja jih podjetje uporablja predvsem za sušenje manj zahtevnega lesa ali pa lesa slabše kakovosti. Za izboljšanje kakovosti sušenja bi bilo potrebno komore prenoviti, saj smo zaznali puščanje strehe, konstrukcijske poškodbe nastale pri polnjenju oziroma praznjenju komor. Poškodbe izolacije in slaba tesnost polnilnih vrat povzročajo toplotne mostove in s tem kondenzacijske lise ter povečujejo toplotne izgube. Veliko pozornosti posvečajo vzdrževanju merilnih naprav, saj lahko le s pravilnimi meritvami uspešno prilagajajo ostrino sušenja. Vedno uporabljajo vse sonde za merjenje vlažnosti lesa, s tem, da v starejših komorah pogosto odpovedujejo. Zato bi bilo potrebno v teh komorah podrobneje preverjati delovanje sond in njihovo povezavo s kontrolno omaro, ter sporne sonde zamenjati še pred začetkom sušenja. Vseeno pa bi omenili tudi preverjanje hitrosti zraka, za katero bi bilo bolje, da bi jo preverjali pogosteje in ne samo v primeru pojava problema. Preverjanje delovanja opreme sušilne komore se pogosteje izvaja v starejših komorah, saj je možnost pojava slabšega delovanja ali odpovedi večja kot pri novejših komorah. V sušilni komori S5D se ne preverja delovanja ventilatorjev, razen v primeru okvare. Če se okvara ventilatorja pojavi med sušenjem, bo potrebno sušilnico sprazniti ali pa sušiti brez pokvarjenega ventilatorja, saj so pri polni sušilnici ventilatorji težko dostopni.

Evidentiranje podatkov pri starejših sušilnih komorah ni popolno in podatki so težko dostopni, kar je težavno pri odkrivanju napak po določenem času. Na daljši rok bi podjetje lahko razmislilo o posodobitvi informacijskega sistema za ta sklop sušilnih komor ter si tako olajšalo odkrivanje in saniranje napak, nastalih zaradi neustreznega režima sušenja. Z informacijskim sistemom, ki je nameščen za vodenje sušenja v novejših sušilnih komorah bi lažje dostopali do zgodovine sušilnih parametrov. V tem sklopu ocenjevanja smo najslabšo oceno pripisali uporabi kontrolnih vzorcev za spremljanje hitrosti in vlažnosti sušenja, saj se v podjetju ne uporabljajo. Z uporabo kontrolnih vzorcev bi bolj natančno in kakovostno lahko spremljali sušilni postopek in v primeru pojava napak hitreje prilagodili ostrino sušenja. Sledilni vzorci so bili vestno izbrani, predvsem v sušilnih komorah S1D in S4D, kjer so sušili hrastove elemente. Slabšo oceno so zopet dobile starejše komore, v katerih so bile ravno tako ampak slabše nameščene vse razpoložljive sonde, vendar so med sušenjem nekatere odpovedale oziroma prikazovale nerealne podatke.

Natančnejša kontrola kakovosti se izvaja pri sušenju lesa listavcev, kar je razumljivo, saj je možnost pojava napak tu precej večja, kot v primeru sušenja smrekovine. Kljub nezahtevnemu sušenju smrekovine priporočamo vizualno izvajanje kontrole kakovosti po končanem sušenju in njeno evidentiranje. Poznavanje kakovosti lesa bi bilo v veliko pomoč pri nadaljnji mehanski obdelavi, kjer bi že pred prihodom surovine v proizvodnjo

vedeli kako kvalitetno surovino bodo imeli na razpolago. Evidentiranje kakovosti bi pripomoglo k odpravljanju napak sušenja v nadaljnjih šaržah. Kontrole notranjih sušilnih napetosti z uporabo viličnega testa se v nobenem primeru ne izvaja, zato smo tu podali najslabšo oceno. Uporabo viličnega testa priporočamo vsaj v primeru sušenja nove drevesne vrste ali kadar spreminjamo že ustaljen režim sušenja.

