



VPLIV SUŠILNEGA POSTOPKA NA KAKOVOST IN IZKORISTEK BUKOVEGA ŽAGANEGA LESA

IMPACT OF THE DRYING PROCESS ON THE QUALITY AND UTILIZATION RATE OF SAWN BEECHWOOD

Aleš Straže^{1*}, Maks Merela¹, Katarina Čufar¹, Bogdan Šega¹, Dominika Gornik Bučar¹, Željko Gorišek¹

UDK 630*847

Izvleček / Abstract

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Izvleček: Ocenjevali smo kakovost bukovega žaganega lesa pred in po industrijskem normalno-temperaturnem konvekcijskem komorskem sušenju in po sušenju na prostem. Pri svežih žaganicah debeline 42 mm, dolžine 2,6 m do 5 m, smo izmerili dimenzije ter določili število in velikost čelnih in površinskih razpok ter poklin na grčah. Deskam smo določili še orientacijo in smer lesnih vlaken, število in velikost grč, prisotnost rdečega srca in veženja. S temi kriteriji smo deske razvrstili po kakovosti pred in po koncu sušenja v skladu s pravili Evropskega združenja žagarske industrije (EOS). Ugotovili smo značilen vpliv obeh sušilnih postopkov na pojav sušilnih napak, razlik med postopkoma nismo potrdili. Najbolj se je po sušenju povečalo število in velikost površinskih razpok, še posebej v nižjih B- in C-kakovostnih razredih, kot tudi čelne razpoke. Slednje so prispevale največ k nižanju kakovosti žaganic po sušenju iz A- v B- ali nižji kakovostni razred. Po tehničnem in naravnem sušenju smo 20 % in 33,3 % kakovost žaganic ocenili slabše. Prispevek je del raziskave sledenja kakovosti lesa bukve (*Fagus sylvatica*) od gozda do izdelka.

Gljučne besede: les, bukev (*Fagus sylvatica*), konvekcijsko komorsko sušenje, sušenje na prostem, napake pri sušenju, kakovost lesa

Abstract: We estimated the quality of beech (*Fagus sylvatica*) sawn timber before and after the industrial normal-temperature convection kiln drying and after air drying. We analysed 42 mm thick and 2.6 m to 5 m long boards, where we measured the number and size of end- and surface cracks, and fissures close to the knots. The orientation and direction of the wood grain, the number and size of knots as well as occurrence of red-heart and twisting were also determined. We ranked the boards using these criteria before and after the end of the drying processes in accordance with the standard of the European Organization of the Sawmill industry (EOS). We found a significant effect of drying on the occurrence of drying defects, but differences between the two procedures were not confirmed. The increase in the number and size of the surface and end cracks, especially in the boards assessed to lower B- and C-classes was obvious. The latter mainly contributed to the lowering of the quality of the sawn timber after drying from the A- to B- or lower class. After the kiln and air drying 20 % and 33 % of the sawn timber quality was degraded, respectively. The presented research was part of a larger study where we followed the quality of the beech timber from the forest to the final product.

Keywords: wood, beech (*Fagus sylvatica*), kiln drying, air drying, drying defects, timber quality

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Kakovost sušenja lesa, kot ključnega postopka v procesu predelave lesa od gozda do izdelka, ocenjujemo z vidika pojava napak, ki nastanejo v samem postopku. Sušenje je razmeroma dolgotrajen in energetsko zahteven, a nujen predelovalni postopek, med katerim pride do bistvenih sprememb v fizikal-

nih in mehanskih lastnostih lesa. To za les predstavlja precejšnje obremenitve in s tem pogosto pojavljanje mehanskih poškodb, kot so raznovrstne razpoke in veženja (Cassens, 2002; Gorišek et al., 1994; Gorišek & Straže, 2007; Gorišek et al., 2000; Straže & Gorišek, 2011a; Straže et al., 2011; Welling, 2010), ali različnih obarvanj abiotskega ali biotskega izvora (Gorišek, 1995; Gorišek et al., 2000; Koch et al., 2003).

Sušilne napake predstavljajo razvrednotenje lesa, kar se odraža pri razvrščanju žaganega lesa v nižje kakovostne razrede, na tržišču pa se dosegajo nižje cene (Gorišek & Pervan, 1999; Jameson et al., 2004; Pervan et al., 2006).

¹ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, SLO

* e-pošta: ales.straze@bf.uni-lj.si; telefon: 01-320-3635

Zaradi individualnih karakteristik različnih lesnih vrst in kategorij lesa, kot so juvenilni, kompresijski, tenzijski les ali les iz krošnje, se je mnogim napakam sušenja težko izogniti, z neustreznim vodenjem sušenja pa se nastanek napak le še stopnjuje (Keisuke et al., 2011). Težave še povečuje izrazita anizotropija krčenja in ortotropne mehanske lastnosti (Perre & Turner, 2007). Pri ocenjevanju kakovosti se zato pogosto težko opredelimo ali so vzroki za nastale napake značilna zgradba in inherentne lastnosti lesa ali pa nestrokovno vodenje sušilnega postopka (Welling, 2010).

