

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Peter POLČNIK

**IZKORISTEK KONVEKCIJSKEGA KOMORSKEGA
SUŠENJA BUKOVINE**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Peter POLČNIK

**IZKORISTEK KONVEKCIJSKEGA KOMORSKEGA SUŠENJA
BUKOVINE**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

UTILIZATION RATE OF BEECH AT CONVECTIVE KILN DRYING

B. SC. THESIS

Professional Study Programmes

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija Tehnologije lesa in vlaknatih kompozitov – 1. stopnja. Delo je bilo opravljeno na Katedri za tehnologijo lesa Oddelka za lesarstvo, kjer so bili izdelani preizkušanci in opravljene meritve.

Senat Oddelka je za mentorja diplomskega dela imenoval doc. dr. Aleša Stražeta, za somentorico doc. dr. Dominiko Gornik Bučar in za recenzenta prof. dr. Željka Goriška.

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 neodplačano, 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.

Peter Polčnik

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*847
KG	les/bukovina/konvekcijsko komorsko sušenje/napake pri sušenju/izkoristek
AV	POLČNIK, Peter
SA	STRAŽE, Aleš (mentor)/GORNIK BUČAR, Dominika (somentorica)/ GORIŠEK, Željko (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina C. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2016
IN	IZKORISTEK KONVEKCIJSKEGA KOMORSKEGA SUŠENJA BUKOVINE
TD	Diplomski projekt (visokošolski strokovni študij-1. stopnja)
OP	IX, 39 str., 27 sl., 5 pregl., 15 vir.
IJ	Sl
Jl	sl/en
AI	Ocenjevali smo kakovost bukovega žaganega lesa pred in po normalno-temperaturnem konvekcijskem komorskem sušenju. Pri sveže žaganih deskah smo izmerili dimenzije ter določili število in velikost površinskih razpok, poklin in poklin na grčah. Deskam smo določili še orientacijo in potek vlaken ter določili delež obarvanega rdečega srca. Po navedenih kriterijih smo deske razvrstili po kakovosti glede na direktivo Evropskega združenja za žagarsko industrijo. Po 15-dnevnem standardnem industrijskem sušilnem postopku ($T_{maks} = 38\text{ °C}$) do končne 18 % lesne vlažnosti smo meritve kakovosti ponovili. Ugotovili smo, da se delež uporabne površine pri nižji kakovosti žaganega lesa občutno bolj zmanjša, kot pri žaganem lesu višje kakovosti. K nastalim razlikam so največ prispevale površinske razpoke in pokline, zlasti ob grčah, nastale med sušilnim postopkom. Po sušenju smo 8 % in 15 % desk iz kakovostnih razredov A in B morali razvrstiti v najnižji kakovostni razred C.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Vs

DC UDC 630*847

CX wood/beechn/convective kiln drying/drying defects/utilisation rate

AU POLČNIK, Peter

AA STRAŽE, Aleš (supervisor)/GORNIK BUČAR, Dominika (co-advisor)/
GORIŠEK, Željko (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 UTILISATION RATE OF BEECH AT CONVECTIVE KILN DRYING

DT B. Sc. Thesis (Professional Study programmes)

NO IX, 39 p., 27 fig., 5 tab., 15 ref.

LA sl

A1 sl/en

AB We assessed the quality of beech sawn timber before and after the normal-
temperature convective kiln drying. Dimensions at freshly sawn boards were
measured and the number and size of surface cracks and fissures on knots were
determined. The grain direction and orientation were additionally determined at
boards as well as the proportion of the discoloured wood. Boards were according to
the above criteria ranked by quality using the directive of the European organisation
for the sawmill industry (EOS). After the 15-day standard industrial drying
procedure ($T_{\max} = 38\text{ °C}$) to a final 18 % wood moisture content the measurements
were repeated. We have found greater reduction of utilisation rate, when boards of
lower quality are dried. The resultant differences have contributed most by surface
cracks and fissures close to knots. After drying, 8 % and 15 % of the boards in the
A- and B-grade should be classified to the lowest C-class.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO SLIK	VII
KAZALO PREGLEDNIC	IX
UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 HIPOTEZE	2
1.3 CILJI NALOGE	2
2 SPLOŠNI DEL	3
2.1 BUKEV	3
2.1.1 Opis lesa	3
2.1.2 Lastnosti lesa	4
2.2 KONVEKCIJSKO SUŠENJE	5
2.3 NAPAKE PRI SUŠENJU LESA	6
2.3.1 Razpoke	6
3 MATERIALI IN METODE	8
3.1 MATERIALI	8
3.2 METODE	9
3.2.1 Klasifikacija žaganega lesa	9
3.2.2 Povprečna vlažnost	15
3.2.3 Zaskorjenje in sušilne napetosti	16
3.2.4 Vlažnostni gradient	18
4 REZULATI IN RAZPRAVA	19
4.1 KINETIKA KONVEKCIJSKEGA KOMORSKEGA SUŠENJA	19
4.1.1 Povprečna vlažnost	19
4.1.2 Stopnja zaskorjenosti in sušilne napetosti	22
4.1.3 Vlažnostni gradient	23
4.2 SUŠILNE NAPAKE	24

4.3	ODVISNOST NAPAK PRI SUŠENJU OD KAKOVOSTI LESA.....	26
4.3.1	Čelne razpoke.....	26
4.3.2	Pokline in pokline ob grčah	28
4.4	UPORABNA PROSTORNINA ŽAGANEGA LESA	32
4.5	ZNIŽANJE KAKOVOSTI ŽAGANEGA LESA PO KONVEKCIJSKEM KOMORSKEM SUŠENJU	34
5	SKLEPI	36
6	VIRI	38
	ZAHVALA	40

KAZALO SLIK

Slika 1: Bukov les: prečni prerez (levo), radialni prerez (sredina), tangencialni prerez (desno)(Zupančič, Krže, 2008).....	3
Slika 2: Najpogostejši tipi zunanjih razpok (Vodopivec, 1998).....	7
Slika 3: Notranje razpoke s kolapsom - potek razpok pri radialni deski (zgoraj) in tangencialni deski (spodaj) (Vodopivec, 1998).....	7
Slika 4: Bukova hlodovina boljše kakovosti (levo) in slabše kakovosti z vidnimi čelnimi razpokami (desno)	8
Slika 5: Kakovostni razred A po EOS direktivi (Furlan in Košir, 2006)	11
Slika 6: Kakovostni razred B po EOS direktivi (Furlan in Košir, 2006)	12
Slika 7: Kakovostni razred C po EOS direktivi (Furlan in Košir, 2006)	13
Slika 8: Obrazec za žaganice in njihove napake	14
Slika 9: Odvzem vzorcev za določitev povprečne vlažnosti (A), sušilnih napetosti (B) in vlažnostnega gradienta (C)	15
Slika 10: Priprava vzorcev za določanje povprečne vlažnosti lesa	16
Slika 11: Vzorci za določanje povprečne končne lesne vlažnosti	16
Slika 12: Vzorci za določanje stopnje zaskorjenja lesa po prežagovalni metodi	17
Slika 13: Postopek določanja stopnje zaskorjenja lesa po prežagovalni metodi z merilno uro	17
Slika 14: Vzorci za določanje vlažnostnega gradienta	18
Slika 15: Sušilna krivulja (u), temperatura (T) in ravnovesna vlažnost (up) v konvekcijskem komorskem sušenju bukovine.	19
Slika 16: Povprečna vlažnost vzorcev, merjenje s tehtanje vzorcev (u), merjenje z elektro-uporovnim merilnikom (uup)	21
Slika 17: Povprečni vlažnostni profil ob koncu sušenja bukovine	23
Slika 18: Izgled tipične radialne deske pred (zgoraj) in po postopku sušenja (spodaj).....	25
Slika 19: Izgled tipične tangencialne deske pred (zgoraj) in po postopku sušenja (spodaj).....	25
Slika 20: Povečanje števila čelnih razpok na element po posameznih kakovostnih razredih	26

Slika 21: Povprečna dolžina čelnih razpok na element v posameznih kakovostnih razredih	27
Slika 22: Povečanje števila poklin na element pri posameznih kakovostnih razredih	28
Slika 23: Povprečno število poklin ob grčah na element v posameznih kakovostnih razredih	29
Slika 24: Povprečna dolžina poklin na element v posameznih kakovostnih razredih.....	30
Slika 25: Povprečna dolžina poklin ob grčah na element v posameznih kakovostnih razredih	31
Slika 26: Zmanjšanje uporabne prostornine na element v posameznem kakovostnem razredu	32
Slika 27: Sprememba deležev desk v posameznem kakovostnem razredu po koncu sušenja	35

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Opis kakovostnih razredov po direktivi Evropske organizacije za žagarsko industrijo (Furlan in Košir, 2006).....	10
Preglednica 2: Povprečna vlažnost vzorcev, prvo tehtanje (m1), drugo tehtanje (m2), vlažnost lesa (u).....	20
Preglednica 3: Odklon vzorcev takoj po razrezu in čez 24 ur.	22
Preglednica 4: Sušilne napake pred in po sušenju bukovega lesa	24
Preglednica 5: Sprememba števila desk v posameznih kakovostnih razredih pred- in po koncu sušenja.....	34

UVOD

Sušenje je eden ključnih postopkov pri pripravi lesa za nadaljnjo predelavo. Ta proces je energetsko zelo potraten in časovno dolgotrajen. Pri sušenju želimo iz lesa izločiti vodo. S tem se les geometrijsko in oblikovno spremeni ter skrči. Spremeni se tudi njegova masa, trdnost, trdota ter druge mehanske lastnosti, kalorična vrednost, toplotne, električne in akustične lastnosti, ob tem se mu tudi zmanjša dovzetnost na okužbo z glivami, plesnimi in na napade insektov. Vse te lastnosti, ki jih pridobimo, večinoma pozitivno vplivajo na nadaljnjo predelavo in uporabo lesa. S sušenjem pa ne pridobimo samo na pozitivnih lastnostih, saj v postopku nastajajo tudi nekatere negativne spremembe, ki nam zmanjšajo materialni izkoristek lesa, povečajo pa količino ostankov in posledično tudi stroške predelave. Te napake so razpoke, pokline, pokline na grčah, napoke in reže na čelnih prerezih sortimentov, geometrijske spremembe ter obarvanja. Pri nekaterih sortimentih se že pojavijo pred sušenjem in se lahko med sušenjem povečajo, pri nekaterih pa nastajajo med samim sušilnim postopkom. S pravilno pripravo lesa na sušenje in ustrezno izbiro režima sušenja lahko tudi te napake omejimo, povsem preprečiti pa jih ne moremo, kar je posledica naravne nehomogenosti materiala in vrojenih lastnosti posamezne lesne vrste.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Pri sušenju lesa se zaradi izrazite anizotropije krčenja soočamo z anizotropnimi geometrijskimi in dimenzijskimi spremembami sortimentov. Tako v postopku sušenja posledično nastajajo sušilne napetosti, ki pogosto povzročajo trajne ireverzibilne deformacije in napake v materialu ter s tem slabši izkoristek. Pri tem postopku je manj raziskan vpliv strukturnih anomalij, ki določajo že kakovost vstopnega vlažnega lesa, na materialni izkoristek in celokupno porabo energije v postopku sušenja. Pri tem lahko vstopna kakovost lesa bistveno vpliva na ekonomičnost in smotrnost samega tehnološkega postopka.