## 5 SKLEPI

Z izdelano metodo vizualnega ocenjevanja kakovosti celotne tehnologije sušenja smo dobili rezultate, ki nam povedo, da je za kakovost posušenega lesa potrebno nadzirati in kontrolirati celoten proces tehnologije sušenja. Torej od dobave lesa na skladišče svežega materiala do pravilnega skladiščenja suhega lesa pred mehansko obdelavo. Predstavljeni tok blaga od lesnopredelovalnega podjetja zahteva veliko količino porabljenega časa, veliko vezavo denarnih sredstev, ogromno razpoložljivega prostora za manipulacijo z materialom in veliko porabo energije. Zahtevana kakovost lesa, ki jo potrebuje nadaljnja mehanska obdelava, je zato odvisna od mnogo dejavnikov tehnologije sušenja, ki vsak posamezno in v celoti vplivajo na ekonomiko podjetja. Za zaznavanje teh dejavnikov smo s pripravljeno metodo ovrednotili in zaznali kritične točke pri procesu tehnologije sušenja lesa v podjetju ESOL d.o.o. Iz ocen, pridobljenih z metodo, smo izračunali povprečno oceno za posamezno postavko ocenjevanja ter prišli do kritičnih točk.

Distančne letvice v zložajih niso vertikalno poravnane, odstopanje debelin med njimi je preveliko. Več truda je potrebno vložiti v pripravo prizmatičnih paketov in njihovi postavitvi v sušilno komoro. Oprema za izvajanje in spremljanje tehničnega sušenja postaja vse bolj učinkovita in izpopolnjena, kljub temu podjetju predstavlja težavo njeno vzdrževanje in preverjanje delovanja vgrajenih naprav. Predvsem pri starejših izvedbah sušilnih komor bi bila potrebna celovita prenova. Z dodatnim izobraževanjem sušilničarjev bi lahko uvedli uporabo sledilnih vzorcev za spremljanje vlažnosti lesa in hitrosti sušenja ter uporabo viličnega testa za preverjanje notranjih napetosti.

Med kratkoročne cilje za izboljšanje kakovosti sušenja lahko podjetju predlagamo pravilno uporaba distančnih letvic in oblikovanje zložajev ter vzdrževanje in pregledovanje sušilnih komor ter njenih sestavnih delov. Dolgoročno predlagamo prenovo starejših sušilnih komor ter njenih informacijskih sistemov in izobraževanje sušilnega kadra. Predvidevamo, da bi podjetje z odpravo najdenih kritičnih točk izboljšalo kakovost posušenega lesa, dodatno optimiziralo tehnologijo sušenja in izboljšalo ekonomski položaj.

Variabilnost lesa je velika in narekuje specifične pogoje sušenja, ki se lahko bistveno razlikujejo od primera do primera. Vsaka sušilna komora in material v njej zahteva tako rekoč individualni pristop. Izdelana metodologija je zato mišljena le kot vodilo oziroma pomoč pri vodenju tehnologije sušenja lesa, ki pa se jo lahko prilagodi glede na lastne potrebe in razmere. Prepričani smo, da bi izdelana metodologija prispevala k izboljšanju kakovosti tehnično posušenega lesa in si želimo, da bi zaživela v praksi.

## 6 VIRI

- Boone R.S., Milota M.R., Danielson J.D., Huber D.W. 1991. Quality Drying of Hardwood Lumber: Guidebook and Checklist. Madison, U. S. Department of Agriculture: 50 str.
- Chafe S.C. 1990. Effect of brief pre-steaming on shrinkage, collapse and other wood-water relations in *Eucalyptus regnans* F. Muell. Wood Science and Tehnology, 24, 4: 311-326.
- Čufar K. Anatomija lesa. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 168 str.
- Geršak M., Medjugorac N., Velušček V. 1998. Sušenje lesa. 5. izd. Ljubljana, Lesarska založba: 153 str.
- Geršak M., Velušček V. 2003. Sušenje lesa. 1. izd. Ljubljana, Lesarska založba: 194 str.
- Gorišek Ž., Geršak M., Velušček V., Čop T., Mrak C. 1994. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska založba: 235 str.
- Gorišek Ž. 1997. Ocenjevanje kakovosti sušenja lesa. Les, 49, 5: 138-141.
- Gorišek Ž. 1994. Točka nasičenja celičnih sten kot kritična točka v procesu sušenja. Les, 46, 3: 53-58.
- Gorišek Ž. 1993. Problematika obarvanja v procesu sušenja. Les, 47, 7-8: 53-58.
- Koderman V. 1996. Ugotavljanje sušilnih napetosti v lesu. Les, 48, 3: 68.
- Kolin B. 2000. Hidrotermička obrada drveta. Beograd, Jugoslavijapublik: 238 str.
- Novak M. 2008. Sušenje lesa. Maribor, Lesarska šola Maribor: 132 str.
- Obronek F. 2010. Energijska učinkovitost sušilnega postopka v različnih tehnologijah predelave žaganega lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 60 str.
- Pervan S. 2000. Priručnik za tehničko sušenje drva. Zagreb, SAND: 260 str.
- Simpson W. T. (ur.). 1991. Dry Kiln Operator's Manual. Wisconsin, United States Department of Agriculture : 273 str.
- SIST EN 14298. Sawn timber. Assessment od drying quality, 2004.
- SIST EN 144 64. Schnittholz – Verfahren zur Ermittlung der Verschalung, 2003.