Sušenje bukovine glede na njeno gostoto običajno poteka ugodno. Prevodnost beljave je dobra, zato je sušenje svežega lesa razmeroma hitro (Perre & Turner, 2007; Rosenkilde, 2002; Straže & Gorišek, 2011b). Spomladi je primerno tudi sušenje na prostem. Sušenje bukovine z rdečim srcem poteka bistveno počasneje in lahko pride do kolapsa lesa (Gorišek & Straže, 2009). Ker ima rdeče srce nizko permeabilnost, se težave kažejo tudi pri intenzivnih postopkih sušenja (vakuumskem, visokofrekvenčnem), pri krivljenju in impregnabilnosti (Gorišek & Straže, 2009). Pri sušenju pod točko nasičenja celičnih sten je sušenje bukovine neugodno (Straže & Gorišek, 2009), saj je zaradi velikega krčenja nagnjena k pokanju in velikim deformacijam prečnega prereza (Cividini et al., 2007). Pri večjih debelinah tangencialno orientiranega žaganega lesa moramo biti pazljivi na nastanek zaskorjenja ali celo satavosti (Gorišek & Straže, 2012). Počasno sušenje in nezadostno prepihanje pogosto vodi do biotskega obarvanja bukovine, v konvencionalnem sušenju pa se pri debelejših sortimentih pogosto pojavi obarvanje sredice. Svežo bukovino zato čim hitreje nalletvičimo in sušimo pri nižjih temperaturah s hitrostjo zraka vsaj 2 m/s in pri relativni zračni vlažnosti 65 %.

Pravilna izbira in načrtovanje sušilnega postopka ter vestno vodenje in izvajanje ustreznih ukrepov so bistvenega pomena za ohranjanje oziroma povečanje kakovosti osušenega lesa. Osušen les ima boljše mehanske lastnosti, je dimenzijsko stabilen, je manj dovzeten za okužbe s škodljivci in povzroča manj težav v nadaljnjih predelovalnih postopkih (Gorišek et al., 1994).

Na osušenem lesu najprej opazimo zunanje razpoke. Najbolj očitne so čelne reže, ki lahko nastanejo zaradi sproščanja rastnih napetosti že pred suše-

njem (Gorišek & Straže, 2009; Oltean et al., 2007). Nastanek razpok lahko delno preprečimo z mehanskimi spojkami in s pravilnim zlaganjem v prizmatične zložaje, tako da distančne letvice postavimo na sam rob zložaja (Straže et al., 2010). Napoke ali reže pa nastanejo tudi zaradi visoke prečne natezne napetosti, ki se pojavi zaradi hitrega sušenja čelnih površin. Hitrejše sušenje omogočata učinkovita toka proste in vezane vode v vzdolžni smeri, zaradi česar nastane vzdolž sortimenta visok vlažnostni gradient. Hitro sušenje čel preprečujemo s paro neprepustnimi premazi in z načrtovanjem primernih programov sušenja, ki so za določeno lesno vrsto usklajeni z njenimi permeabilnostnimi in difuzijskimi karakteristikami (Gorišek & Straže, 2009).

Površinske razpoke ali pokline izključno pripisujemo nestrokovnemu pristopu k sušenju. Pokline nastanejo na začetku sušenja na tangencialnih površinah, pri lesnih vrstah, ki so slabo permeabilne. Površina se pri preostrih pogojih sušenja hitro osuši pod točko nasičenja celičnih sten, sredica pa ostane še vlažna (Oltean et al., 2007; Salin, 2008; Salin, 1992). Krčenje površine povzroči nastanek površinskih natezних napetosti, kar ob prekoračitvi trdnosti vodi do »pretrganja« lesnega tkiva (Keisuke et al., 2011). Da preprečimo nastanek poklin, moramo na začetku sušenja psihrometrsko razliko in hitrost gibanja zraka uskladiti s kapilarnim tokom proste vode iz sredice lesa proti površini (Welling et al., 2003), učinkovito pa je tudi sušenje v oscilirajoči klimi (Milić et al., 2013; Salin, 2003). Pri sušenju do nižjih končnih vlažnosti se napetostno polje obrne, kar privede do zapiranja površinskih razpok. Po sušenju zato pokline pogosto spregledamo, kot napako pa jih ponovno zaznamo v nadaljnjih postopkih predelave, najpogosteje pri površinski obdelavi.

Pomembno vlogo pri ocenjevanju kakovosti sušenja ima zaskoritev in pojav satastih razpok, ki so posledica sušilnih napetosti. Zaradi diferencialnega krčenja se sušilnim napetostim v konvencionalnih postopkih sušenja ne moremo izogniti, zato je zelo pomemben strog nadzor nad vlažnostnim gradientom. Če zaskorjenje še pravočasno opazimo, ga odpravimo s krajšimi periodami navlaževanja površin, na koncu sušenja pa je obvezno opraviti še fazo kondicioniranja. Bukovina je zaradi velikih skrčkov še posebej nagnjena k zaskorjenju.

Kakovost posušenega žaganega lesa je posledično značilno odvisna tudi od postopka sušenja.

Žagan les razvrščamo v skladu z veljavnimi standardi, ki največkrat vključujejo vizualno preverjanje značilnosti lesa ter prisotnosti strukturnih anomalij. Kakovost žaganega lesa lahko ocenjujemo na podlagi evropskega standarda SIST EN 975-1 (2009), ki podaja razvrstitev hrastovega in bukovega nerobljenega in robljenega žaganega lesa na podlagi pravil Evropskega združenja žagarske industrije (EOS), na podlagi pravil Ameriškega združenja proizvajalcev žaganega lesa listavcev (NHLA), svoja merila pa imajo tudi nekateri večji proizvajalci žaganega lesa (Marenče et al., 2016). Razvrščanje se lahko izvaja

na svežem ali suhem lesu, seveda pa pri razvrščanju svežega lesa ni mogoče upoštevati sprememb oz. poškodb, do katerih pride med procesom sušenja lesa.

Cilj te raziskave je bil preveriti vpliv normalno-temperaturnega konvekcijskega komorskega sušenja in naravnega sušenja na kakovost bukovega žaganega lesa. V okviru raziskave smo proučili pojav, velikost in vrste sušilnih napak glede na značilnosti in razvrstitev žaganic po kakovosti. Raziskava je del širše študije, kjer smo spremljali kakovost lesa od gozda do izdelka.