1.2 HIPOTEZE

V raziskavi bomo preverili naslednje domneve:

1. ali obstaja korelacija med vstopno in izstopno kakovostjo osušenega lesa,
2. ali se materialni izkoristek posušene bukovine v standardnem industrijskem sušilnem postopku povečuje z višanjem vstopne kakovosti žaganega lesa.

1.3 CILJI NALOGE

V raziskavi bomo ovrednotili strukturne anomalije in prisotnost napak pri bukovini v svežem stanju ter jo na osnovi veljavnih meril in standardov razvrstili v kakovostne razrede. Kinetiko standardnega sušilnega postopka bomo spremljali v industrijskih pogojih in določili materialni izkoristek osušenega lesa. Na materialni izkoristek bomo gledali bolj iz teoretičnega vidika, s predpostavko, da bi bil ves les, ki nima prisotnih napak in anomalij, uporaben. V praksi to ni mogoče, ker so različni izdelki različnih dimenzij in glede na pozicijo teh napake in anomalije na žganic ne moremo vedno uporabiti vsega kakovostnega lesa.

2 SPLOŠNI DEL

2.1 BUKEV

2.1.1 Opis lesa

Bukovina je rdečkasto bela, normalno brez obarvane jadrovine (beljava in jedrovina se barvno ne ločita). Pri starejših drevesih se v sredini debla navadno pojavlja nepravilno oblikovan, rdeče rjav diskoloriran les, imenovan rdeče srce. Za rdeče srce je značilno močno otiljenje trahej, kar med drugim otežuje transport proste vode in denimo tudi impregnacijo lesa. Branike so razločne. Kasni les z manj trahejami je nekoliko temnejši od ranega. Difuzno razporejene traheje, velikostnega reda od 100 μm , so na prečnem prerezu vidne z lupo. Zelo značilni so številni široki trakovi, ki so na tangencialni površini vidni kot rdečkasta vretenca, na radialni pa očitna, do več milimetrov velika zrcalca, ki zelo vplivajo na videz lesa. Plamenasta (tangencialna površina) in progasta (radialna površina) videza nista tako izrazita kot pri iglavcih. Bukovina nima specifičnega vonja ali okusa (Čufar, 2006).



Slika 1: Bukov les: prečni prerez (levo), radialni prerez (sredina), tangencialni prerez (desno)(Zupančič, Krže, 2008)

2.1.2 Lastnosti lesa

Bukovina ima srednjo do visoko gostoto, je trda in se zelo krči in nabreka. Dimenzijska stabilnost lesa je neugodna, trdnostne lastnosti so glede na gostoto nadpovprečno visoke (npr. dobra upogibna trdnost). Les je zelo žilav, malo elastičen in zelo trden. Dobro se cepi in po parjenju se dobro upogiba. Nezaščiten bukovina je podvržena okužbi z glivami in insekti in je le zmerno trajna, zato je potrebna hitra in pravilna manipulacija po poseku. Z izjemo rdečega srca se dobro impregnira. S kreozotnimi olji impregnirana bukovina ima posebno dolgo življenjsko dobo, vendar pa se tovrstna zaščita lesa zaradi škodljivih vplivov na okolje opušča. Impregnirani železniški pragovi dosegajo srednjo življenjsko dobo najmanj 40 let. Delež juvenilnega lesa je zanemarljiv. Pri bukovini je možen obilnejši pojav tenzijskega lesa. Notranje napetosti v svežem žaganem lesu so lahko znatne, kar ima za posledico zvijanje in pokanje lesa v postopku sušenja. Zaradi visoke gostote in nagnjenosti k zvijanju, pokanju in nastanku rjavordečih, rdečemu srcu podobnih obarvanj, se za sušenje bukovine priporoča blag režim sušenja (Gorišek s sod., 2000).

Bukovino parijo zaradi zmanjšanja notranjih napetosti in izenačitve barve. Tako se po parjenju zmanjša nevarnost pokanja in zvijanja, les pa dobi enakomerno rdečkasto barvo. Les mora biti pred parjenjem vlažen, sicer obstaja nevarnost pojava neenakomernega obarvanja lesa. Ročno in strojno je bukovino mogoče lepo obdelati, vendar sta zaradi visoke gostote lesa krhanje orodij in poraba energije nekoliko večja. Lepo se lušči in reže v furnirje. Dobro se struži in polira. Z lahkoto se žeblija, vijači ali lepi. Za žebljanje in vijačenje se priporoča uvajalna luknja. Površinsko se brez težav obdeluje z vsemi komercialnimi laki. Bukovino je mogoče izjemno dobro kriviti (Čufar, 2006).

2.2 KONVEKCIJSKO SUŠENJE

Konvekcijsko sušenje je postopek, po katere se danes suši največ lesa in pri katerem prihaja do delnega izmenjavanja zraka v komori z okolico. Glede na vrsto lesa, njegovo debelino ter začetno ali končno vlažnost, sušilne komore vselej omogočajo najbolj optimalne nastavitve in razmere za kakovostno sušenje lesa. Izbira komore za sušenje lesa je poleg lesne vrste in sortimentov odvisna še od številnih drugih vplivnih dejavnikov, kot sta denimo vir toplotne in električne energije. V zadnjih letih tako pri nas in v Evropi kaže na še vedno največje zanimanje za konvekcijsko sušenje lesa, saj se tako suši približno 90 odstotkov vsega žaganega lesa (Gorišek, 2002).

V konvekcijskih normalno-temperaturnih sušilnih komorah se vzdržujeta temperatura med 40 °C in 100 °C, relativna vlažnost zraka je med 20 % in 90 %, hitrost zraka pa je običajno od 1,3 m/s do 3,5 m/s. Les se konvekcijsko segreva z zrakom, ki služi tudi za sprejemanje in odvajanje vlage iz lesa. Kondicija zraka v komori se pri tem vzdržuje z delno izmenjavo zraka z okolico. Konvekcijske sušilne komore se splošno uporabljajo in so primerne za vse vrste lesa. Les v komori miruje, menja se klima zraka glede na vlažnost lesa, po sušilnem programu za posamezno vrsto in debelino lesa. Les sušimo pri temperaturi in zračni vlažnosti ter pri gibanju zraka, ki ustreza povprečni lesni vlažnosti in vlažnostnemu gradientu v danem trenutku postopka, kar omogoča, da se les posuši v najkrajšem možnem času. Del postopka sušenja lesa predstavlja tudi polnjenje in praznjenje sušilne komore ter skladiščenje posušenega lesa, za kar moramo imeti tudi primeren prostor.

Konvekcijske sušilne komore se razlikujejo po izvedbi (zidane, montažne), po velikosti, po dimenzijah zložajev lesa, ki ga lahko sprejmejo, po načinu polnjenja in praznjenja ter po načinu kroženju zraka. Glede na kroženje zraka razlikujemo:

- sušilnice s prečnim kroženjem zraka (zrak preveva lesni zložaj vodoravno v prečni smeri zložaja- vzporedno z distančnim letvicami);
- sušilnice z vzdolžnim kroženjem zraka (zrak preveva leseni zložaj vodoravno v vzdolžni smeri zložaja) (Gorišek in sod., 1994).

2.3 NAPAKE PRI SUŠENJU LESA

2.3.1 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, čeprav so se pojavile v času sušilnega postopka. Ločiti moramo razpoke, ki so posledica vrojenih (inherentnih) lastnosti lesa, in razpoke, ki se pojavijo zaradi neustreznih sušilnih pogojev (Vodopivec, 1998).

Razpoke, ki so posledica vrojenih, specifičnih lastnosti lesa:

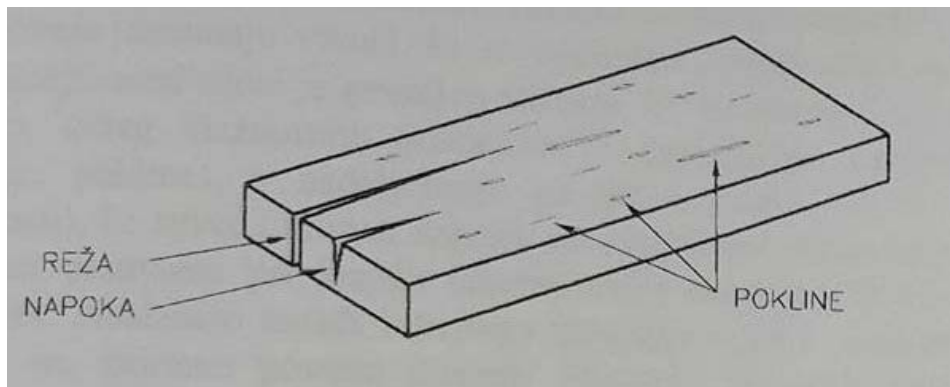
- razpoke zaradi rastnih napetosti,
- kolesivost ali krožne razpoke,
- razpoke v bližini stržena (strženove, zvezdaste razpoke),
- razpoke zaradi izmenično prepletene rasti.

Razpoke, ki so posledica neustreznih sušilnih pogojev so:

- površinske razpoke ali pokline,
- notranje ali sataste razpoke,
- čelne razpoke,
- sredinske razpoke.