- Straže A., Gorišek Ž. 2001. Influence of drying parameters on discolouration in ash-wood (*Fraxinus excelsior* L.). Proceedings of the Fifth International Conference on the Development of Wood Science, Wood Technology and Forestry. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 273-280.
- Straže A. 2005. Tehnično sušenje lesa – stanje, dileme in razvojne smernice. Lesarski utrip, 11, 6: 31.
- Trübswetter T. 2006. Holz Trocknung, Verfahren zur Trocknung von Schnittholz - Planung von Trocknungsanlagen. Dunaj, Carl Hanser Verlag: 204 str.
- Vermaas H.F., Steyn W.H., Viljoen J.P.S. 1993. Optimal Drying of Lumber using a Discrete, on-line mathematical model. *Holzforschung und Holzverwertung*, 45, 1: 12-15.
- Viljoen J.P.S., Vermaas H.F., Welling J. 1995. A systematic approach to kiln drying: Proposal to improve final Lumber Quality and minimize drying time. *Holzforschung und Holzverwertung*, 47, 5: 90-93.
- Vodopivec B. 1998. Ocenjevanje sušenja z vidika postopka in kakovosti lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 66 str.
- Welling J. 1993. Spezifikation und Überprüfung der Trocknungsqualität von Schnittholz. *Die Holzbearbeitung*, 40, 11: 56-62.
- Welling J. 1994. EDG-Recommendation. Assessment of Drying Quality of Timber. Hamburg, Commission of European Communities: 28 str.
- Welling J. 1995. Die EDG-Richtlinie »Trocknungsqualität«- Ein neues Werkzeug für die europäische Holzwirtschaft. *Holz-Zentralblatt*, 121, 2/3: 21-23.

## **ZAHVALA**

Iskreno se zahvaljujem prof. dr. Željku Gorišku za njegovo mentorstvo, vso strokovno pomoč, potrpežljivost in čas, ki mi ga je posvetil pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi recenzentu doc. dr. Alešu Stražetu in g. Ivanu Laknerju za pomoč in predstavitev podjetja ESOL d.o.o.

Ob tej priložnosti bi se rad zahvalil svojim staršema, ki sta mi omogočila študij ter me z vsem potrpljenjem in ljubeznijo podpirala ter Nataši za njeno potrpežljivost in moralno podporo pri izdelavi diplomskega dela.

## **PRILOGE**

Priloga A-1: Tehnične značilnosti sušilne komore S1B.

Priloga A-2: Tehnične značilnosti sušilne komore S4B.

Priloga A-3: Tehnične značilnosti sušilne komore S1D.

Priloga A-4: Tehnične značilnosti sušilne komore S4D.

Priloga A-5: Tehnične značilnosti sušilne komore S5D.