Preglednica 1. Opis kakovostnih razredov po pravilih razvrščanja Evropskega združenja žagarske industrije (EOS, 2010)

Table 1. Description of quality classes according to EOS (2010) grading rules

LASTNOST	RAZRED A	RAZRED B	RAZRED C
Dolžina	≥ 2,10 m	≥ 2,10 m	90 % ≥ 2,10 m 10 % ≥ 1,80 m
Min. širina (d-debelina; š-širina)	d ≤ 32 mm; š ≥ 100 mm d > 32 mm; š ≥ 120 mm	d ≤ 32 mm; š ≥ 100 mm d > 32 mm; š ≥ 120 mm	d ≤ 32 mm; š ≥ 100 mm d > 32 mm; š ≥ 120 mm
Zdrave grče	80 % površine obeh strani brez grč; 20 % so lahko male (velikost maks. 10 % širine deske) na dolžino 2,10 m	Dovoljene male grče (velikosti maks. 15 % širine deske) na obeh straneh in 1 velika (>70 mm)) na tekoči meter, če je kompenzirano z velikostjo	Dovoljene
Nezdrave grče	Niso dovoljene	Ena grča (≤ 70 mm) dovoljena na tekoči meter, če je kompenzirano z velikostjo	Dovoljene
Odklon vlaken	Raven potek	Rahel odklon vlaken	Dovoljene odklon
Valovitost vlaken	Ni dovoljeno	Dovoljeno	Dovoljeno
Vrasla skorja	90 % brez na obeh straneh deske, 10 % dovoljeno, če je kompenzirano z velikostjo	Dovoljeno, če je kompenzirano z velikostjo	Dovoljeno, če kompenzirano z velikostjo
Trohnoba	Ni dovoljena	Dovoljena, če je izolirana (jasno razmejena od ostalega lesa) in kompenzirana z velikostjo	Dovoljena, če je kompenzirana z velikostjo
Obarvanja	Ni dovoljeno	Dovoljeno, če je izolirano in kompenzirano z velikostjo	Dovoljeno, če je kompenzirano z velikostjo
Rdeče srce	80 % površine obeh strani brez, 20 % površine na spodnji strani dovoljeno, če ne presega 10 % širine	Dovoljeno 10 % na zg. strani	Dovoljeno na obeh straneh, če na vsaki strani ostane 12 cm neobarvanega lesa
Ukrivljenost	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. Neravne razpoke dovoljene, če so kompenzirane z velikostjo	Ravne in neravne razpoke dovoljene do 40 % dolžine

2 MATERIAL IN METODE

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 VZORČENJE HLODOVINE

2.1 LUMBER SAMPLING

Svež bukovi žagan les debeline 42 mm smo izdelali iz hlodovine, pridobljene na Kočevskem (1. skupina), ter z območja severovzhodne Slovenije (2. skupina), s posekom 10 bukovih dreves z vsakega rastišča. Pri poseku smo v posamični skupini izbrali po 2 drevesi iz 5 kakovostnih razredov, določenih po 5-stopenjski lestvici Zavoda za gozdove Slovenije, ZGS (Navodila ..., 2010). Hlodovina iz posamičnih dreves je izvirala iz različnih delov drevesa (1.-3. hlod) in različnih dolžin, kar je vplivalo tudi na kakovost hlodo-

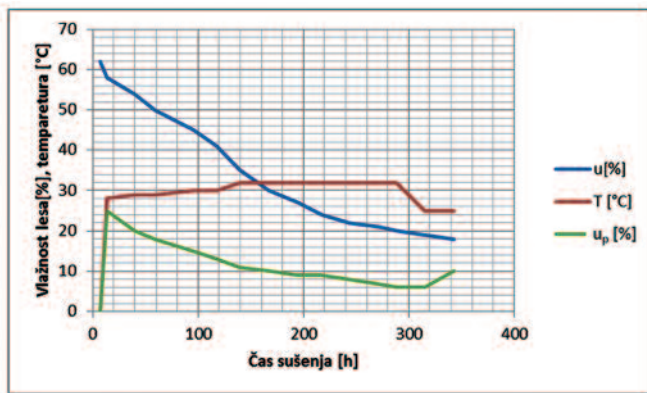
vine, določene po standardu SIST EN 1316-1 (2013), ter posledično na začetno kakovost žaganega lesa. V proučevanih skupinah smo iz hlodovine pridobili 141 (1. skupina) in 167 žaganic (2. skupina), dolžin med 2,6 m in 5 m.

2.2 RAZVRŠČANJE ŽAGANEGA LESA

2.2 QUALITY GRADING OF SAWN WOOD

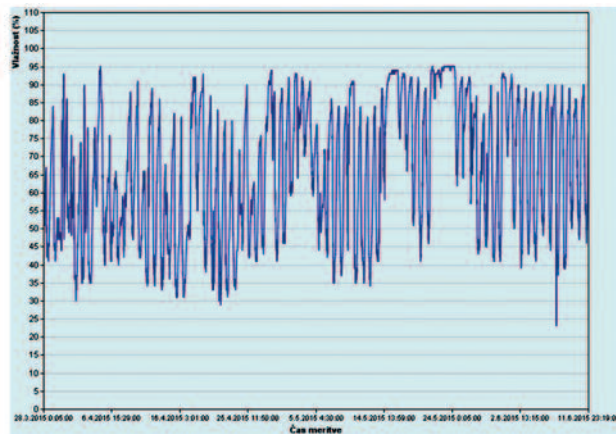
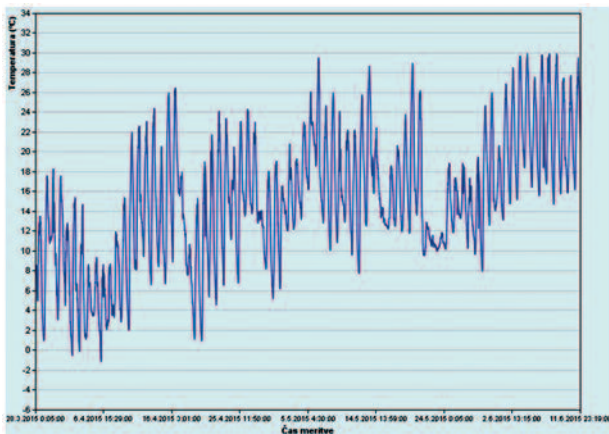
Po razžagovanju s tračnim žagalnim strojem smo žaganice izmerili (širina in dolžina), fotografirali ter žagan les klasificirali glede na vizualno določene značilnosti. Za razvrščanje smo uporabili pravila Evropskega združenja žagarske industrije (EOS – »European Organization of the Sawmill Industry«)