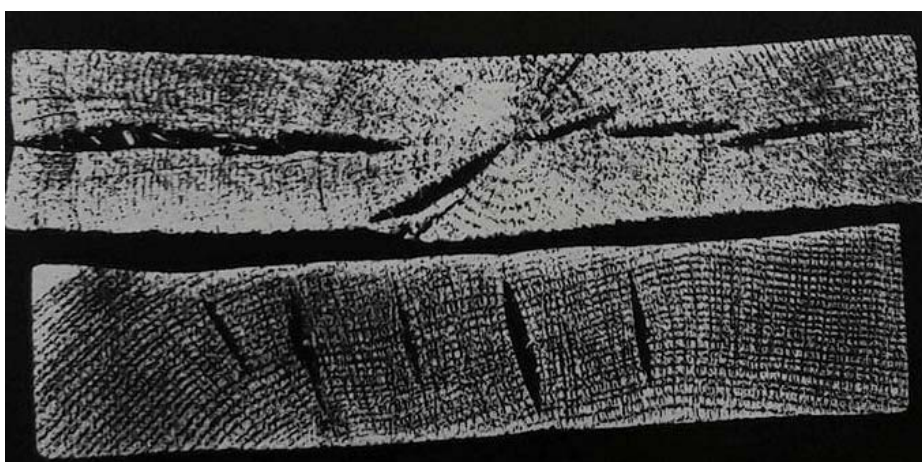
Vse razpoke načeloma delimo na notranje in zunanje. Najpogostejše zunanje razpoke so čelne razpoke in pokline, ki nastanejo na čelih sušencev in navadno potekajo v radialni smeri oziroma v smeri strženovih trakov. Vzrok za nastanek čelnih razpok je prehitro izhajanje vode v vzdolžni smeri. Razpoki, ki 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 in se pojavijo zaradi prehitrega sušenja na začetku sušilnega postopka (Slika 2) (Vodopivec, 1998).



Slika 2: Najpogostejši tipi zunanjih razpok (Vodopivec, 1998)

Proti koncu sušilnega postopka se zaradi nateznih sil v notranjosti lesa pojavijo notranje razpoke. Pogosto so povezane s kolapsom, ki se pojavi pri vlažnostih nad točko nasičenja lesnih vlaken (TNCS) (Slika 3). Najvažnejši vzrok za nastanek razpok, ki nastanejo zaradi neustreznega sušilnega postopka, je prehitro sušenje. Velik problem pri tem predstavljajo čelne razpoke, predvsem pri krajših decimiranih elementih, ki so praviloma iz lesa listavcev. Zmanjšamo jih lahko tako, da pred začetkom sušenja čela premažemo s snovjo, ki zmanjšuje izhajanje vode (Vodopivec, 1998).



Slika 3: Notranje razpoke s kolapsom - potek razpok pri radialni deski (zgoraj) in tangencialni deski (spodaj) (Vodopivec, 1998)

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

V raziskovalne namene smo uporabili svežo bukovo hlodovino, pridobljeno na območju Kočevja. Iz devetindvajsetih predhodno izbranih hlodov, različnih dolžin in premerov, smo v jeseni 2014, na žagarskem obratu podjetja Snežnik d.d., Kočevska Reka, razžagali plohe debeline 42 mm in deske debeline 28 mm. Hlodovino smo pred razrezom pustili v lubju in je nismo lupili.

Hlodi so spadali v različne kakovostne razrede, ki smo jih določali po veljavnih standardih (SIST EN 1316-1). Hlodovina (Slika 4) je bila različnih dolžin in iz različnih delov drevesa (prvi hlod, drugi hlod, tretji hlod...). Posledično pa je bila različna tudi kakovost žaganega lesa. Skupno število žaganic je bilo na koncu razžagovanja 164.



Slika 4: Bukova hlodovina boljše kakovosti (levo) in slabše kakovosti z vidnimi čelnimi razpokami (desno)

3.2 METODE

3.2.1 Klasifikacija žaganega lesa

Takoj po razrezu smo žagan les zložili v zložaje in ga pripravili za sušenje. Pri vseh sortimentih smo vsakemu posebej izmerili širino, jim z markerjem označili razpoke ter pokline in jih fotografirali. Po končanem standardnem industrijskem sušilnem postopku smo sortimente zopet fotografirali, jim prešteli ter izmerili vse stare in nove površinske in čelne razpoke in pokline. Rezultate smo vnesli v za ta namen pripravljene preglednice.

Na osnovi vizualnih značilnosti smo žagan les razvrstili po direktivi Evropske organizacije za žagarsko industrijo (EOS – »European Organization for the Sawmill Industry«). Direktiva (standard) temelji na vizualnem ocenjevanju žaganic v tri kakovostne razrede : A, B in C (Preglednica 1).

Preglednica 1: Opis kakovostnih razredov po direktivi Evropske organizacije za žagarsko industrijo (EOS standard, 2006)

LASTNOSTI	RAZRED A	RAZRED B	RAZRED C
Dolžina	$\geq 2,10$ m	$\geq 2,10$ m	90 % $\geq 2,10$ m 10 % $\geq 1,80$ m
Min. širina (d-debel., š-širina)	$d \leq 32$ mm $\text{š} \geq 100$ mm $d > 32$ mm $\text{š} \geq 120$ mm	$d \leq 32$ mm $\text{š} \geq 100$ mm $d > 32$ mm $\text{š} \geq 120$ mm	$d \leq 32$ mm $\text{š} \geq 100$ mm $d > 32$ mm $\text{š} \geq 120$ mm
Zdrave grče	80 % površine obeh strani brez grč, 20 % so lahko male (velik. max 10 % širine deske) na dolžino 2,10 m	Dovoljene male grče (velik. max. 15 % širine deske) na obeh straneh in ena velika (>70 mm) na tekoči meter če kompenzi. z velikostjo	Dovoljene
Mrtve, izpadle grče	Niso dovoljene	(>70 mm) dovoljena na tekoči če kompenzi. z velikostjo	Dovoljene
Potek vaken	Raven potek	Rahel odklon vlaken	Dovoljen odklon
Valovitost vlaken	Ni dovoljena	Dovoljena	Dovoljena
Vrasla skorja	90 % brez na obeh straneh deske, 10 % dovoljeno, če kompenzi. z velikostjo	Dovoljeno, če kompenzi. z velikostjo	Dovoljeno, če kompenzi. z velikostjo
Trohnoba	Ni dovoljena	Dovoljena, če je izločena in če kompenzi. z velikostjo	Dovoljena, če kompenzi. z velikostjo
Obarvanja	Ni dovoljena	Dovoljeno, če je izločena in če kompenzi. z velikostjo	Dovoljeno, če kompenzi. z velikostjo
Rdeče srce	80 % površine obeh strani brez, 20 % povr. na spodnji strani dovoljeno, če ne presega 10 % širine	Dovoljeno 10 % na zgornji strani	Dovoljeno na obeh straneh, še na vsaki strani ostane 12 cm neobarvanega lesa
Lok	Do 2 cm na tekoči meter	Do 5 cm na tekoči meter	Dovoljen
Reže, razpoke	Ravne razpoke do 20 % dolžine	Ravne razpoke do 30 % dolžine. Ne ravne razpoke dovoljene, če kompenzi. z velikostjo	Ravne in neravne razpoke dovoljene do 40 % dolžine

V kakovostni razred A direktive EOS spadajo najkvalitetnejši sortimenti, ki morajo biti enaki ali daljši od 2,1 m, široki enako ali več kot 100 mm, če so debeline do 32 mm. Če pa so debelejši od 32 mm, je najmanjša širina 120 mm. Zdrave grče so lahko prisotne samo na 20 % dolžine sortimenta in ne smejo presegati 10 % širine. Mrtve grče niso dovoljene. Potek vlaken mora biti dokaj raven in ne sme biti valovit. Vrasla skorja ni dovoljena na 90 % velikosti sortimenta na obeh straneh, prav tako ni dovoljena trohnoba in obarvanja. Rdeče srce je lahko prisotno samo na 20 % dolžine sortimenta na spodnji strani in široko do 10 % širine sortimenta. Sortimenti so lahko zaviti samo za 2 cm na tekoči meter. Čelne razpoke so dovoljene samo, če niso daljše od 20 % dolžine ploha (Slika 5).



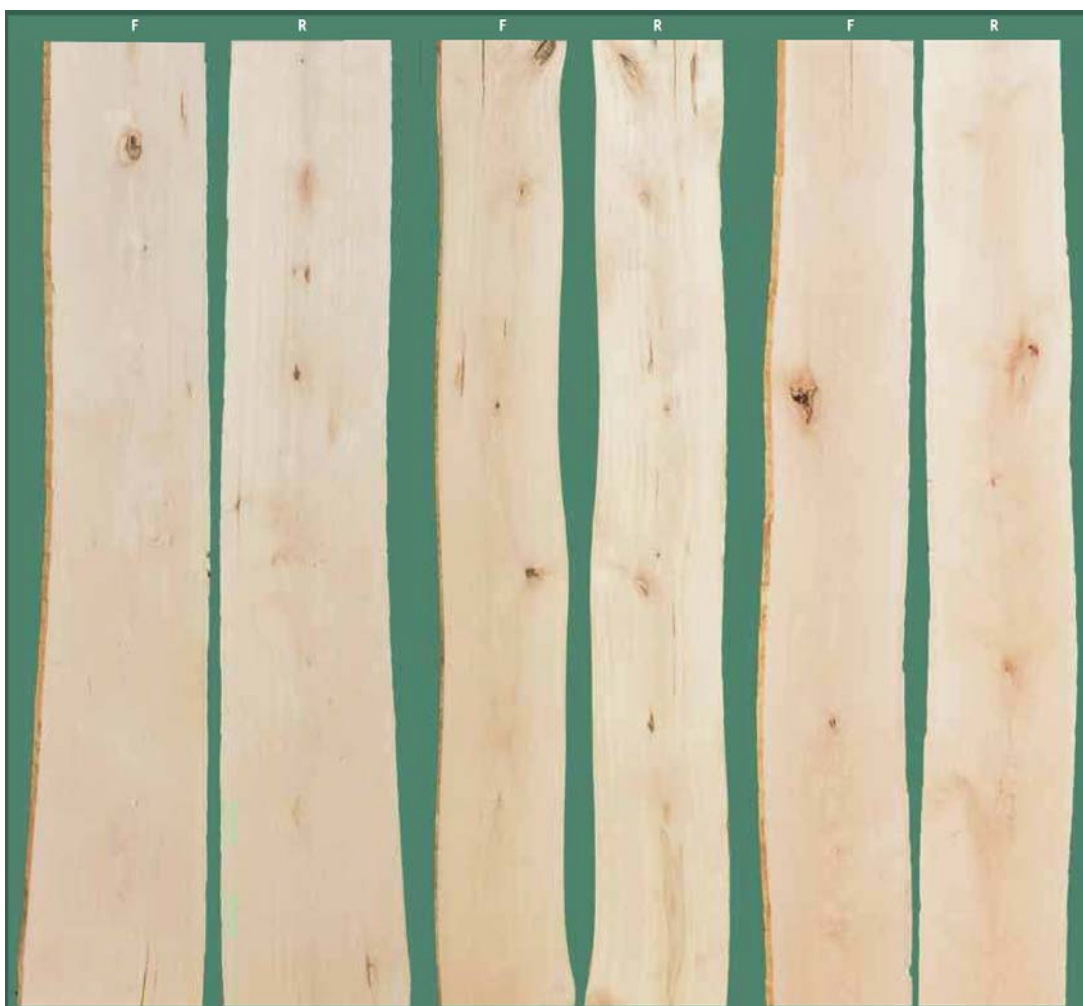
Slika 5: Kakovostni razred A po EOS direktivi (EOS standard, 2006)

Za kakovostni razred B so zahtevani pri dolžini enaki pogoji kot za razred A, kjer mora biti sortiment dolg vsaj 2,1 m in pri širini, ki mora biti do debeline 32 mm vsaj 100 mm ali nad 32 mm debeline vsaj 120 mm. Dovoljene so male zdrave grče, katerih premer ne presega 15 % širine na obeh strani sortimenta in ena velika grča na tekoči meter, katere premer je manjši od 70 mm. Dovoljena je tudi ena mrtva grča na tekoči meter, katere premer ni večji od 70 mm. Potek vlaken je lahko rahlo nagnjen in valovit. V tem razredu so vrasla skorja, trohnoba in obarvanja dovoljena in se pri izmeri sortimentov kompenzirajo. Za rdeče srce velja, da je lahko prisotno v velikosti 10 % sortimenta na zgornji strani. Plohi so lahko zaviti 5 cm na tekoči meter. Velikost čelnih razpok je dovoljena do 30 % dolžine ploha, prisotne so lahko tudi neravne male razpoke, oboje pa se pri izmeri kompenzirajo (Slika 6).



Slika 6: Kakovostni razred B po EOS direktivi (EOS standard, 2006)

Kakovostni razred C je najslabši in posledično tudi najbolj toleranten do napak. V tem razredu mora biti 90 % sortimentov dolgih vsaj 2,1 m, ostalih 10 % pa vsaj 1,8 m. Za širino sortimenta velja enako kot v ostalih dveh razredih. Do debeline 32 mm mora biti sortimenti široki vsaj 100 mm, nad 32 mm debeline pa morajo biti široki vsaj 120 mm. Zdrave grče, mrtve grče, odklon vlaken in valovit potek vlaken so dovoljeni. Dovoljena je tudi prisotnost vrasle skorje, trohnobe in obarvanja, ki pa se pri izmeri plovov kompenzirajo. Rdeče srce je lahko prisotno na obeh straneh sortimenta, če ima ta še na vsaki strani vsaj 12 cm neobarvanega lesa. Zavitost sortimentov ni omejena. Čelne razpoke ne smejo presegati 40 % dolžine sortimenta (Slika 7).



Slika 7: Kakovostni razred C po EOS direktivi (EOS standard, 2006)

Vzorci in predčasno hlode ter iz njih izdelane vzorce smo ustrezno označevali s števili. Te oznake in velikosti ter število napak, ki jih je žaganica imela, smo vnašali v predhodno pripravljene obrazce (Slika 8). Prva številka vzorca označuje drevo, druga številka hlod, ki je bil skrojen iz drevesa, tretja številka označuje žaganico in zadnja številka vzorec. Napake (čelne razpoke, pokline in pokline ob grčah) smo pred sušenjem zmerili z metrom in jih označili z barvnim flomastrom, da smo po sušenju lažje opazili razliko, če so se le-te povečale. Po sušenju smo te napake zopet izmerili in jih vnesli v obrazce. Podatke iz teh obrazcev smo nato pretipkali v računalniški program Excel, kjer smo jih potem obdelovali.

Spremljanje kontrole kakovosti sušenja bukovine

Datum: Z:

DREVO/HLOD ŠL:

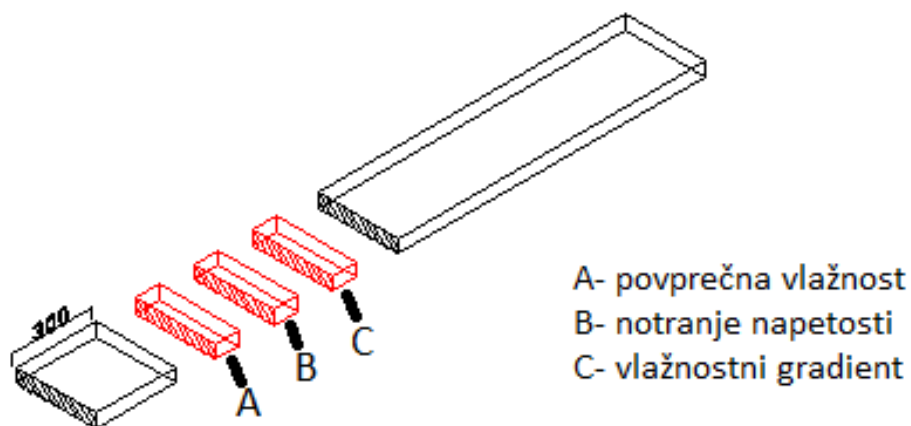
K:

Št.	Debelina [mm]	Širina [cm]	Or. R,RT,T	Srčna razpoka Dolžina [cm]	RAZPOKE				Koristavost [mm/cm]	Lok [mm/m]	Zavitost [mm/m]	Obarvanje [%]	Opombe
					Čelne		Pokline						
					Število	Dolžina [mm]	Število	Dolžina [mm]					
1	8/3/9				Z 40 40 10 40								
2	8/3/8				Z 40 40 40 40								
					K 3 63 5 31								
3	8/3/3				Z 0 0 0 0								
					K 2 23 1 12								
4	2/3/4				Z 0 0 / /								
					K 2 108 0 0								
5	3/3/6				Z / / / /								
					K 1 17 / /								
6	9/1/5				Z / / / /								
					K 2 93 3 179								
					Z / / / /								
7	9/1/6				K 2 26 3 20								
8	8/3/2				Z / / / /								
					K / / 1 9								
9	10/1/7				Z / / / /								
					K 2 142 1 6								
10	9/1/2				Z / / / /								
					K 1 12 / /								
11	9/1/3				Z / / / /								
					K 1 20 1 16								
12	9/1/4				Z / / / /								
					K 2 27 1 9								

Slika 8: Obrazec za žaganice in njihove napake

3.2.2 Povprečna vlažnost

Vlažnost lesa se je med procesom določala z električnim uporovnim merilnikom na osmih mestih v sušilni komori. Po koncu sušilnega postopka pa smo še dodatno izmerili vlažnost lesa z ročnim uporovnim merilnikom (SIST EN 13183-2) in gravimetrično (SIST EN 13183-1). Pri tem smo izžagali vzorce 30 cm od čela ploha, da smo se izognili vplivu hitrejšega izsuševanja čel (Slika 9). Iz teh smo izdelali vzorce za določanje povprečne vlažnosti lesa, stopnje zaskorjenosti oz. oceno sušilnih napetosti (SIST ENV 14464) ter za določanje vlažnostnega gradienta.



Slika 9: Odvzem vzorcev za določitev povprečne vlažnosti (A), sušilnih napetosti (B) in vlažnostnega gradienta (C)

Povprečno vlažnost smo določali po standardni gravimetrični metodi (SIST EN 13183-1). Vlažnost smo določili tako, da smo iz vzorcev, ki smo jih izžagali s tračnim žagalnim strojem, izdelali manjše vzorce široke 15 mm, ki smo jim odstranili bočne dele zaradi možnega učinka hitrejšega površinskega sušenja (Slika 10, 11). Te vzorce smo nato sušili v laboratorijskem sušilniku ($T = 103 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$) do absolutno suhega stanja.



Slika 10: Priprava vzorcev za določanje povprečne vlažnosti lesa



Slika 11: Vzorci za določanje povprečne končne lesne vlažnosti

3.2.3 Zaskorjenje in sušilne napetosti

Vzorci za merjenje stopnje zaskorjenja oz. sušilnih napetosti, dolžine 15 mm, smo izdelali vzporedno z vzorci za določanje povprečne lesne vlažnosti. Za določanje stopnje zaskorjenja smo uporabili t.i. »prežagovalno metodo«, kjer smo vzorce prežagali po debelini, na dve enaki polovici (SIST ENV 14464). Takoj po prerezu smo vzorcem z merilno uro, z natančnostjo 0,01 mm, izmerili velikost reže na razdalji 100 mm. Nato smo

jih dali v PVC-vrečko in jih tako pustili 48 ur. Po tem času, ko smo dosegli izenačitev lesne vlažnosti po prerezu vzorcev, smo zopet izmerili režo med obema polovicama vzorcev (Slika 12,13).



Slika 12: Vzorci za določanje stopnje zaskorjenja lesa po prežagovalni metodi



Slika 13: Postopek določanja stopnje zaskorjenja lesa po prežagovalni metodi z merilno uro

3.2.4 Vlažnostni gradient

Razlika med vlažnostjo površine in sredice sortimenta je definirana kot vlažnostni gradient. Vlažnost površine se meri na 1/5 debeline sortimenta, vendar ne manj kot 5 mm globoko, vlažnost sredice pa na 1/2 debeline, torej v sredini sortimenta (Welling 1994).

Za vlažnostni gradient smo uporabili 3 vzorec iz serije manjših odvzetih vzorcev iz posušenih plohov in desk, iz katerega smo nažagali pet enako širokih rezin (Slika 14). Vlažnost posameznih rezin (slojev) smo določili enako kot smo to storili pri ugotavljanju povprečne vlažnosti, z gravimetrično metodo. Pri kontroli vlažnostnega gradienta smo ugotavljali porazdelitev vlažnosti po prerezu vzorca, kjer smo vlažnostni gradient izračunali po formuli (En. 1):

$$\frac{\Delta u}{\Delta x} = \frac{u_{srednja} - u_{zunanjja}}{\Delta x} \left[\frac{\%}{cm} \right] \quad (1)$$

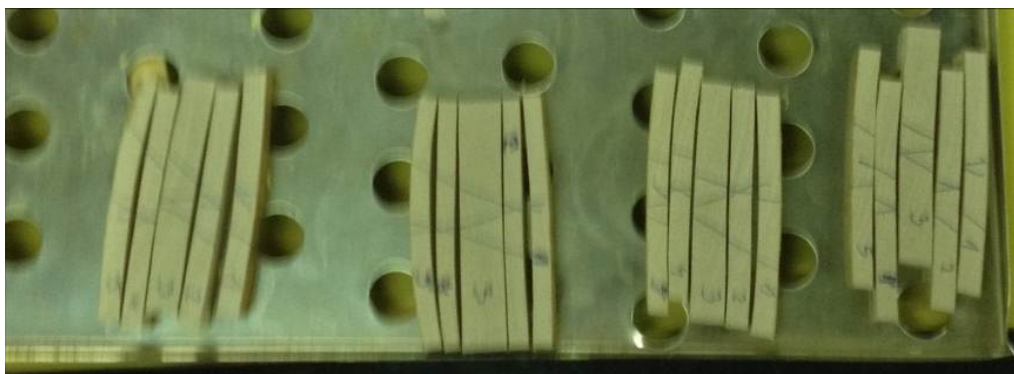
kjer je,

$\Delta u / \Delta x$ - vlažnostni gradient [% / cm]

$u_{srednja}$ - vlažnost srednjega sloja [%]

$u_{zunanjja}$ - vlažnost zunanjega sloja [%]

Δx - razdalja med zunanjim in notranjim slojem [cm]



Slika 14: Vzorci za določanje vlažnostnega gradienta

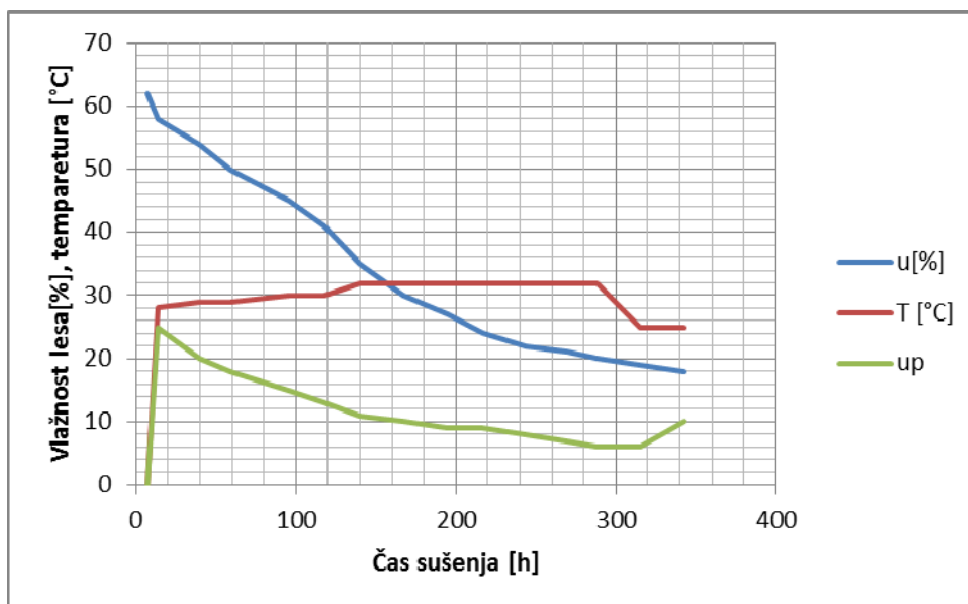
4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 KINETIKA KONVEKCIJSKEGA KOMORSKEGA SUŠENJA

4.1.1 Povprečna vlažnost

V podjetju so uporabili standardni sušilni postopek, sestavljen iz faze segrevanja, faze izločanja proste vode ter izločanja vezane vode. Segrevanje lesa je trajalo 12 ur, do začetne temperature 30 °C. V območju izločanja proste vode je bila temperatura sušenja pribl. konstantna (28 – 30 °C), v območju vezane vode pa je znašala med 35 °C in 38 °C. Ob koncu sušilnega postopka, t.j. v fazi izenačevanja, se je temperatura sušenja znižala na 25 °C (Slika 15).

Sušenje lesa je na začetku potekalo z relativno konstantno sušilno hitrostjo do 40 % vlažnosti lesa (Slika 15). V nadaljevanju, pri izločanju vezane vode, se je sušilna hitrost pričela postopno zmanjševati. Razberemo lahko, da je bil les v konvekcijski sušilni komori skupno 15 dni. Vlažnost, ki jo je imel na začetku procesa, je bila malo nad 60 %, na koncu sušenja pa je povprečna lesna vlažnost, določena elektro-uporovno, znašala 18 %.



Slika 15: Sušilna krivulja (u), temperatura (T) in ravnovesna vlažnost (up) v konvekcijskem komorskem sušenju bukovine.

Na vzorcih, ki smo jih izžagali iz žaganic ob koncu sušenja, smo ugotovili, da je lesna vlažnost za nekaj odstotkov višja (Preglednica 2) kot pa pri elektro-uporovnih meritvah v sušilni komori (Slika 16). Do teh odstopanj lahko prihaja zaradi razlik med metodama merjenja, kot tudi zaradi kondicioniranja lesa po koncu sušenja, saj so se sortimenti nekaj dni skladiščili v zunanjem skladišču. Tako je gravimetrično določena vlažnost lesa na koncu sušenja za 2 % do 6 % presegala lesno vlažnost, izmerjeno v sušilni komori, ki je bila 18% (Slika 15).

Preglednica 2: Povprečna vlažnost vzorcev, prvo tehtanje (m1), drugo tehtanje (m2), vlažnost lesa (u)

Vzorec	m1[g]	m2[g]	u [%]
1-1-2	47,131	38,94	21,0
1-2-2	41,586	34,49	20,6
1-3-2	50,333	42,04	19,7
2-1-2	51,016	42,02	21,4
2-2-2	46,514	38,35	21,3
2-3-2	40,487	33,56	20,6
3-2-1	67,006	56,57	18,4
4-1-10	39,183	31,6	24,0
4-1-11	43,267	35,51	21,8
4-1-12	42,013	34,46	21,9
2-1-4	33,274	26,73	24,5
2-1-5	41,559	33,58	23,8



Slika 16: Povprečna vlažnost vzorcev, merjenje s tehtanje vzorcev (u), merjenje z elektro-uporovnim merilnikom (uup)

4.1.2 Stopnja zaskorjenosti in sušilne napetosti

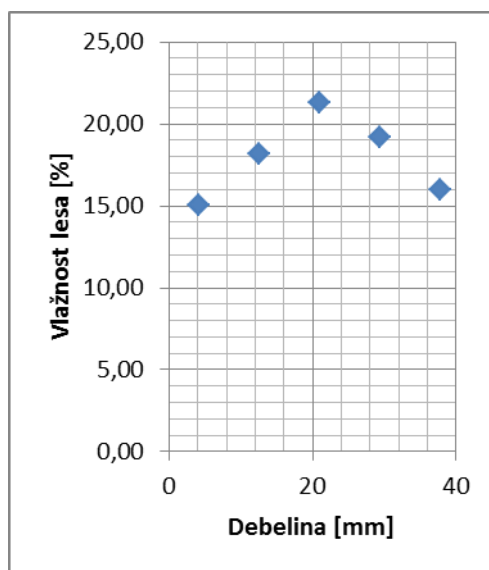
Ob koncu sušilnega postopka smo po prežagovalni metodi določili povprečno 0,348 mm režo po debelini sortimentov (Preglednica 3). Povprečna velikost reže pri ponovni meritvi po 48 urah, po izenačitvi vlažnostnega gradienta po prerezu elementov, je znašala 0,424 mm (na 100 mm razdalji). Glede na kriterialne vrednosti (< 1 mm; SIST ENV 14464) ocenjujemo to sušenje lesa kot ekstra-kakovostno (1. kakovostni razred).

Preglednica 3: Odklon vzorcev takoj po razrezu in čez 24 ur.

Čas [h]	0		24	
vzorec	odklon[mm]	skupaj	odklon[mm]	skupaj
1-1-2-1	-0,06		0,12	
1-1-2-2	0,29	0,23	0,11	0,23
1-2-2-1	0,66		0,62	
1-2-2-2	-0,46	0,2	-0,3	0,32
1-3-2-1	0,42		0,52	
1-3-2-2	0,17	-0,08	0,13	0,65
2-1-2-1	-0,25		-0,04	
2-1-2-2	0,83	0,58	0,91	0,87
2-2-2-1	-0,27		-0,44	
2-2-2-2	0,74	0,47	0,8	0,36
2-3-2-1	0,25		0,36	
2-3-2-2	0,24	0,23	0,22	0,58
3-2-1-1	-0,01		0,14	
3-2-2-1	0,33	0,32	0,42	0,56
4-1-10-2	-0,55		-0,49	
4-1-10-3	1,01	0,46	0,76	0,27
4-1-10-4	-0,52		-0,5	
4-1-10-5	0,9	0,38	0,95	0,45
4-1-10-6	-0,26		-0,5	
4-1-10-7	0,79	0,53	0,59	0,09
2-1-4-1	0,12		0,25	
2-1-4-2	0,1	0,22	-0,21	0,04
2-1-4-3	-0,06		-0,02	
2-1-4-4	0,7	0,64	0,69	0,67
Povprečje		0,348		0,424

4.1.3 Vlažnostni gradient

Profil vlažnosti po prerezu elementov na koncu sušenja je bil paraboličen (Slika 16). V zunanjih slojih je bila v povprečju vlažnost 15 % oz. 16 %, proti sredini prereza pa je narasla približno na 22 %. V zunanjih slojih je izločanje vode v lesu hitrejša in lažja kot pa v slojih, ki so bližje sredini.



Slika 17: Povprečni vlažnostni profil ob koncu sušenja bukovine

Točke na grafu predstavljajo vlažnost lesa in sredino vsakega sloja. Tako pomeni prva točka prvi sloj, druga točka drugi sloj, tretja točka tretji sloj, četrta točka četrti sloj in peta točka peti sloj.

Vlažnostni gradient smo izračunali za vsak vzorec posebej. Iz dobljenih rezultatov smo izračunali povprečne vlažnostne gradiente in ugotovili, da med zunanjimi sloji posušenega lesa znaša vlažnostni gradient 0,41 %/cm, v notranjem delu plohov (med 2. in 3. in 3. ter 4. slojem) pa je med 0,26 %/cm in 0,37 %/cm. Izločanje lesne vlažnosti iz zunanjih slojev poteka hitreje in lažje kot iz notranjih slojev. Razlika v vlažnostnem gradientu pa je hkrati tudi gonilo transporta proste in vezane vode med sloji (Koderman, 1996).

4.2 SUŠILNE NAPAKE

Pričakovano so se po sušenju pojavile številne razpoke lesa na lokacijah blizu grč, ki jih sicer v svežem stanju ne najdemo (Preglednica 3). Razloge za te razpoke lahko iščemo v specifičnih orientacijah lesnega tkiva, ki se pojavlja ob grčah. Dejstvo je namreč, da je bukovina lesna vrsta z izrazito krčitveno anizotropijo ($q_T/q_R = 2,1$; Gorišek 2009), ki največ prispeva k pojavu teh napak. Teh napak torej ne moremo pripisati neposredno sušenju lesa.

V svežem stanju bukovega lesa pa najdemo že prisotne čelne razpoke in pokline. Te lahko povežemo s prisotnimi ravnimi napetostmi v hlodovini in žaganem lesu (Firšt, 2013), delno pa so lahko tudi posledica hitrejšega čelnega sušenja lesa. Več čelnih razpok smo potrdili pri radialno orientiranih sortimentih (Slika 18) kot pa pri tangencialnih (Slika 19). V splošnem smo sicer našli manj kot 1 razpoko na sortiment, po sušenju pa skoraj dve (Preglednica 4). Večja sprememba pa je potrjena pri poklinah, kjer z začetnih 0,16 pokline na element narastejo na 1,4 pokline na desko.

Preglednica 4: Sušilne napake pred in po sušenju bukovega lesa

Stanje	Čelne razpoke		Pokline		Pokline na grčah	
	Število	Dolžina	Število	Dolžina	Število	Dolžina
	[št/element]	[cm/element]	[št/element]	[cm/element]	[št/element]	[cm/element]
Sveže	0.62	28.70	0.16	5.88	0.00	0.00
Suho	1.80	74.70	1.35	50.09	1.13	15.30
Razlika[%]	193.1	160.3	750.0	751.2	100.0	100.0



Slika 18: Izgled tipične radialne deske pred (zgoraj) in po postopku sušenja (spodaj)



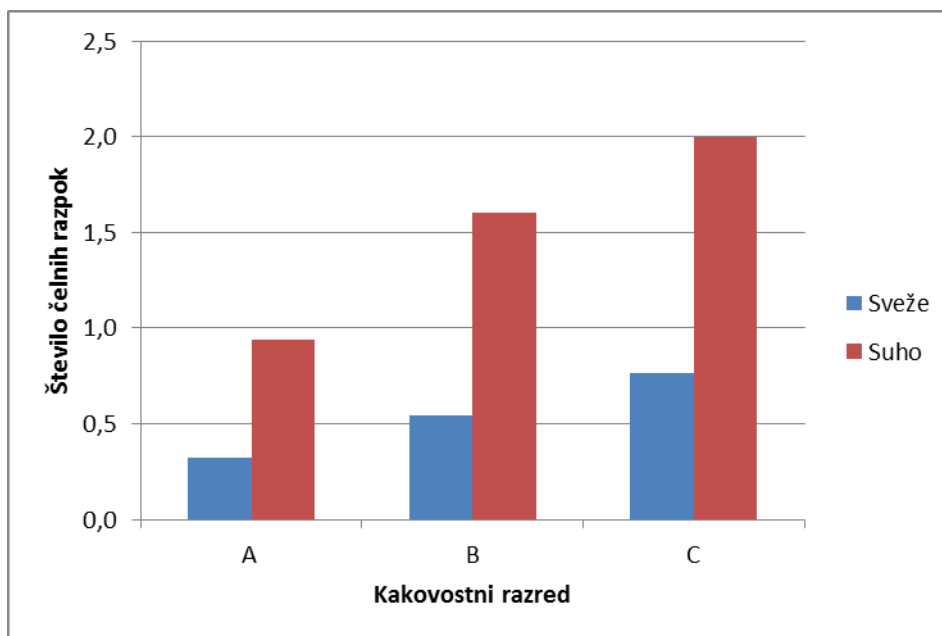
Slika 19: Izgled tipične tangencialne deske pred (zgoraj) in po postopku sušenja (spodaj)

4.3 ODVISNOST NAPAK PRI SUŠENJU OD KAKOVOSTI LESA

Po standardu za razvrščanje lesa smo v svežem stanju v proučevani populaciji razvrstili 25 desk v kakovostni razred EOS-A, 59 v razred EOS-B, in 80 v razred EOS-C (Preglednica 4).

4.3.1 Čelne razpoke

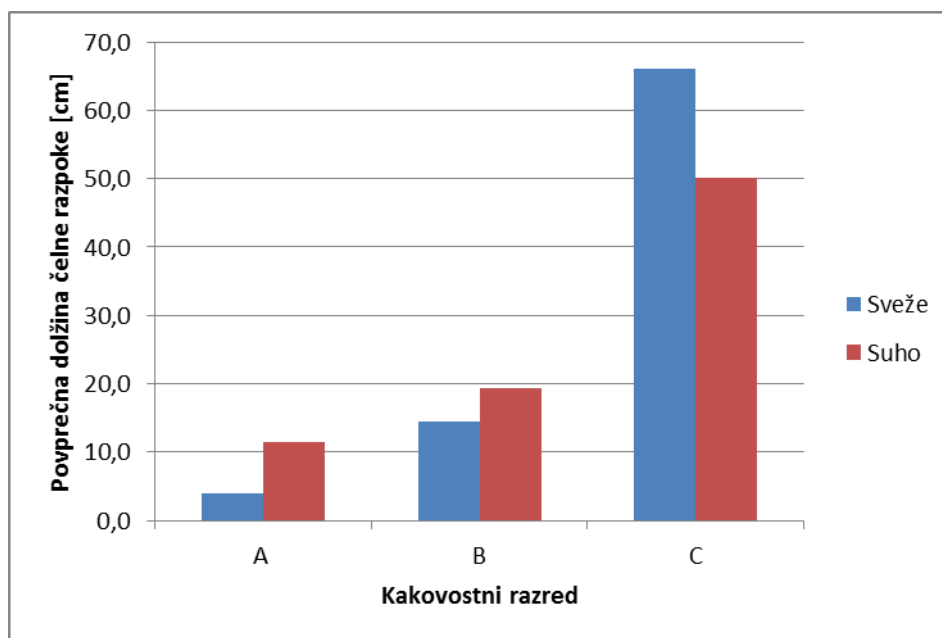
Če primerjamo število čelnih razpok po posameznih kakovostnih razredih, ugotovimo, da se v vseh kakovostnih razredih le te po zaključenem sušenju povečajo za približno trikrat (Slika 20). Povečanje števila čelnih razpok lahko pripisujemo ostrini oz. režimu sušenja in orientaciji deske ter poteku lesnih vlaken.



Slika 20: Povečanje števila čelnih razpok na element po posameznih kakovostnih razredih

Dolžina čelnih razpok, poklin in poklin ob grčah je ključna pri uporabni površini deske, ki se bo v prihodnje uporabila za izdelke. Čelne razpoke v kakovostnem razredu A po končanem sušenju ne presegajo 12 cm, na začetku pa so bile velike do 4 cm. V

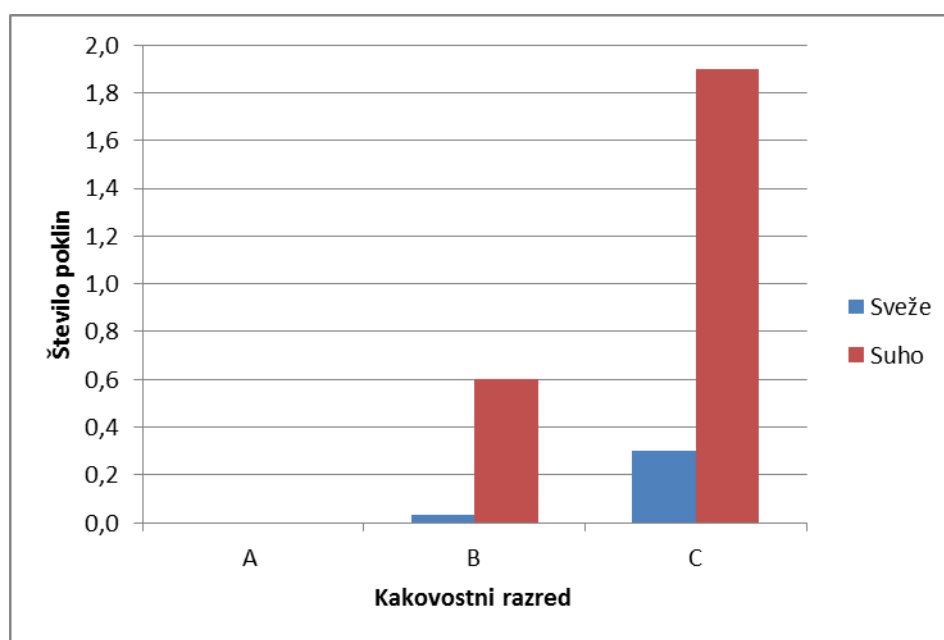
kakovostnem razredu B so bile na začetku dolge 15 cm, na koncu sušilnega procesa pa malo pod 20 cm. Pri kakovostnem razredu C pa je situacija obrnjena, ker se je po končanem sušilnem procesu povprečna dolžina čelnih razpok zmanjšala iz 65 cm na 50 cm. To se je zgodilo zaradi povečanja števila desk v kakovostnem razredu C, ki po končanem procesu sušenja niso več ustrezale kakovostnima razredoma A in B, zaradi prevelikega števila ali pa prevelikih čelnih razpok, poklin in poklin ob grčah (Slika 21). Sicer pa pri posameznih deskah ni prišlo do zmanjšanja dolžine čelnih razpok po sušenju lesa.



Slika 21: Povprečna dolžina čelnih razpok na element v posameznih kakovostnih razredih

4.3.2 Pokline in pokline ob grčah

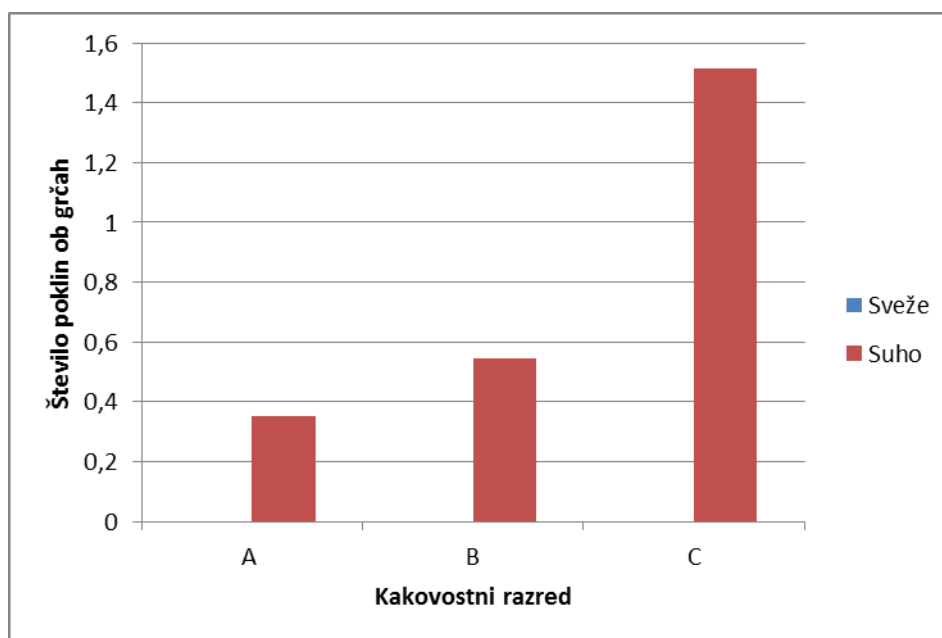
Ugotovili smo, da pokline in pokline ob grčah nimajo izrazito enakih povečanj po kakovostnih razredih kot pa čelne razpoke. Prvo zaradi tega, ker so se te napake pojavile skoraj izključno med sušenjem in jih pri sveže razžaganih deskah ni bilo. Sicer pa velja, da imajo deske nižje kakovosti več grč in je tudi zaradi tega bistvena razlika (Slika 22, 23).



Slika 22: Povečanje števila poklin na element pri posameznih kakovostnih razredih

V kakovostnem razredu A že pred sušilnim procesom ni bilo prisotnih ne poklin kot tudi ne poklin ob grčah. V tem kakovostnem razredu so se po sušilnem postopku pojavile samo pokline ob grčah, ki jih je bilo v povprečju 0,2 na desko. V naslednjem kakovostnem razredu so pred sušilnim procesom že bile prisotne pokline, povprečno 0,03 pokline na desko, poklin ob grčah pa ni bilo. Po sušilnem procesu pa je to število naraslo. Pri poklinah je povprečno število naraslo na 0,6 pokline na desko, pri poklinah ob grčah pa je iz 0 zraslo na povprečno 0,52 pokline ob grčah na desko. V zadnjem kakovostnem razredu C so pred sušilnim procesom bile prisotne samo pokline in to 0,3 pokline na desko. Po zaključenem sušilnem procesu pa so se te vrednosti bistveno zvišale. Pokline so se povečale na

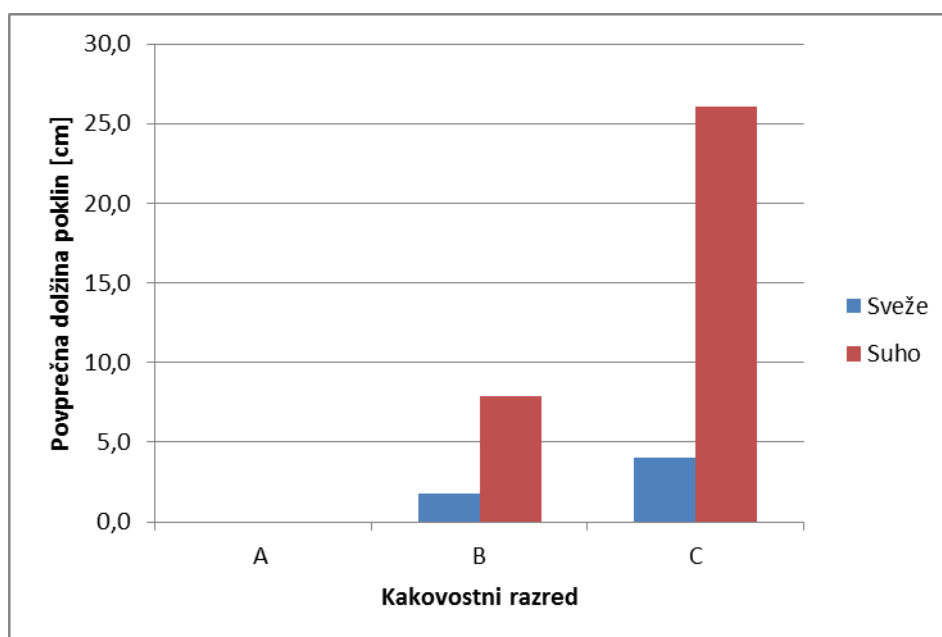
povprečno za 1,9 pokline na desko, pokline ob grčah pa na povprečno na 1,5 pokline ob grčah na desko (Sl. 22,23).



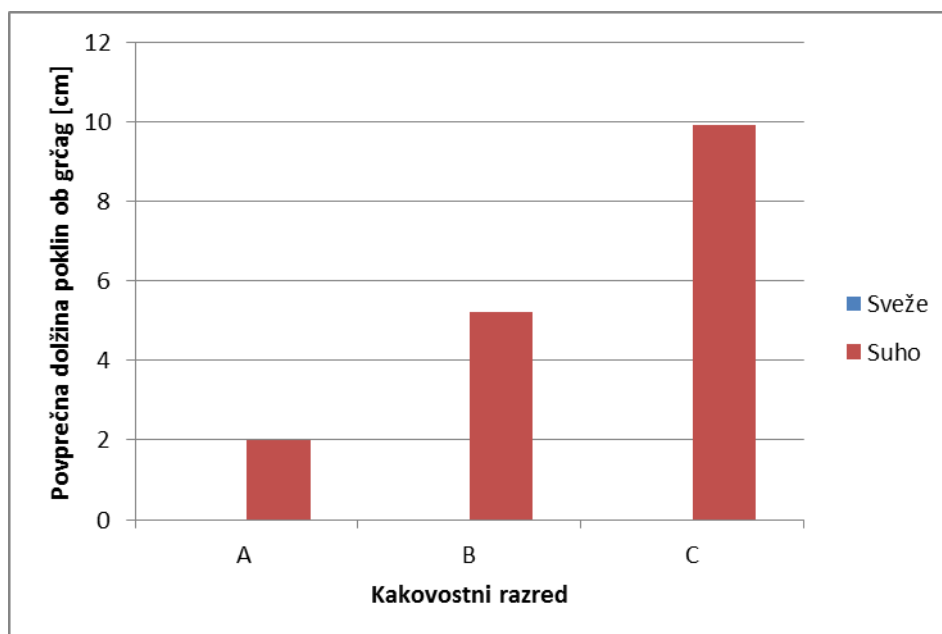
Slika 23: Povprečno število poklin ob grčah na element v posameznih kakovostnih razredih

Dolžine poklin in poklin ob grčah so se z nižanjem kakovostnih razredov povečevale in tako manjšale uporabno površino desk (Slika 24, 25). V kakovostnem razredu A poklin ni bilo. V kakovostnem razredu B pa je povprečna dolžina poklin na element zrasla iz 2 cm na 7,5 cm. V najslabšem kakovostnem razredu pa se je povprečna dolžina pokline na element povečala iz 4 cm na 26 cm.

Pri poklinah ob grčah pa so se vse dolžine povečale za 100 %. V kakovostnem razredu A so bile po končanem sušilnem procesu pokline ob grčah povprečno dolge 2 cm na element, v kakovostnem razredu B za 5 cm in v kakovostnem razredu C pa povprečno slabih 10 cm na element.



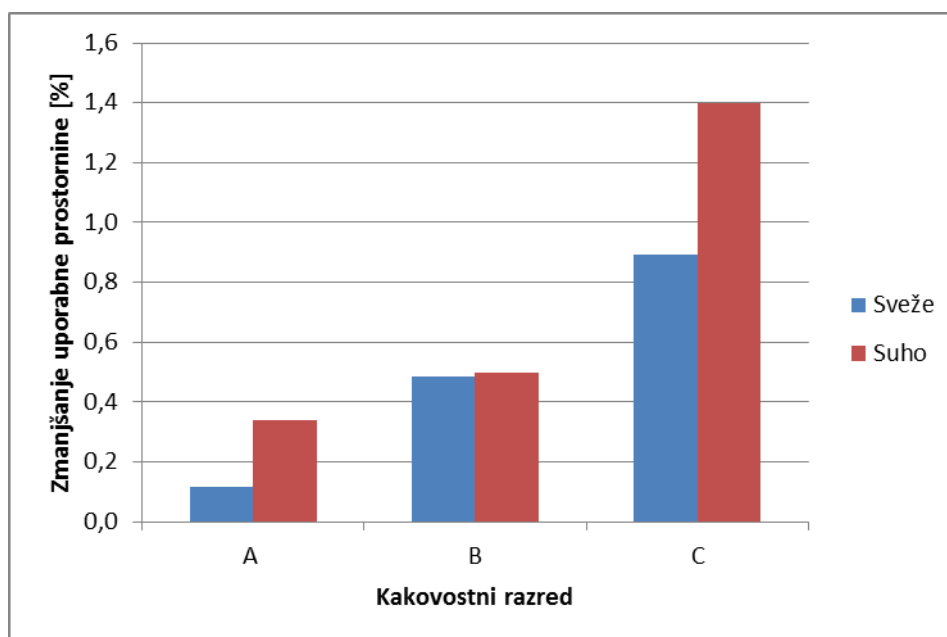
Slika 24: Povprečna dolžina poklin na element v posameznih kakovostnih razredih



Slika 25: Povprečna dolžina poklin ob grčah na element v posameznih kakovostnih razredih

4.4 UPORABNA PROSTORNINA ŽAGANEGA LESA

Predhodna kakovost lesa je značilno vplivala h kakovosti lesa po koncu sušilnega procesa. Napake, ki so nastale med sušenjem, so vplivale na uporabno prostornino lesa in na znižanje kakovostnega razreda. Uporabna prostornina v kakovostnem razredu A je bila pred sušilnim procesom 99 % prostornine na element, po procesu sušenja pa se je zmanjšala na 97 %. V kakovostnem razredu B je pred sušilnim procesom uporabna prostornina znašala 95 % na element, po koncu pa je padla za 0,2 %. V zadnjem kakovostnem razredu C pa je pred sušilnim procesom uporabna prostornina znašala 91 % prostornine na element, po sušilnem procesu pa le slabih 86 % prostornine na element (Slika 26).



Slika 26: Zmanjšanje uporabne prostornine na element v posameznem kakovostnem razredu

Površina se je zmanjšala zato, ker so se napake povečale zaradi sušenja, ki je povezano z izhajanjem vode iz lesa ter krčenjem lesa. Pričakovano je bilo, da se med sušenjem te napake povečujejo in jih je nemogoče povsem preprečiti. Lahko jih samo omilimo z

različnimi preventivnimi postopki pred sušenjem, kot je denimo premazovanje čel s premazi za počasnejše izhajanje vode, ter z mehansko zaščito. Napake lahko omilimo tudi z nižanjem ostrine sušenja, kjer so prisotne sušilne napetosti manjše, s tem pa se zmanjša verjetnost za nastanek razpok. Ob tem pa je potrebno tudi upoštevati, da milejša ostrina sušenja pomeni daljši sušilni postopek. Zato spada sušenje med kompleksnejše tehnološke procese, kjer moramo dobro poznati inherentne lastnosti materiala ter učinkovito spremljati sušilne parametre. Cilj sušenja lesa je doseganje ustrezne kakovosti lesa v najkrajšem možnem času, kar posledično omogoča ekonomsko učinkovitost postopka (Gosar 2007, Cimprič 2006, Firšt 2013).

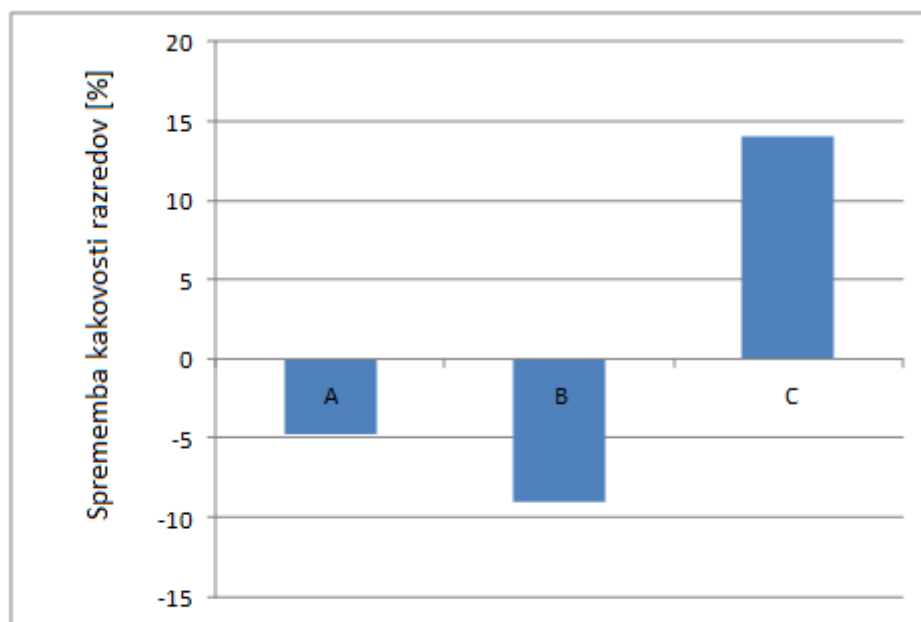
4.5 ZNIŽANJE KAKOVOSTI ŽAGANEGA LESA PO KONVEKCIJSKEM KOMORSKEM SUŠENJU

Druga negativna stran sušenja lesa je znižanje kakovostnega razreda kot posledica povečanja napak v lesu. Iz kakovostnega razreda A je zaradi prevelikega števila napak, ki so nastale med sušenjem, izpadlo 8 desk, iz kakovostnega razreda B je izpadlo 15 desk, kar se je na koncu odrazilo v kakovostnem razredu C, kjer pa se je število desk povečalo za 23 (Preglednica 5).

Preglednica 5: Sprememba števila desk v posameznih kakovostnih razredih pred- in po koncu sušenja

Kakovostni razred	Pred sušenjem (kom)	Po sušenju (kom)	SPREMEMBA (kom)
A	25	17	-8
B	59	44	-15
C	80	103	23

Tako se je število desk v kakovostnem razredu C povečalo za 14 %, kakovostna razreda A in B pa sta se po obsegu zmanjšala, A za slabih 5 % in B razred pa za dobrih 9 % (Slika 27).



Slika 27: Sprememba deležev desk v posameznem kakovostnem razredu po koncu sušenja

5 SKLEPI

Pri sušenju lesa se zaradi izrazite anizotropije krčenja soočamo z nehomogenimi geometrijskimi in dimenzijskimi spremembami sortimentov. Med postopkom sušenja nastajajo sušilne napetosti, ki pogosto povzročajo trajne ireverzibilne deformacije in napake v materialu ter slabši izkoristek. V tem procesu je manj raziskan vpliv strukturnih anomalij, ki določajo že kakovost vlažnega lesa, na materialni izkoristek in celokupno porabo energije po koncu procesa.

V raziskavi smo preverili, ali obstaja korelacija med vstopno in izstopno kakovostjo osušenega lesa, in če se materialni izkoristek posušene bukovine v standardnem industrijskem sušilnem postopku povečuje z višanjem vstopne kakovosti žaganega lesa. Obe predpostavki lahko potrdimo, tako korelacijo med vstopno in izstopno kakovostjo osušenega lesa, kot tudi dejstvo, da se materialni izkoristek povečuje z višanjem vstopne kakovosti žaganega lesa.

Podrobnejša raziskava napak pa je potrdila, da se na primer čelne razpoke lesa pojavljajo že pred sušilnim procesom in med potekom postopka. Število razpok na element se je značilno povečalo, tudi do 3x v posameznem kakovostnem razredu, vendar pa ne moremo trditi, da je glavni razlog za njihov nastanek sušilni proces.

Za nastanek poklin in poklin ob grčah pa lahko rečemo, da so večinoma nastale samo po sušilnem procesu. Pri lesu v kakovostnem razredu A to ni tako očitno, ker poklin pred sušenjem ni bilo, pokline ob grčah pa so nastale samo po sušilnem procesu (0,38 pokline na element, dolžine 2 cm na element). Pri lesu v kakovostnih razredih B in C pa je ta sprememba bolj očitna. V B kakovostnem razredu so se pokline po sušilnem procesu povečale za 95 %, pokline ob grčah pa za 100 %. V kakovostnem razredu C so rezultati bili podobni kot v kakovostnem razredu B. Pokline so po sušilnem procesu narasle za 80 %, pokline ob grčah pa za 100 %. Dolžine poklin so se v kakovostnem razredu B povečale za 5,5 cm na element, v kakovostnem razredu C pa za 22 cm na element. Dolžine poklin ob

grčah pa so bile po končanem procesu v kakovostnem razredu B dolge 5 cm na element, v kakovostnem razredu C pa slabih 10 cm na element.

Na uporabno prostornino materiala v tej nalogi gledamo bolj teoretično. Izračunan materialni izkoristek, da se v kakovostnem razredu A uporabna prostornina po sušilnem procesu zmanjša za 2 % na element, v kakovostnem razredu B za komaj 0,2 % na element in v kakovostnem razredu C za 5 % na element, lahko v praksi bistveno spremenimo. S primerno tehnologijo in krojenjem materiala lahko predvsem v slabših kakovostnih razredih povečamo uporabno prostornino materiala, kar nam posledično poveča število izdelkov in zmanjša količine ostankov materiala.

Raziskava je potrdila tudi vpliv sušenja na razvrščanje lesa v kakovostne razrede. Prirastek napak in posledično razvrščanje v nižji kakovostni razred je bilo v kakovostnem razredu B večje (izpadlo je 15 desk) kot v kakovostnem razredu A (izpadlo je 8 desk). To pomeni, da je pričakovati količinsko večje znižanje kakovosti žaganega lesa pri nižji izhodiščni kakovosti le tega.

6 VIRI

1. Cimprič H. 2006. Obnašanje mokrega srca jelovine pri različnih intenzivnostih sušenje. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 78 str.
2. Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 186 str.
3. EOS standard 2006. Grading rules for unedged lumber. European Organization for the Sawmill Industry: 5 str.
4. Firšt U. 2013. Vpliv procesnih parametrov sušenje na razvoj deformacij in napetosti v bukovini. Magistrsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 81 str.
5. Furlan F., Košir B. 2006. Vrednotenje okroglega lesa. Zveza gozdarskih društev Slovenije, Gospodarsko ineresno združenje gozdarstva. Zbirka Gozdarski nasveti, št.6.
6. Gorišek Ž., Geršak M., Velušček V., Čop T., Mrak C. 1994. Sušenje lesa. Ljubljana, Zveza društev inženirjev in tehnikov lesarstva Slovenije, Lesarska založba: 235 str.
7. Gorišek Ž. 2009. Les: Zgradba in lastnosti - njegova variabilnost in heterogenost. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 178 str.
8. Gosar M. 2007. Vpliv kakovosti smrekovine na izkoristek osušenega žaganega lesa. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 51 str.

9. SIST EN 1316-1 Okrogli les listavcev – razvrščanje po kakovosti – 1. del: hrast in bukev. 2013: 9 str.
10. SIST EN 13183-1: 2003. Delež vlage v žaganem lesu- 1. del: Določevanje s sušenjem v pečici. Moisture content of a piece of sawn timber- Part1: Determination by oven dry method.
11. SIST EN 13183-2: 2003. Delež vlage v žaganem lesu – 2. del: Ocena z metodo električne upornosti. Moisture content of a piece of sawn timber – Part 2: Estimation by electrical resistance method.
12. SIST ENV 14464: 2003. Žagan les – Metoda za ocenjevanje zaskorjenosti. Sawn timber - Method of assessment of case-hardening.
13. Vodopivec B. 1998. Ocenjevanje sušenja z vidika postopka in kakovosti lesa. Diplomaska naloga. Ljubljana. Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 66 str.
14. Zupančič M., Krže L., 2008. Makroskopska identifikacija lesa, Gradivo za vaje. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 27str.
15. Welling, J. 1994. EDG – Recommendation. Assesment of drying quality of timber, Pilot edition (for testing).

ZAHVALA

Za izvedbo diplomskega projekta se hvaležno zahvaljujem svojemu mentorju doc. dr. Alešu Stražetu, ki mi je prijazno nudil pomoč in svetovanje pri njegovi izdelavi, somentorici doc. dr. Dominiki Gornik Bučar in recenzentu prof. dr. Željku Gorišku.

Zahvaljujem se tudi podjetju Snežnik d.d., iz Kočevske Reke, ki je priskrbelo les in omogočilo izvedbo projekta.

Rad bi se zahvalil tudi vsem posameznikom, ki so kakor koli sodelovali in pomagali pri projektu, vse od prvega dne, ko smo obiskali podjetje Snežnik d.d., do konca, ko sem diplomsko delo oddal v tisk.

Posebna zahvala tudi moji družini, sorodnikom, prijateljem in sošolcem, ki so mi vsak na svoj način pomagali med potekom celotnega študija in mi nudili oporo.