**Priloga A-1: Tehnične značilnosti sušilne komore S1B.**

Oznaka komore	S1B	
Vrsta lesa	JELŠA, SAPELI	
Debelina lesa	Jelša 32 mm, sapeli 50mm	
Vhodna vlažnost	40 %	
Končna vlažnost	8 %	
Dimenzije komore - zunanje:	višina	4,1 m
	širina	9,6 m
	globina	8,9 m
Koristne notranje dimenzije:	višina	3,9 m
	širina	9,2 m
	globina	6,5 m
Zložaj	dolžina	250-2500 mm
	širina	1100 mm
	višina	1100-1200 mm
Število zložajev	33	
Volumen komore - bruto	350 m <sup>3</sup>	
Kapaciteta sušilnice - zapolnjenost	30 m <sup>3</sup>	
Nazivna kapaciteta sušilnice	60-100 m <sup>3</sup>	
Debelina distančnih letev	25 mm	
Način polnjenja sušilnice	FRONTALNO S ČELNIM VILIČARJEM	
Izvedba sušilnice	KONVENCIONALNA KONVEKCIJSKA	
Izvedba konstrukcije	ALJUMINIASTA	
Izolacija	STEKLENA VOLNA 12 cm	
Usmerjevalci kroženja zraka	PRED VENTILATORI	
Izvedba vrat	HARMONIKA VRATA 2-3 PREKLOPNA	
Namestitev zračnikov za izmenjavo zraka	Iz AL LITINE NA STREHI	
Sistem odpiranja loput za izmenjavo zraka	EL. MOTORNI ZVEZNI POGON 0-100 %	
Sistem rekuperacije toplote	NI VGRAJEN	
Način vodenja sušenja	KRMILJENJE Z MIKROPROCESORJEM LEO 3000 I-DRY	
Meritev klimatskih razmer	UGL	
Meritev lesne vlažnosti	UPOROVNO 6 SOND	
Medij ogrevanja	TOPLA VODA 80-60 °C	
Toplotni izmenjevalec	BAKRENI GRELCI Z AL SPIRALO	
Izvedba toplotnih izmenjevalcev	IZ NERJAVEČIH CEVI	
Instalirana toplotna energija	540 KW	
Medij vlaženja	HLADNA MEHKA VODA 3,5-5 bar	
Izvedba vlaženja	RAZPRŠILNE ŠOBE	
Namestitev sistema navlaževanja	NA ZADNJI STENI POD GRELCI	
Komandna omara z električno instalacijo	IZDELANA PO CE NORMATIVIH	
Izvedba ventilatorjev	REVERZIBILNI AKSIALNI	
Število in moč elektromotorjev	6 x 4 KW, premera 800 mm	
Regulacija vrtljajev	FIKSNA 1400 min <sup>-1</sup>	
Namestitev ventilatorjev	STROPNI VENTILATORJI	
Instalirana električna – energija	26 KW	

**Priloga A-2: Tehnične značilnosti sušilne komore S4B.**

Oznaka komore	S4B	
Vrsta lesa	BUKEV	
Debelina lesa	25 mm	
Vhodna vlažnost	30 %	
Končna vlažnost	8 %	
Dimenzije komore - zunanje:	višina	4,1 m
	širina	9,6 m
	globina	8,9 m
Koristne notranje dimenzije:	višina	3,9 m
	širina	9,2 m
	globina	6,5 m
Zložaj	dolžina	3000-4000 mm
	širina	1100 mm
	višina	1100-1200 mm
Število zložajev	37	
Volumen komore - bruto	350 m <sup>3</sup>	
Kapaciteta sušilnice - zapolnjenost	47 m <sup>3</sup>	
Nazivna kapaciteta sušilnice	60-100 m <sup>3</sup>	
Debelina distančnih letev	25 mm	
Način polnjenja sušilnice	FRONTALNO S ČELNIM VILIČARJEM	
Izvedba sušilnice	KONVENCIONALNA KONVEKCIJSKA	
Izvedba konstrukcije	ALJUMINIASTA	
Izolacija	STEKLENA VOLNA 12 cm	
Usmerjevalci kroženja zraka	PRED VENTILATORI	
Izvedba vrat	HARMONIKA VRATA 2-3 PREKLOPNA	
Namestitev zračnikov za izmenjavo zraka	Iz AL LITINE NA STREHI	
Sistem odpiranja loput za izmenjavo zraka	EL. MOTORNI ZVEZNI POGON 0-100%	
Sistem rekuperacije toplote	NI VGRAJEN	
Način vodenja sušenja	KRMILJENJE Z MIKROPROCESORJEM LEO 3000 I-DRY	
Meritev klimatskih razmer	UGL	
Meritev lesne vlažnosti	UPOROVNO 6 SOND	
Medij ogrevanja	TOPLA VODA 80-60 °C	
Toplotni izmenjevalec	BAKRENI GRELCI Z AL SPIRALO	
Izvedba toplotnih izmenjevalcev	IZ NERJAVEČIH CEVI	
Instalirana toplotna energija	540 KW	
Medij vlaženja	HLADNA MEHKA VODA 3,5-5 bar	
Izvedba vlaženja	RAZPRŠILNE ŠOBE	
Namestitev sistema navlaževanja	NA ZADNJI STENI POD GRELCI	
Komandna omara z električno instalacijo	IZDELANA PO CE NORMATIVIH	
Izvedba ventilatorjev	REVERZIBILNI AKSIALNI	
Število in moč elektromotorjev	6 x 4 KW, premera 800 mm	
Regulacija vrtljajev	FIKSNA 1400 min <sup>-1</sup>	
Namestitev ventilatorjev	STROPNI VENTILATORJI	
Instalirana električna – energija	26 KW	