Faza	Lesna vlažnost [%]	Temperatura [°C]	Ravnovesna vlažnost [%]
Segrevanje	60	30	24
Sušenje	60	30	22.1
Sušenje	54	30	19
Sušenje	48	31	16
Sušenje	41	31	14
Sušenje	34	32	12
Sušenje	30	32	10
Sušenje	23	35	9
Sušenje	20	35	7
Sušenje	18	35	6.5
Sušenje	16	35	6.2
Izenač. in kond.	16	35	6.7
Ohlajanje	16	25	10.5



Slika 1. Program konveksijskega komorskega sušenja bukovine (levo) in sušilna krivulja postopka (desno): u – povprečna vlažnost lesa, T – temperatura sušenja in u_p – ravnovesna vlažnost lesa.

Figure 1. Drying schedule (left) and drying curve of kiln drying of beech sawn wood (right): u – moisture content, T – drying temperature and u_p – equilibrium moisture content.



Slika 2. Nihanje temperature (levo) in relativne zračne vlažnosti (desno) v obdobju naravnega sušenja bukovega žaganega lesa na pokritem skladišču podjetja Murales d.d. Ljutomer

Figure 2. Temperature (left) and relative humidity (right) variation during air drying of beech sawn wood in the covered timber yard of Murales d.d. Ljutomer

(Preglednica 1) in razvrstili žaganice v tri kakovostne razrede A, B in C (EOS, 2010).

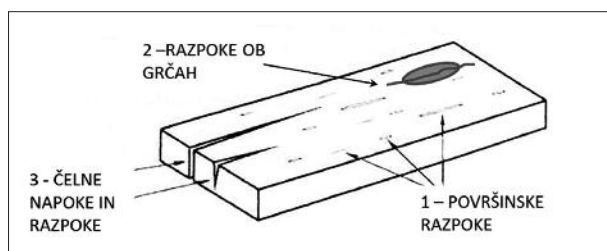
2.3 SUŠENJE LESA

2.3 WOOD DRYING

2.3.1 Sušilni postopki

2.3.1 Drying procedures

V raziskavi smo na proučevanih skupinah žaganic izvedli posamično normalno-temperaturno konvekcijsko komorsko sušenje (1. skupina) in sušenje na prostem (2. skupina). Konvekcijsko komorsko sušenje je potekalo pri blagih pogojih iz svežega stanja do 16 % končne vlažnosti, ki smo jo dosegli po 14 dnevih sušenja (Slika 1). Vlažnost lesa smo med sušenjem spremljali elektro-uporovno (SIST EN 13183-2, 2003), ob koncu sušenja pa še dodatno gravimetrično (SIST EN 13183-1, 2003).



Slika 3. Vrednotenje napak v proučevanih sušilnih postopkih

Figure 3. Characterisation of defects during wood drying

Preglednica 2. Razvrščanje žaganega lesa pred (začetek – svež les) in po (konec – osušen les) tehničnem in naravnem sušenju bukovega žaganega lesa v kakovostne razrede od A (najboljši) do C (najslabši), ter les za predelavo (P)

Table 2. Grading of sawn wood before (Start) and after (End) kiln- and air drying of beech sawn wood; quality classes: A (highest) to C (lowest) and wood for conversion (P)

Kakovostni razred / Quality class	Tehnično sušenje / Kiln drying				Naravno sušenje / Air drying			
	Začetek / Start		Konec / End		Začetek / Start		Konec / End	
	Število desk / No. of boards	Delež / Share [%]	Število desk / No. of boards	Delež / Share [%]	Število desk / No. of boards	Delež / Share [%]	Število desk / No. of boards	Delež / Share [%]
A	10	7.1	8	5.7	18	10.8	12	7.1
B	57	40.4	47	33.3	55	32.9	38	22.8
C	74	52.5	73	51.8	94	56.3	87	52.1
P	0	0.0	13	9.2	0	0.0	30	18.0
Skupaj / Sum	141	100.0	141	100.0	167	100.0	167	100.0

Drugo skupino žaganega lesa smo sušili naravno na pokritem skladišču podjetja Murales d.d. Ljutomer, med 27. 3. 2015 in 11. 6. 2015. V tem obdobju je povprečna temperatura naraščala od 8 °C v aprilu do 20 °C v juniju, relativna zračna vlažnost pa je bila povprečno 65 % in je nihala med 30 % in 90 % (Slika 2). Končna vlažnost žaganic je bila med 14 % in 18 %, in je bila primerljiva končni vlažnosti žaganic iz 1. skupine, ki smo jo sušili s konvencionalnim tehničnim postopkom.

2.3.2 Vrednotenje kakovosti sušenja lesa

2.3.2 Characterization of drying quality and the utilization rate

Kakovost posušenega lesa smo ocenjevali na vsaki žaganici posebej. Vrednotenje napak smo izvedli, ko je bil les v svežem stanju, ter po sušenju. Vpliv sušilnega postopka na kakovost posušenega lesa smo primerjalno vrednotili z obsežnostjo napak na svežem in na posušenem žaganem lesu. Kriterije in merila ocenjevanja kakovosti smo postavili glede na velikost in število najbolj značilnih napak: 1- površinske razpoke oz. pokline, 2 - pokline ob grčah, 3 - čelne napoke in razpoke. Na posamični žaganici smo določili še število in skupno dolžino napak (Slika 3).

Izmerjene napake in njihovo povečanje po končanem sušenju smo upoštevali pri ponovnem razvrščanju žaganega lesa po EOS metodologiji (Preglednica 1).

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 RAZVRŠČANJE ŽAGANEGA LESA PO KAKOVOSTI

3.1 QUALITY GRADING OF SAWN WOOD

Pred sušenjem (začetek) so bile v obeh skupinah številčno najmanj zastopane žaganice iz A-kakovostnega razreda; 3 do 5-krat večje število žaganic smo po kakovosti uvrstili v B-razred, 5 do 7-krat več žaganic pa je bilo uvrščenih v C-razred, med skupinama (1. in 2. skupina) pa ni bilo značilnih razlik. Po tehničnem in po naravnem sušenju (konec) se je razmerje kakovostnih razredov žaganega lesa spremenilo (Preglednica 2).

Po obeh postopkih sušenja se je število desk v posameznih razredih kakovosti zmanjšalo. Glede na delež žaganic v posameznem razredu se je količinsko najbolj zmanjšalo število desk v A-razredu, in sicer za 20 % po tehničnem sušenju in za 33 % po naravnem sušenju. Le nekoliko nižje zmanjšanje števila žaganic smo po koncu obeh sušenj potrdili v B-kakovostnem razredu, in sicer med 17,5 % (tehnično sušenje) ter 30,9 % (naravno sušenje). Število desk v C-razredu se je po koncu sušenja v obeh primerih številčno praktično ohranilo (Preglednica 2), kar je posledica razvrednotenja žaganic iz A- in B-razreda in razvrstitev v C-razred (Slika 4). Posledica sušilnih napak zaradi ostrine postopka ali zaradi inherentnih lastnosti lesa je bila prerazporeditev večjega števila desk iz C-kakovostnega razreda v les za predelavo (P-razred). Najslabše razvrščen žagan les (P-razred) je po koncu

tehničnega sušenja predstavljal 9,2 %, po koncu naravnega sušenja pa 18,0 % vsega posušenega lesa. Tem žaganicam je potrebno po koncu sušenja s primarno obdelavo izločiti nastale anomalije, da bi zopet lahko zadostile uporabljenim kriterijem razvrščanja, kar pa značilno zmanjša materialni izkoristek.

3.2 SUŠILNE NAPAKE

3.2 DRYING DEFECTS

Pričakovano so se po obeh postopkih sušenja bukovih žaganic povečale ali na novo pojavile čelne razpoke, med sušenjem pa so nastale površinske razpoke in razpoke ob grčah, katerih velikost in število se je povečevalo z nižanjem kakovosti svežega žaganega lesa (Preglednica 3). Posledično je tudi delež desk z zaznano eno od proučevanih napak po sušenju lesa naraščal z nižanjem razreda kakovosti žaganic. Od proučevanih sušilnih napak smo v svežem stanju zasledili le čelne razpoke, pogosteje pri radialno orientiranih žaganicah iz centralnega dela hlodov. Površinskih razpok, t.j. poklin in poklin ob grčah v svežem žaganem lesu nismo zaznali.

Z vidika doseženih končnih povprečnih velikosti proučevanih napak, kot tudi z vidika povečanja števila teh napak pri obeh postopkih sušenja, smo v glavnem potrdili večje spremembe pri žaganicah v nižjih kakovostnih razredih (Slika 5). Zabeležili smo tudi nekaj izjem. Posebno izrazito povečanje čelnih razpok smo namreč zaznali pri tehnično posušeni žaganicah tudi najboljše kakovosti, ki ga pripisujemo



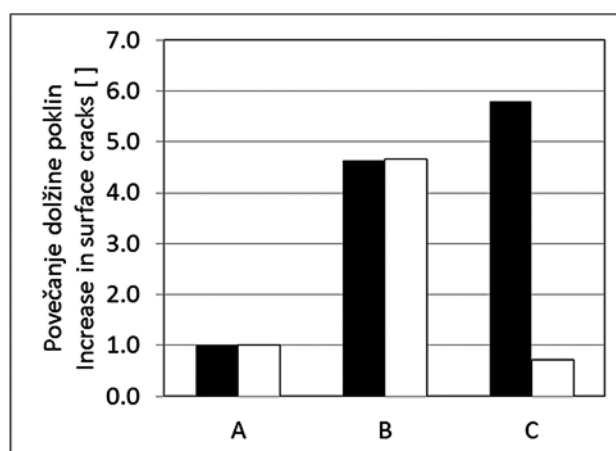
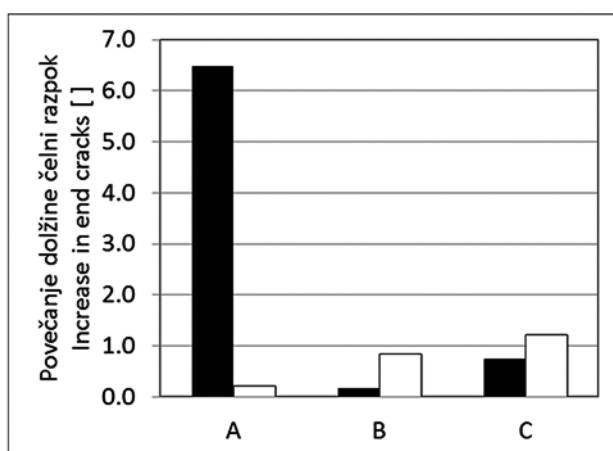
Slika 4. Zmanjšanje deleža desk v posameznem razredu kakovosti desk (A - najboljši do C - najslabši) po tehničnem (■) in naravnem (□) sušenju bukovega lesa