**Priloga A-3: Tehnične značilnosti sušilne komore S1D.**

Oznaka komore	S1D	
Vrsta lesa	HRAST	
Debelina lesa	50 mm	
Vhodna vlažnost	40 %	
Končna vlažnost	8 %	
Dimenzije komore - zunanje:	višina	4,1 m
	širina	13,2 m
	globina	8,9 m
Koristne notranje dimenzije:	višina	3,9 m
	širina	12,8 m
	globina	6,5 m
Zložaj	dolžina	250 - 600 mm
	širina	1100 mm
	višina	1100-1200 mm
Število zložajev	133	
Volumen komore - bruto	480 m <sup>3</sup>	
Kapaciteta sušilnice - zapolnjenost	100 m <sup>3</sup>	
Nazivna kapaciteta sušilnice	90-130 m <sup>3</sup>	
Debelina distančnih letev	25 mm	
Način polnjenja sušilnice	FRONTALNO S ČELNIM VILIČARJEM	
Izvedba sušilnice	KONVENCIONALNA KONVEKCIJSKA	
Izvedba konstrukcije	ALJUMINIJASTA	
Izolacija	STEKLENA VOLNA 14 cm	
Usmerjevalci kroženja zraka	TUBOLARNI SISTEM-VENTURI PRINCIP	
Izvedba vrat	DVIŽNO-ODVOZNA VRATA 13,3x4,2 m	
Namestitev zračnikov za izmenjavo zraka	Iz AL LITINE NA STREHI	
Sistem odpiranja loput za izmenjavo zraka	EL. MOTORNI ZVEZNI POGON 0-100%	
Sistem rekuperacije toplote	NI VGRAJEN	
Način vodenja sušenja	KRMILJENJE Z MIKROPROCESORJEM LEO 3000 I-DRY	
Meritev klimatskih razmer	UGL	
Meritev lesne vlažnosti	UPOROVNO 6 SOND	
Medij ogrevanja	TOPLA VODA 80-60 °C	
Toplotni izmenjevalec	BAKRENI GRELCI AL SPIRALO	
Izvedba toplotnih izmenjevalcev	IZ NERJAVEČIH CEVI	
Instalirana toplotna energija	815 KW	
Medij vlaženja	HLADNA MEHKA VODA 3,5-5 bar	
Izvedba vlaženja	RAZPRŠILNE ŠOBE	
Namestitev sistema navlaževanja	NA ZADNJI STENI POD GRELCI	
Komandna omara z električno instalacijo	NARJENA PO CE NORMATIVIH	
Izvedba ventilatorjev	REVERZIBILNI AKSIALNI	
Število in moč elektromotorjev	9 x 4 KW, premera 800 mm	
Regulacija vrtljajev	FREK. PRETVORNIK 800-1400 min <sup>-1</sup>	
Namestitev ventilatorjev	STROPNI VENTILATORJI	
Instalirana električna – energija	38 KW	

**Priloga A-4: Tehnične značilnosti sušilne komore S4D.**

Oznaka komore	S4D	
Vrsta lesa	HRAST	
Debelina lesa	38, 50 mm	
Vhodna vlažnost	50 %	
Končna vlažnost	8 %	
Dimenzije komore - zunanje:	višina	4,1 m
	širina	9,6 m
	globina	8,9 m
Koristne notranje dimenzije:	višina	3,9 m
	širina	9,2 m
	globina	6,5 m
Zložaj	dolžina	250 - 600 mm
	širina	1100 mm
	višina	1100-1200 mm
Število zložajev	94	
Volumen komore - bruto	350 m <sup>3</sup>	
Kapaciteta sušilnice - zapolnjenost	70 m <sup>3</sup>	
Nazivna kapaciteta sušilnice	60-100 m <sup>3</sup>	
Debelina distančnih letev	25 mm	
Način polnjenja sušilnice	FRONTALNO S ČELNIM VILIČARJEM	
Izvedba sušilnice	KONVENCIONALNA KONVEKCIJSKA	
Izvedba konstrukcije	ALJUMINIASTA	
Izolacija	STEKLENA VOLNA 14 cm	
Usmerjevalci kroženja zraka	TUBOLARNI SISTEM-VENTURI PRINCIP	
Izvedba vrat	DVIŽNO-ODVOZNA VRATA 9,7x4,2 m	
Namestitev zračnikov za izmenjavo zraka	Iz AL LITINE NA STREHI	
Sistem odpiranja loput za izmenjavo zraka	EL. MOTORNI ZVEZNI POGON 0-100%	
Sistem rekuperacije toplote	NI VGRAJEN	
Način vodenja sušenja	KRMILJENJE Z MIKROPROCESORJEM LEO 3000 I-DRY	
Meritev klimatskih razmer	UGL	
Meritev lesne vlažnosti	UPOROVNO 6 SOND	
Medij ogrevanja	TOPLA VODA 80-60 °C	
Toplotni izmenjevalec	BAKRENI GRELCI AL SPIRALO	
Izvedba toplotnih izmenjevalcev	IZ NERJAVEČIH CEVI	
Instalirana toplotna energija	540 KW	
Medij vlaženja	HLADNA MEHKA VODA 3,5-5 bar	
Izvedba vlaženja	RAZPRŠILNE ŠOBE	
Namestitev sistema navlaževanja	NA ZADNJI STENI POD GRELCI	
Komandna omara z električno instalacijo	IZDELANA PO CE NORMATIVIH	
Izvedba ventilatorjev	REVERZIBILNI AKSIALNI	
Število in moč elektromotorjev	6 x 4 KW, premera 800 mm	
Regulacija vrtljajev	FREK. PRETVORNIK 800-1400 min <sup>-1</sup>	
Namestitev ventilatorjev	STROPNI VENTILATORJI	
Instalirana električna – energija	26 KW	

**Priloga A-5: Tehnične značilnosti sušilne komore S5D.**

Oznaka komore	S5D	
Vrsta lesa	SMREKA	
Debelina lesa	25, 30 mm	
Vhodna vlažnost	30 %	
Končna vlažnost	8 %	
Dimenzije komore - zunanje:	višina	4 m
	širina	9,6 m
	globina	9 m
Koristne notranje dimenzije:	višina	3,8 m
	širina	9 m
	globina	6,5 m
Zložaj	dolžina	3000 - 5000 mm
	širina	1100 mm
	višina	1100-1200 mm
Število zložajev	31	
Volumen komore - bruto	345 m <sup>3</sup>	
Kapaciteta sušilnice - zapolnjenost	46,201 m <sup>3</sup>	
Nazivna kapaciteta sušilnice	60-100 m <sup>3</sup>	
Debelina distančnih letev	25 mm	
Način polnjenja sušilnice	FRONTALNO S ČELNIM VILIČARJEM	
Izvedba sušilnice	KONVENCIONALNA KONVEKCIJSKA	
Izvedba konstrukcije	ALJUMINIASTA	
Izolacija	STEKLENA VOLNA 10 cm	
Usmerjevalci kroženja zraka	ZA OBLJEN VMESNI STROP	
Izvedba vrat	HARMONIKA 2-3 PREKLOPNA	
Namestitev zračnikov za izmenjavo zraka	NA ČELNI IN ZADNJI STRANI	
Sistem odpiranja loput za izmenjavo zraka	EL. MOTORNI ZVEZNI POGON 0-100%	
Sistem rekuperacije toplote	NI VGRAJEN	
Način vodenja sušenja	KRMILNIK TEPRO	
Meritev klimatskih razmer	PSIHROMETER	
Meritev lesne vlažnosti	UPOROVNO 6 SOND	
Medij ogrevanja	TOPLA VODA 80-60 °C	
Toplotni izmenjevalec	BAKRENI GRELCI Z AL SPIRALO	
Izvedba toplotnih izmenjevalcev	IZ NERJAVEČIH CEVI	
Instalirana toplotna energija	450 KW	
Medij vlaženja	HLADNA MEHKA VODA 3,5-5 bar	
Izvedba vlaženja	RAZPRŠILNE ŠOBE	
Namestitev sistema navlaževanja	NA ZADNJI STENI POD GRELCI	
Komandna omara z električno instalacijo	IZDELANA PO CE NORMATIVIH	
Izvedba ventilatorjev	REVERZIBILNI AKSIALNI	
Število in moč elektromotorjev	6 x 3 KW, premera mm	
Regulacija vrtljajev	FIKSNA 1400 min <sup>-1</sup>	
Namestitev ventilatorjev	STROPNI VENTILATORJI	
Instalirana električna – energija	20 KW	