Figure 4. Reduction in the amount of sawn wood in quality classes (A – highest to C – lowest) after kiln (■) and air drying (□) of beech wood

Preglednica 3. Prisotnost sušilnih napak (čelne razpoke, površinske razpoke – pokline, pokline ob grčah) pred (začetek – svež les) in po (konec – osušen les) tehničnem in naravnem sušenju bukovega žaganega lesa po kakovostnih razredih A (najboljši) do C (najslabši)

Table 3. Presence of drying defects (end cracks, surface cracks and surface cracks close to knots) before (Start) and after (End) kiln- and air drying of beech sawn wood per quality class A (highest) to C (lowest)

	Kakovost / Quality	Tehnično sušenje /Kiln drying			Naravno sušenje /Air drying		
		A	B	C	A	B	C
Št. čelnih razpok na žaganico / End cracks per sample	Začetek / Start	0.3	0.5	0.8	0.3	0.3	0.7
	Konec / End	1.5	1.6	1.9	2.8	3.7	3.3
Povprečna dolžina čelnih razpok / Mean length of end crack [cm]	Začetek / Start	2.7	16.6	24.8	11.8	12.3	23.4
	Konec / End	19.8	19.4	43.1	14.2	22.5	51.7
Delež žaganic s čelnimi razpokami / Share of samples with end cracks [%]	Začetek / Start	20.0	42.1	52.7	22.2	25.5	43.6
	Konec / End	87.5	85.1	94.5	91.7	100.0	98.9
Število poklin na žaganico / Number of surface cracks per sample	Začetek / Start	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
	Konec / End	0.1	0.6	1.5	0.1	0.6	1.7
Povprečna dolžina poklin / Mean length of surface cracks [cm]	Začetek / Start	0.0	1.3	2.2	0.0	0.4	3.2
	Konec / End	1.3	7.3	14.7	0.8	2.1	0.9
Delež žaganic s poklinami / Share of samples with surface cracks[%]	Začetek / Start	0.0	1.8	5.4	0.0	1.8	2.1
	Konec / End	12.5	31.9	53.4	8.3	15.8	47.1
Število poklin ob grčah / Number of cracks close by knots	Začetek / Start	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Konec / End	0.1	0.5	1.4	0.0	0.6	2.7
Povprečna dolžina poklin ob grčah / Mean length of cracks close to knots [cm]	Začetek / Start	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Konec / End	1.1	4.6	7.9	0.0	4.2	9.0
Delež žaganic s poklinami ob grčah / Share of samples with cracks close to knots [%]	Začetek / Start	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Konec / End	12.5	38.3	56.2	0.0	44.7	75.9



Slika 5. Povečanje dolžine čelnih razpok (levo) ter površinskih razpok (desno) na bukovih žaganicah po tehničnem (■) in naravnem sušenju (□) po kakovostnih razredih A (najboljši) do C (najnižji)

Figure 5. Increase in end cracks (left) and surface cracks (right) in sawn beech wood after kiln- (■) and air drying (□) per quality class A (highest) to C (lowest)

nadaljnemu sproščanju notranjih napetosti pri večinoma radialnih deskah ter posledici anizotropije krčenja lesa (Slika 6a in 6b). Povečanje površinskih razpok med sušenjem, ki je bilo izrazitejše pri deskah iz nižjih kakovostnih razredov, razlagamo z znano veliko anizotropijo krčenja bukovega lesa ($q_T/q_R = 2,1$) (Gorišek, 2009), kot tudi z večjim odklonom vlaken oz. rasti, ki smo ga zaznali pri žaganicah nižje kakovosti (Slika 6c in 6d). Odklon vlaken v tem primeru povezujemo tudi z velikostjo in številom grč, ki je večje pri žaganicah nižje kakovosti.

Raziskava ni potrdila značilnih razlik z vidika vpliva posameznih sušilnih postopkov, t.j. tehničnega in naravnega sušenja lesa, na kakovost lesa. Začetna kakovost žaganega lesa pred sušenjem je bila v obeh primerih podobna (Preglednica 2), primerljivo pa je tudi degradiranje žaganic po postopkih v nižje kakovostne razrede (Slika 5). Rezultat je pričakovan, saj je tudi tehnično sušenje lesa potekalo pri blagih pogojih (Slika 1). Pričakovati je, da bi se ob uporabi ostrejšega režima tehničnega sušenja sušilne napake še stopnjevale, kar so potrdile podobne raziskave pri iglavcih (Straže & Gorišek, 2011a). Pri bukovini tudi ob ustreznem režimu sušenja pričakujemo značilne razlike v kinetiki sušenja beljave in rdečega srca (Gorišek &

Straže, 2009). V proučevanih sušilnih postopkih smo na polovici žaganic, v večjem deležu v šarži pri tehničnem sušenju lesa, zaznali prisotnost rdečega srca. Prisotnost in interakcija beljave in rdečega srca zlasti zaradi razlik v tekočinski permeabilnosti povzroča v začetni fazi sušenja inducirane in stopnjevanje sušilnih napetosti (Gorišek & Straže, 2009). Sušenje rdečega srca pri bukovini hitreje prehaja v difuzijski režim in s tem v povečevanje vlažnostnega gradienta, neenakomernega krčenja po debelini sortimentov ter do pojava sušilnih napetosti.

4 ZAKLJUČKI

4 CONCLUSIONS

V raziskavi smo potrdili korelacijo med vstopno in izstopno kakovostjo žaganega lesa pri normalno-temperaturnem in naravnem sušenju bukovine. Eksperimentalni rezultati so potrdili naraščanje števila in velikosti sušilnih napak z nižanjem vstopne kakovosti svežega bukovega žaganega lesa. Število čelnih razpok, poklin in poklin ob grčah se je po sušenju povečalo tudi do 5-krat, izraziteje pri površinskih razpokah v B- in C-razredu kakovosti. Med in po obeh postopkih sušenja posledično prihaja do nižanja ka-



Slika 6. Izgled žaganic pred (a, c) in po postopku (b, d) tehničnega sušenja: a) žaganica B-kakovosti pred sušenjem, b) ista žaganica po sušenju, razvrščena v C-kakovostni razred, c) žaganica C-kakovosti pred sušenjem, d) ista žaganica, razvrščena v les za predelavo (P) po sušenju

Figure 6. Appearance of sawn beech wood before (a, c) and after kiln drying (b, d): a) board of B-quality before drying, b) the same board graded to C-quality after drying, c) board of C-quality before drying, d) the same board graded out of the standard (P-quality) after drying

kovosti žaganega lesa. To je v skladu s kriteriji standardov zahtevalo razvrščanje v nižje kakovostne razrede in je privedlo tudi do izločitve 13 % do 30 % žaganic, ki so ostale izven razredov kakovosti po metodologiji razvrščanja Evropskega združenja žagarske industrije (EOS). Značilne razlike med vplivoma normalno-temperaturnega komorskega in naravnega sušenja žaganega lesa na kakovost posušene bukovine niso potrjene, pri čemer je treba omeniti, da je bil izbrani režim komorskega sušenja razmeroma blag.

6 POVZETEK

6 SUMMARY

Drying is a necessary wood manufacturing process leading to substantial changes in the physical and mechanical properties of sawn timber, which, combined with the inherent properties of wood, can cause mechanical defects, such as cracks and twists, as well as discolorations. Besides this, the problems increase due to considerable shrinkage anisotropy and the orthotropic mechanical properties of the wood. Coexistence of different wood categories in the same board, like juvenile or reaction wood, additionally increases the drying problems. The drying process also crucially affects the quality of dried sawn timber.

Sawn timber is classified in accordance with the applicable standards, which often include visual verification of wood characteristics and the presence of structural anomalies. The quality of sawn timber can be estimated on the basis of the European standard EN 975-1 (2009), which specifies the ranking of oak and beech sawn timber, under the rules of the European Organization of the Sawmill Industry (EOS), those of the American National Hardwood Lumber Association (NHLA), as well as under some of the specific criteria used by the bigger producers of sawn timber. These standards and grading rules do not strictly specify the exact moisture content of the sawn timber. The quality can be therefore assessed in green as well as in the dry state. The quality of the sawn timber can also change due to drying.

The aim of this study was to investigate the influence of normal-temperature kiln drying and air drying on the quality of beech (*Fagus sylvatica*) sawn timber. Therefore, we took green, 42 mm thick, and 2.6 m to 5 m long boards, and divided them in the 1st group (n = 141; kiln drying) and in the 2nd group (n = 167; air drying). In each of the

boards in the green state we measured the number and size of end and surface cracks, as well as fissures close to the knots. Additionally, the orientation and direction of the wood grain and the number and size of the knots were recorded. Occurrence of twists and red-heart was also determined. These assessments were used to rank the boards by quality into three classes (A- the highest to C – the lowest) in accordance with the standards of the EOS.

The 1st group of boards was kiln dried afterwards under a moderate low-temperature schedule, varying the temperature between 30 °C and 35 °C, and equilibrium moisture content between 24% and 6.2%. The 16% mean final moisture content of wood was reached after 14 days. The 2nd group of boards was air dried on the timber yard of Murales d.d. in Ljutomer (Slovenia) in spring of 2015. Here the temperature varied between 8 °C and 20 °C, at 65% mean relative humidity. The boards from the 2nd group reached a final moisture content of between 14% and 18% after 2.5 months. The above mentioned system of the board characterization was also used to assess the boards at the end of the drying processes. We made an analysis of the eventual increase in cracks per individual board, and then graded the boards according to EOS-rules.

We found a significant effect of drying on the occurrence of drying defects, whereas the difference between the two procedures was not confirmed. The increase in number and size of the surface cracks was especially pronounced in the boards initially graded to B- and C-grades. End cracks were also obvious, and these were among the main contributors to the lowering of the quality of sawn timber from the A- to B- or lower class after drying. After kiln and air drying, 20% and 33% of sawn timber quality was degraded, respectively.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENTS

Prispevek smo pripravili v okviru projekta ciljnega raziskovalnega programa (CRP) "Zagotovimo.si hrano za jutri", projekta V4-1419 »Racionalna raba lesa listavcev s poudarkom na bukovini«, ki ga financirata Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP) in Javna agencija za raziskovalno dejavnost republike Slovenije (ARRS) ter programske skupine P4-0015, ki jo financira ARRS.

VIRI

REFERENCES

- Cassens, L. D. (2002). Quality Control in Lumber Purchasing: Lumber Stress. In: C. P. University (Ed.), (pp. 4). Indiana: Forestry and Natural Resources.
- Cividini, R., Travan, L., & Allegretti, O. (2007). White beech: a tricky problem in the drying process. Paper presented at the ISCHP International Scientific Conference on Hardwood.
- EOS (2010). Grading rules for unedged standard (Vol. EOS, pp. 5). Bruxelles: European Organization for the Sawmill Industry.
- Gorišek, Ž. (1995). Problematika obarvanja lesa v procesu sušenja. Les, 47(7-8), 228–230.
- Gorišek, Ž. (2009). Les : zgradba in lastnosti : njegova variabilnost in heterogenost. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Gorišek, Ž., Geršak, M., Čop, T., Velušček, V., & Mrak, C. (1994). Sušenje lesa. Ljubljana: Lesarska založba.
- Gorišek, Ž., & Pervan, S. (1999). The influence of drying on quality of furniture. Paper presented at the International conference Furniture construction and quality - a step forward to consumer protection, Zagreb.
- Gorišek, Ž., & Straže, A. (2007). Influence of drying technique and process conditions on the drying quality of beechwood. Paper presented at the COST Action E53 the first conference, Warsaw, 15-17th October 2007.
- Gorišek, Ž., & Straže, A. (2009). Kinetika sušenja prevodne beljave in rdečega srca bukovine (*Fagus sylvatica* L.). Les, 61(5), 246–253.
- Gorišek, Ž., & Straže, A. (2012). Influence of drying potential on moisture content gradient, drying stresses and strength of beech wood. Paper presented at the The 5th Conference on Hardwood Research and Utilisation in Europe, Sopron.
- Gorišek, Ž., Straže, A., & Ribič, I. (2000). Numerical evaluation of beechwood discolouration during drying. Drvna Industrija, 51(2), 59–68.
- Jameson, B., Jason, L. W., & Ganesh, N. (2004). Economic impact of wood drying technology. Business and Economic. Wellington.
- Keisuke, K., Tsunehisa, M., Hiroyuki, S., & K., K. (2011). Destabilization of wood microstructure caused by drying. Wood Material Science & Engineering, 6(1-2), 69–74. doi: 10.1080/17480272.2010.551545
- Koch, G., Puls, J., & Bauch, J. (2003). Topochemical characterisation of phenolic extractives in discoloured beechwood (*Fagus sylvatica* L.). Holzforschung, 57(4), 339–345.
- Marenče, J., Gornik, B. D., & Šega, B. (2016). Bukovina - povezave med kakovostjo dreves, hlodovine in žaganega lesa. Acta Silvae et Ligni, 111, 35–47.
- Milić, G., Kolin, B., Lovrić, A., Todorović, N., & Popadić, R. (2013). Drying of beech (*Fagus sylvatica* L.) timber in oscillating climates: drying time and quality. Holzforschung, 67(7), 805–813.
- Oltean, L., Teischinger, A., & Hansmann, C. (2007). Influence of temperature on cracking and mechanical properties of wood during wood drying – A review. Bioresources, 2(4), 789–811.
- Perre, P., & Turner, I. (2007). Coupled heat and mass transfer. In: P. Perre (Ed.), Fundamentals of wood drying (pp. 203–241). Nancy: A.R.BO.LOR.
- Pervan, S., A., S., & Gorišek, Ž. (2006). Comparison of Croatian standards with European standards at the field of wood drying. Paper presented at the 17th International scientific conference European Union - challenges and perspectives for the wood-processing industry, Zagreb.
- Rosenkilde, A., Glover, P. (2002). High resolution measurement of surface layer moisture content during drying of wood using a novel Magnetic Resonance Imaging Technique. Holzforschung, 56, 312–317.
- Salin, J. G. (1992). Numerical prediction of checking during timber drying and a new mechano-sorptive creep model. Holz als Roh- und Werkstoff, 50(5), 195–200.
- Salin, J. G. (2003). A theoretical analysis of timber drying in oscillating climates. Holzforschung, 57, 427–432.
- Salin, J. G. (2008, 29-30 okt. 2008). Almost all wooden pieces have a damaged surface layer - impact on some properties and quality. Paper presented at the COST E53 Conference 'Quality control for wood and wood products', Delft.
- SIST (2003). Delež vlage v žaganem lesu – 1. del: Določevanje s sušenjem v pečici (SIST EN13183-1:2003).
- SIST (2003). Delež vlage v žaganem lesu – 2. del: Ocena z metodo električne upornosti (SIST EN 1316-1:2003).
- SIST (2009). Žagani les - Razvrščanje listavcev po videzu - 1. del: Hrast in bukev (SIST EN 975-1:2009).
- SIST (2013). Okrogli les listavcev - Razvrščanje po kakovosti - 1. del: Hrast in bukev (SIST EN 1316-1:2013).
- Straže, A., & Gorišek, Ž. (2009, 23rd April 2009). Research on internal and external mass transfer at convective drying of European beechwood (*Fagus sylvatica* L.). Paper presented at the Proceedings of the COST E53 Meeting and EDG Wood Drying Seminar, Bled, Slovenia.
- Straže, A., & Gorišek, Ž. (2011a). Influence of initial wood quality and drying process on utilization grades of sawn spruce timber. Drvna Industrija, 62(1), 3–7.
- Straže, A., & Gorišek, Ž. (2011b). Vpliv hitrosti gibanja zraka na kinetiko konvekcijskega sušenja bukovine (*Fagus sylvatica* L.). Les, 63(8/9), 317–322.
- Straže, A., Kliger, R., Johansson, M., & Gorišek, Ž. (2011). The influence of material properties on the amount of twist of spruce wood during kiln drying. Holz als Roh- und Werkstoff, 69(2), 239–246.
- Straže, A., Pervan, S., & Gorišek, Ž. (2010). Impact of various conventional drying conditions on drying rate and on moisture content gradient during early stage of beechwood drying. Paper presented at the Final conference of COST Action E53: Quality control for wood & wood products, Edinburgh, 4-7th May, 2010.
- Welling, J. (2010). Dried timber - how to specify correctly: European drying group (EDG).
- Welling, J., Riehl, T., Kruse, K., & Rose, B. (2003). Verbesserte Schnittholz-trocknung im Frischluft-/Ablufttrockner durch Wechselklima. Hamburg: Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg.