

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Dejan Lapanja

**VPLIV VLAŽNOSTI NA POSTOPEK KRIVLJENJA IN KAKOVOST
KRIVLJENIH ELEMENTOV**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**INFLUENCE OF MOISTURE CONTENT ON WOOD BENDING
PROCESS AND QUALITY OF BENDED WOOD**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2005

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za tehnologijo lesa Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani in v podjetju Kli Logatec.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Željka Goriška, za recenzenta doc. dr. Milana Šerneka.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Član:

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Član:

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Dejan Lapanja

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Vs

DK UDK 630*827.3+630*812.211

KG krivljenje lesa/visokofrekvenčno sušenje/napake krivljenja/vlažnost lesa/bukev
(*Fagus silvatica* L.)

AV LAPANJA, Dejan

SA GORIŠEK, Željko (mentor)/ŠERNEK, Milan (recenzent)

KZ SI-1000, Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34

ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

LI 2005

IN VPLIV VLAŽNOSTI NA POSTOPEK KRIVLJENJA IN KAKOVOST
KRIVLJENIH ELEMENTOV

TD Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)

OP IX, 47 str., 25 pregl., 25 sl., 19 vir.

IJ sl

JI sl/en

AI Številne napake, ki se pojavijo med krivljenjem z dielektričnim segrevanjem lesa v polju visoke frekvence, so posledica neprimerne vlažnosti pred postopkom in velikega gradienta vlažnosti. Z rangiranjem elementov v vlažnostne razrede in kontrolo kakovosti v 3 fazah tehnološkega postopka smo ugotavljali vpliv vlažnosti in vlažnostnih gradientov na nastanek razpok. Prenizka ($u < 17\%$) ali previsoka ($u > 26\%$) vstopna vlažnost poveča nevarnost nastanka razpok. Daljši čas parjenja zmanjša število poklin na elementih s prenizko začetno vlažnostjo, daljši pa tudi poveča število napok na elementih s previsoko začetno vlažnostjo. Večja sprememba vlažnosti med postopkom krivljenja, večji vlažnostni gradient po parjenju in nižja končna vlažnost, zmanjšajo kakovost elementov. Učinkovitost postopka in kakovost elementov s prenizko začetno vlažnostjo lahko povečamo z daljšim časom parjenja, tistih s previsoko začetno vlažnostjo pa samo s segrevanjem.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs

DC UDC 630*827.3+630*812.211

CX wood bending/high frequency drying/bending defects/moisture content/beechwood
(*Fagus silvatica* L.)

AU LAPANJA, Dejan

AA GORIŠEK, Željko (supervisor)/ŠERNEK, Milan (co-advisor)

PP SI-1000, Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science
and Technology

PY 2005

TI INFLUENCE OF MOISTURE CONTENT ON WOOD BENDING PROCESS
AND QUALITY OF BENDED WOOD

DT Graduation Thesis (Higher professional studies)

NO IX, 47 p., 25 tab., 25 fig., 19 ref.

LA sl

AL sl/en

AB Inappropriate moisture content and high moisture gradient are the cause of high amount of defects during wood bending with dielectric heating in a field of high frequency. The influence of moisture content and moisture gradient on checks appearing was examined at different moisture content degrees and control of the quality in 3 phases of the technological process. The danger of checks appearing increases if the incoming moisture is too low ($u < 17\%$) or too high ($u > 26\%$). Longer steaming time decreases the number of surface checks if incoming moisture content is too low, longer steaming time also increases the number of end checks if incoming moisture content is too high. The quality of elements is decreased by higher variation of moisture content during the process of bending, higher moisture gradient after steaming, and lower moisture content after drying. The quality of elements and efficiency of the process can be increased by longer steaming time, if incoming moisture content is too low, and just by heating if incoming moisture content is too high.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija (KDI).....	III
Key words documentation (KWD).....	IV
Kazalo vsebine.....	V
Kazalo slik.....	VII
Kazalo preglednic.....	VIII
1 UVOD IN POSTAVITEV PROBLEMA.....	1
2 KRIVLJENJE LESA	2
2.1 UVOD.....	2
2.2 VPLIV RELEVANTNIH LASTNOSTI NA KRIVLJENJE	4
2.2.1 Viskoelastične lastnosti lesa	4
2.2.2 Kvaliteta lesa in drevesna vrsta.....	7
2.2.2.1 Bukev (<i>Fagus Sylvatica</i> L.).....	8
2.2.3 Vlažnost lesa.....	8
2.3 PLASTIFICIRANJE LESA.....	9
2.3.1 Čas in pogoji parjenja	10
2.3.2 Parjenje z nasičeno paro	10
2.3.3 Plastificiranje v elektromagnetnem polju visoke frekvence (VF).....	11
2.3.3.1 Krivljenje v elektromagnetnem polju (VF)	12
2.4 NAPAKE KRIVLJENCEV	13
3 MATERIALI IN METODE	14
3.1 IZBOR MATERIALA.....	14
3.2 METODE DELA.....	15
3.2.1 Kontrola kakovosti elementov.....	15
3.2.1.1 Orientiranost	16
3.2.1.2 Slepice, odklon vlaken in neprimerno skobljanje.....	16
3.2.1.3 Površinske razpoke oz. pokline	16
3.2.1.4 Čelne razpoke	17
3.2.1.5 Kontrola vlažnosti	18
3.2.1.6 Kontrola vlažnostnega gradienta	18
3.2.1.7 Kontrola notranjih napetosti	19
3.2.2 Kontrola kakovosti po fazah tehnološkega postopka.....	21
3.3 OBDELAVA IN ANALIZA PODATKOV	22
4 REZULTATI IN DISKUSIJA.....	24
4.1 OSNOVNI PODATKI.....	24
4.2 VLAŽNOSTI IN GRADIENTI PO RAZREDIH	27
4.3 NAPAKE PO RAZREDIH.....	31
5 RAZPRAVA.....	35

5.1	ANALIZA PRED PARJENJEM	35
5.1.1	Formirani razredi	35
5.1.2	Začetna vlažnost in vlažnostni gradient	35
5.1.3	Kombinacije	35
5.1.3.1	Začetna vlažnost in čas parjenja	35
5.2	ANALIZE PO PARJENJU	38
5.2.1	Vlažnosti po parjenju	38
5.2.2	Gradienti vlažnosti po parjenju	38
5.2.3	Kombinacije	39
5.2.3.1	Vlažnosti po parjenju in gradient	39
5.3	ANALIZE PO SUŠENJU	41
5.3.1	Končne vlažnosti po sušenju	41
5.3.2	Gradient vlažnosti po sušenju	41
5.3.3	Spremembe vlažnosti med sušenjem	42
5.3.3.1	Spremembe povprečne vlažnosti	42
5.3.3.2	Sprememba vlažnosti površinskih slojev med sušenjem	43
5.3.4	Napetosti	44
5.3.5	Orientiranost	44
6	SKLEPI	45
7	LITERATURA	46

KAZALO SLIK

Slika 1.	Primeri krivljenja komprimiranega lesa (Compwood Machines Ltd., 2002)	3
Slika 2.	Burger-Kelvinov model za les kot viskoelastično snov (Christensen 1971).	4
Slika 3.	Porazdelitev napetosti pri krivljenju (Eggert 1995)	5
Slika 4.	Napetostno deformacijska krivulija neparjene in parjene jesenovine pri nateznem (levo) in tlačnem (desno) eksperimentu (Stevens & Turner 1970)	6
Slika 5.	Prečni in vzdolžni prerez cilindričnega kotla za parjenje lesa (Stevens & Turner 1970).	10
Slika 6.	Razpored temperature pri dielektričnem in klasičnem načinu segrevanja lesa (Brezinščak 1950)	12
Slika 7.	Prikaz hitrosti dielektričnega segrevanja po prerezu 30 x 30 in dolžine 720 mm, $u = 20 \%$, $I = 0,7 \text{ A}$ (Eggert 1995)	13
Slika 8.	Osnovne dimenzije elementa pred in po končanem postopku krivljenja	14
Slika 9.	Prisotnost poklin na elementih po sušenju	16
Slika 10.	Prisotnost čelnih razpok na elementih po sušenju	17
Slika 11.	Razrez vzorca za ugotavljanje vlažnostnega gradienta	19
Slika 12.	Naprava za pripravljanje slojev za določanje gradienta vlažnosti (Lapanja 2004)	19
Slika 13.	Metoda izdelave vzorca za ugotavljanje notranjih napetosti (Gorišek 1997)	20
Slika 14.	Kontrola kakovosti po fazah tehnološkega postopka	21
Slika 15.	Delež izmeta glede na celoto	24
Slika 16.	Vrsta izmeta	24
Slika 17.	Pokline glede na mesto nastanka	26
Slika 18.	Spremembe povprečne vlažnosti med parjenjem in med sušenjem po razredih (u_p – med parjenjem, u_s – med sušenjem)	29
Slika 19.	Spremembe vlažnosti med parjenjem po debelini elementa glede na razred	30
Slika 20.	Spremembe vlažnosti med sušenjem po debelini elementa glede na razred	30
Slika 21.	Gradient vlažnosti po skupinah glede na fazo tehnološkega postopka	31
Slika 22.	Izmet glede na vlažnostni razred pred parjenjem	32
Slika 23.	Izmet in vrsta napak po razredih	33
Slika 24.	Delež napak glede na čas parjenja pri elementih, katerih začetna vlažnost je bila pod 18 %	34
Slika 25.	Delež napak glede na čas parjenja pri elementih, katerih začetna vlažnost je bila nad 23 %	34

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1.	Razdelitev elementov na razrede glede na vlažnost in čas parjenja.	15
Preglednica 2.	Prisotnost napak na elementih	17
Preglednica 3.	Ugotavljanje povprečne vlažnosti, vlažnostnih gradientov in napetosti.	20
Preglednica 4.	Preglednica dejanskih frekvenc (Mead 1990)	22
Preglednica 5.	Preglednica pričakovanih frekvenc (Mead 1990)	22
Preglednica 6.	Analize opravljene z metodo Hi-kvadrat.	23
Preglednica 7.	Delež in vrsta izmeta glede na celoto	25
Preglednica 8.	Delež in vrsta izmeta glede na izmet	25
Preglednica 9.	Delež in število poklin glede na mesto nastanka ($n = 20$).	25
Preglednica 10.	Prisotnost napak, kot so slepice, slaba mehanska obdelava in odklon vlaken ter posledičen vpliv na izmet	27
Preglednica 11.	Povprečne vlažnosti in vlažnostni gradienti po razredih glede na mesto merjenja: razred A $\rightarrow \bar{u}_z < 18 \%$; $t_p = 1 \text{ min/mm}$, razred B $\rightarrow \bar{u}_z < 18 \%$; $t_p = 2 \text{ min/mm}$, razred C $\rightarrow \bar{u}_z > 23 \%$; $t_p = 1 \text{ min/mm}$, razred D $\rightarrow \bar{u}_z > 23 \%$; $t_p = 2 \text{ min/mm}$.	27
Preglednica 12.	Spremembe vlažnosti med parjenjem in med sušenjem po razredih: razred A $\rightarrow \bar{u}_z < 18 \%$; $t_p = 1 \text{ min/mm}$, razred B $\rightarrow \bar{u}_z < 18 \%$; $t_p = 2 \text{ min/mm}$, razred C $\rightarrow \bar{u}_z > 23 \%$; $t_p = 1 \text{ min/mm}$, razred D $\rightarrow \bar{u}_z > 23 \%$; $t_p = 2 \text{ min/mm}$.	28
Preglednica 13.	Izmet glede na vlažnostni razred pred parjenjem	31
Preglednica 14.	Izmet in vrsta napak po razredih	32
Preglednica 15.	Število napak glede na vlažnostni razred in čas parjenja	33
Preglednica 16.	Primerjava vpliva časa parjenja ($t_1 = 1 \text{ min/mm}$ in $t_2 = 2 \text{ min/mm}$) na izmet, pokline in napoke pred parjenjem pri elementih z začetno vlažnostjo ($14,5 \% < u < 17,0 \%$) s Hi-kvadrat testom.	36
Preglednica 17.	Primerjava vpliva časa parjenja ($t_1 = 1 \text{ min/mm}$ in $t_2 = 2 \text{ min/mm}$) na izmet, pokline in napoke pred parjenjem pri elementih z začetno vlažnostjo ($26 \% < u < 30 \%$) s Hi-kvadrat testom.	37
Preglednica 18.	Primerjava vpliva vlažnosti ($18 \% < u_1 < 21 \%$ in $21 \% < u_2 < 24 \%$) na izmet, pokline in napoke po parjenju s Hi-kvadrat testom.	38
Preglednica 19.	Primerjava vpliva gradienta vlažnosti ($\Delta u / \Delta x < \left -3 \right \%$ /cm, $\left -3 \right < \Delta u / \Delta x < \left -5 \right \%$ /cm, $\Delta u / \Delta x > \left -5 \right \%$ /cm) na izmet, pokline in napoke po parjenju pri elementih iz razreda A in B s Hi-kvadrat testom.	39
Preglednica 20.	Primerjava vpliva gradienta vlažnosti ($\Delta u / \Delta x < \left -3 \right \%$ /cm, $\left -3 \right < \Delta u / \Delta x < \left -6 \right \%$ /cm, $\Delta u / \Delta x > \left -6 \right \%$ /cm) na izmet, pokline in napoke pri elementih z vlažnostjo po parjenju ($18 \% < u < 21 \%$) s Hi-kvadrat testom.	40
Preglednica 21.	Primerjava vpliva gradienta vlažnosti ($\Delta u / \Delta x < \left -3 \right \%$ /cm, $\left -3 \right < \Delta u / \Delta x < \left -6 \right \%$ /cm) na izmet, pokline in napoke pri elementih z vlažnostjo po parjenju ($21 \% < u < 24 \%$) s Hi-kvadrat testom.	40
Preglednica 22.	Primerjava vpliva vlažnosti ($u_1 < 5 \%$ in $u_2 > 5 \%$) na izmet, pokline in napoke po sušenju s Hi-kvadrat testom.	41

- Preglednica 23. Primerjava vpliva gradienta vlažnosti ($\Delta u/\Delta x < |-1| \text{ \%/cm}$, $|-1| < \Delta u/\Delta x < |-2| \text{ \%/cm}$, $\Delta u/\Delta x > |-2| \text{ \%/cm}$) na izmet, pokline in napoke pri vseh elementih po parjenju s Hi-kvadrat testom. 42
- Preglednica 24. Primerjava vpliva spremembe vlažnosti ($13 \% < \Delta u_1 < 16 \%$ in $16 \% < \Delta u_2 < 19 \%$) na izmet, pokline in napoke med sušenjem s Hi-kvadrat testom. Primerjava elementov iz razredov A in B. 43
- Preglednica 25. Primerjava vpliva spremembe vlažnosti ($13 \% < \Delta u_1 < 17 \%$, $17 \% < \Delta u_2 < 21 \%$ in $21 \% < \Delta u_3 < 25 \%$) na izmet, pokline in napoke med sušenjem s Hi-kvadrat testom. V testu so zavzeti vsi elementi. 44

1 UVOD IN POSTAVITEV PROBLEMA

Tehnološki postopek krivljenja lesa je zahtevna operacija, ki se prične z izbiro in pripravo lesa. Prav primerna struktura ter ustrezne fizikalne in mehanske lastnosti lesa so za uspešno izpeljan postopek nepogrešljive. Teoretične osnove so v strokovni literaturi dokaj dobro predstavljene, ko pa potrebujemo čisto praktične podatke na obstoječih napravah za krivljenje, in ko začnemo ugotavljati vzroke za povečano število napak na elementih, pa naletimo na veliko vprašanj. Odgovore moramo poiskati s poizkusi in tako ugotoviti pravilne tehnološke parametre za specifične razmere. Proces krivljenja lesa je bil v podjetju KLI Logatec že proučevan z vidika vpliva relevantnih lastnosti lesa na kakovost krivljenih elementov.

Čas narekuje, da so dobavni roki vedno krajši, predvsem pa, da se dobavni roki spoštujejo. Zaradi teh dejstev in nemalokrat tudi zaradi različnih napak oz. neprilik v proizvodnem procesu se skrajšujejo prav časi sušenja. Prevelika odstopanja končnih vlažnosti in pojav vlažnostnih gradientov so logična posledica. Za postopek krivljenja z dielektričnim segrevanjem lesa v polju visoke frekvence se priporoča vlažnost bukovine med 18 % in 22 %. Kako pa se odziva les z nižjo ali višjo vlažnostjo in kakšne so posledice, pa je v praksi še neraziskano. Predsušenje lesa za krivljenje se izvaja konvektivno, posledica pa je prisotnost večjega ali manjšega gradienta vlažnosti, ki je vzrok tudi generiranju notranjih napetosti.

Naš namen je ugotoviti vpliv vlažnosti in vlažnostih gradientov na nastanek napak in posledično na izmet elementov med procesom krivljenja. Ugotavljali bomo tudi, ali lahko s kontroliranjem časa parjenja kakorkoli vplivamo na pojav razpok, in nenazadnje, kakšen je vpliv samega postopka krivljenja (postopek nastajanja krivine) na pojav razpok.

2 KRIVLJENJE LESA

2.1 UVOD

Pri pogledu v našo preteklost lahko ugotovimo, da je bila uporaba izdelkov iz krivljenega masivnega lesa znana že v starem veku. Že Grki in Rimljani so vedeli, da bo les obdržal svojo obliko pri krivljenju toliko časa, dokler bo vpet in vgrajen s sosednjimi deli v izdelku. Takrat so krivili les še bolj iz praktičnih in ne toliko iz estetskih razlogov. V Ameriki in v Evropi so se v začetku 19. stoletja pojavili prvi zametki industrijske tehnike krivljenja lesa na področju ladjedelnštva. Prvi stroji za krivljenje so se pojavili konec tridesetih let 19. stoletja v panogi kočijaštva oz. izdelovanja lesenih koles za kočije (kolarstvu). V štiridesetih letih v Ameriki so prijavi prve patente s področja krivljenja lesa.

Vprašanja serijske proizvodnje upognjenega pohištva pa je prvi reševal Mihael Thonet, ki je spoznal, da pri krivljenju obstajajo trije vzporedni »sloji« lesa: tlačni, nevtralni in natezni sloj. Njegovi značilni stoli, trisedi in gugalniki jasnih in zanimivih oblik, so še danes pojem dobrega industrijskega oblikovanja. Pri nas se je krivljenje lesa sprva uporabljalo v obrti, kot je sodarstvo, kolarstvo in v izdelovanju »suhe robe«. Ponosni moramo biti na znamenite bloške smučke, ki jih je opisal že Valvasor v Slavi Vojvodine Kranjske leta 1689. Sicer prvi primerki niso imeli krivljene špice, poznejši pa že. V sredini 19. stoletja v času industrializacije se je lesna obrt razvila oz. prešla iz obrtniške panoge v lesnoobdelovalno industrijo. Znotraj te se je razvil tudi postopek krivljenja lesa.

Pri izdelovanju krivin iz lesa se poslužujemo različnih postopkov:

- tesanje in izžagovanje delov izdelka iz naravno ukrivljenih delov drevesa,
- izžagovanje zahtevnih krivin iz deske,
- zarezovanje konkavne strani pri elementu in naknadno krivljenje,
- krivljenje elementov s predhodnim plastificiranjem lesa (ročno, strojno) in
- krivljenje z lepljenjem lamel ali furnirjev v željeno obliko.

V proizvodnji krivljenih elementov moramo obvladovati celoten postopek krivljenja, od izbire lesa na začetku postopka do stabilizacije krivine in končne kontrole. Pomembno je

poznati teoretične osnove, v praksi pa sistematično pridobivati podatke za konkretno tehnologijo, ki jo uporabljamo, če hočemo uspešno izpeljati postopek krivljenja. Izpopolnjujejo se stare tehnologije in pojavljajo se nove, s katerimi dosegamo bistveno drznejše krivine. Primer take tehnologije je vzdolžno komprimiranje lesa.

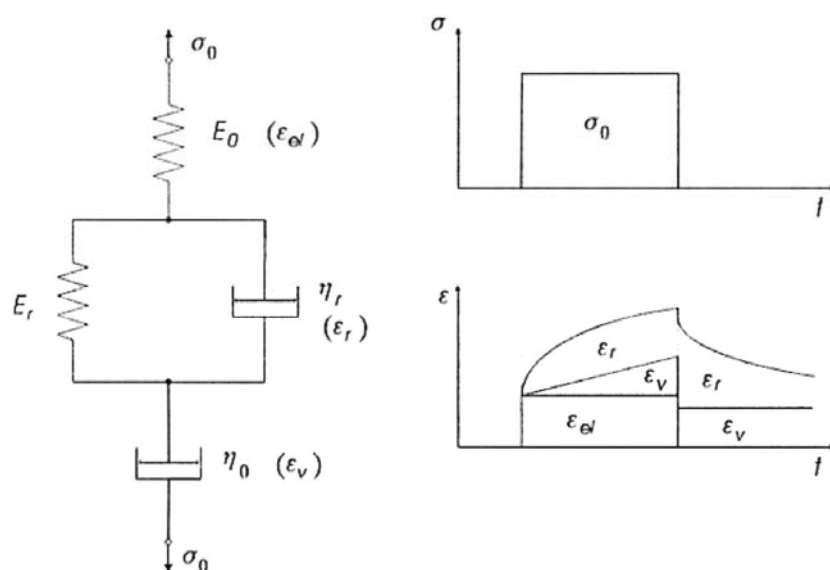


Slika 1. Primeri krivljenja komprimiranega lesa (Compwood Machines Ltd., 2002)

2.2 VPLIV RELEVANTNIH LASTNOSTI NA KRIVLJENJE

2.2.1 Viskoelastične lastnosti lesa

Les obravnavamo kot viskoelastično snov, saj ima elastične in viskozne lastnosti. Za ponazoritev viskoelastičnih lastnosti lesa se poslužujemo Burger-Kelvinovega modela za viskoelastične snovi.

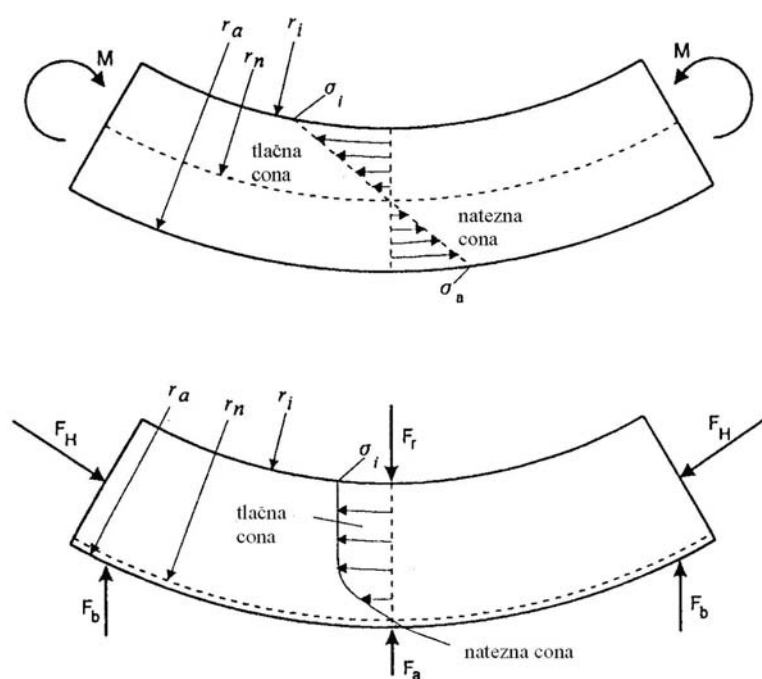


Slika 2. Burger-Kelvinov model za les kot viskoelastično snov (Christensen 1971).

Teorija linearne viskoelastičnosti obravnava celotno deformacijo kot vsoto treh komponent: elastične (ϵ_{el}), zadržane elastične (ϵ_r) in viskozne (ϵ_v) komponente, pri čemer je prva trenutna in reverzibilna, druga časovna in reverzibilna, tretja pa permanentna oz. ireverzibilna (Torelli 1989). V trenutku obremenitve nastane elastična deformacija. Ne da bi povečevali obremenitev, se deformacija s časom še povečuje (lezenje). Ob razbremenitvi se deformacija hipno zmanjša za približno toliko, kolikor je znašala začetna elastična deformacija, del je izgine sčasoma (zadržana elastičnost), nekaj pa je kot permanentne ostane. Burger-Kelvinov model je v osnovi sestavljen iz Hookovega idealnega elastičnega telesa (vijačna vzmet) in iz Newtonove idealno viskozne tekočine (dušilnik). Elastično komponento deformacije pri lesu opazujemo v območju majhnih in kratkotrajnih

obremenitev. Do meje proporcionalnosti je zveza med napetostjo in specifično deformacijo linearna in velja Hookov zakon. Meja proporcionalnosti je pri lesu odvisna od vlažnosti, temperature, načina preizkušanja in lesne vrste (Torelli 1989). Po Torelliju (1989) se pri osnem nategu in konstantni temperaturi ter vlažnosti les obnaša kot linearen viskoelastičen material do približno 75 % natezne trdnosti, pri tlaku do 70 % tlačne trdnosti in pri upogibu med 56 in 60 % upogibne trdnosti. Kot pri večini v tehniki uporabljenih materialov je tudi pri lesu tik nad mejo proporcionalnosti meja elastičnosti. Meji praktično sovpadata. Nad mejo proporcionalnosti deformacija hitreje narašča kot napetost in zveza med njima ni več linearna. Kadar prekoračimo mejo elastičnosti, pride do trajnih deformacij.

Pri krivljenju se dolžina konveksne in konkavne strani spremeni. Na konkavni strani pride do tlačanja, na konveksni pa do raztezanja. Vmes je nevtralna os (Eggert 1995), kjer se dolžina vlaken ne spreminja.

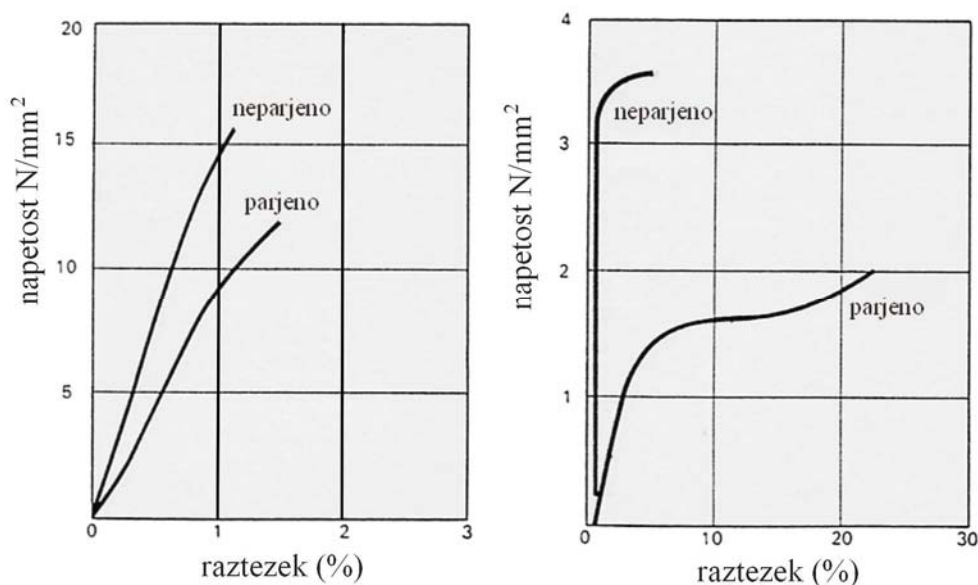


Slika 3. Porazdelitev napetosti pri krivljenju (Eggert 1995)

Pri normalnih temperaturah je meja elastičnosti skoraj na meji zloma, zato je plastično območje zelo ozko. Pri povišani temperaturi se območje plastičnosti razširi. Širše je predvsem v tlačnem delu, zato je meja trdnosti (zloma) dosežena prej na natezni

(konveksni) strani. Če krivimo les brez predhodne termične obdelave, se nevtralna os nahaja bližje sredini, kot pri krivljenju plastificiranega lesa, kjer je nevtralna os pomaknjena k zunanjemu robu. Za doseganje še manjših polmerov krivljenja pa se poslužujemo podpornega traku in pritiska na čela, da se na konveksni strani prepreči raztezek vlaken (slika 3). Zunanja stran se lahko razteza maksimalno od 1 do 2 %, če to razteznost prekoračimo, se lesna vlakna začnejo trgati (Eggert 1995).

Ker je zračno suh les brez predhodne obdelave mogoče kriviti le v omejenem obsegu, ga pred krivljenjem plastificiramo, ker ima tako tretiran les sposobnost večje tlačne deformacije. Les lahko krivimo predvsem na manjši polmer z manjšimi silami.



Slika 4. Napetostno deformacijska krivuljita neparjene in parjene jesenovine pri nateznem (levo) in tlačnem (desno) eksperimentu (Stevens & Turner 1970)

Različna odzivnost lesa na preoblikovanje je pogojena z zgradbo lesa ter mehanskimi lastnostmi. Natezne sile v največji meri prestrezajo kristalizirana področja v lamelah lesnih vlaken. Pri pritisku se sile prestrezajo največ v srednji lameli celične stene, torej v veznih slojih bogatih z ligninom. Zaradi vijačne zgradbe vlakninskih sten lahko les prenese spremembe vzdolžnih in prečnih deformacij (Torelli 1989).

Ocena za kritičnost krivine (B) pri določeni debelini lesa (S), se lahko približno izračuna z enostavno formulo, ki je razmerje med debelino in radijem krivine (R):

$$B = S / R$$

Po Kollmannu (1952) ocena za kritičnost krivine ne sme biti manjša od 0,31, po Stevens & Turnerju (1970) pa ne manj kot 0,67. Iz prakse je znano, da je sprejemljivejša trditev po Kollmanu. Če to upoštevamo, se zniža pogostost lomov in ostalih napak zaradi krivljenja. Primer ekstremnega krivljenja lesa je krivljenje bukovega elementa debeline 50 mm z radijem 40 mm na kot 90°. Ocena za kritičnost krivine (B) v tem primeru znaša 1,25. Tako krivljenje je moč kvalitetno opraviti le v laboratoriju. V praksi bi prihajalo do zelo velikega izmeta.

2.2.2 Kvaliteta lesa in drevesna vrsta

Izbira lesa pri krivljenju je odločilnega pomena. Dobro moramo poznati njegovo strukturo ter njegove fizikalne in mehanske lastnosti. Iglavci so manj primerni za krivljenje kot listavci. Vzrok so večje razlike med ranim in kasnim lesom in večje razlike med juvenilnim in adultnim lesom. V splošnem so listavci zmerne pasu primernejši za krivljenje od tropskih listavcev. Najbolj primerne vrste so bukev, hrast, javor, jesen.

Že pri majhnih obremenitvah se lahko les, ki vsebuje določene anomalije, lomi pri napakah. Zato je potrebno za krivljenje izbrati les srednje hitro rastočih dreves, ki je ravno vlaknat in ne vsebuje grč, slepic, reakcijskega lesa, diskoloriranega lesa, fraktur, vrasle skorje, ne sme biti napaden z glivami ali lesnimi škodljivci. Les mora biti "zdrav" in pravilne rasti. Upoštevati pa moramo tudi lokacijo v drevesu. Najuporabnejši je adultni les izpod krošnje in nad koreničnikom, izogibamo pa se stržena in lesa na periferiji.

2.2.2.1 Bukev (*Fagus Sylvatica* L.)

Bukev je listavec z rdečkastobelim lesom, brez obarvane jedrovine, z difuzno razporejenimi drobnimi trahejami, izrazitimi letnicami in širokimi trakovi, delno z rdečim do rdečerjavim diskoloriranim lesom, imenovanim »rdeče srce«, ki se navadno pojavi pri starejših drevesih.

Les bukve ima visoko gostoto, je trd in se zelo krči in nabreka. Stabilnost je neugodna, trdnostne lastnosti so glede na gostoto nadpovprečno visoke, elastičnost pa je nižja. Les je zelo žilav, malo elastičen in zelo trden. Dobro se cepi in predvsem po parjenju se dobro upogiba. Nezaščiten les je podvržen okužbi z glivami in insekti in je le zmerno trajen, zato je potrebna hitra in pravilna manipulacija po poseku. Delež juvenilnega lesa je zanemarljiv, možen je obilnejši pojav tenzijskega lesa. Notranje napetosti so lahko znatne, kar ima za posledico zvijanje in pokanje lesa.

Zaradi visoke gostote in nagnjenosti k distorcijam, zvijanju, pokanju in nastajanju rjavordečih, rdečemu srcu podobnih obarvanj, se za sušenje bukovine priporoča blag režim sušenja. Bukovino parijo zaradi zmanjšanja notranjih napetosti in izenačenja barve. Tako se po parjenju zmanjša nevarnost pokanja in zvijanja, les pa dobi enakomerno rdečkasto barvo. Ročno in strojno je bukovino mogoče lepo obdelati, vendar sta zaradi visoke gostote lesa krhanje orodij in poraba energije nekoliko večji.

2.2.3 Vlažnost lesa

Glede priporočene vlažnosti lesa za krivljenje so mnenja v strokovni literaturi deljena, vendar moramo ločiti, ali so navedene priporočljive vlažnosti za klasično ročno oz. strojno krivljenje ali za krivljenje in sušenje v elektromagnetnem polju visoke frekvence. Kubinsky (1971) navaja, da mora biti vlažnost lesa nad točko nasičenja celičnih sten. Stevens in Turner (1970) v svojem delu ugotavljata, da je najprimernejša vlažnost lesa za klasično krivljenje 25 %. Kollmann (1975) navaja, da je najprimernejša vlažnost tudi za klasično krivljenje med 17 in 25 %. Enako vlažnost navaja tudi Krpan (1965). V Forest Research

Products Laboratory Risborough (1970) so ugotovili, da je za krivljenje najprimernejša vlažnost 25 %, medtem ko strokovnjaki iz Forest Products Laboratory iz Madisona v Wood Handbook (1999) priporočajo pred parjenjem ali mikrovalovnim segrevanjem vlažnost lesa med 12 in 20 %, odvisno od zahtevnosti krivine in metode, ki jo uporabimo pri sušenju in stabiliziranju krivljenega elementa. Npr. vmesne letvice pri naslonjalu stola z blago krivino se uspešno krivijo že pri 12 % vlažnosti, bolj zahtevne krivine pa zahtevajo vlažnost od 15 do 20 %. Cividini (1974) je edini, ki eksplicitno priporoča za dielektrično segrevanje v visokofrekvenčnem polju vlažnost lesa med 14 in 16 %.

2.3 PLASTIFICIRANJE LESA

V proizvodnji krivljenih elementov predstavlja hidrotermična obdelava praviloma nepogrešljiv pripravljalni postopek. Plastifikacija je pomemben dejavnik pri krivljenju lesa. Če les obremenjujemo pri normalnih temperaturah, je meja elastičnosti skoraj na meji zloma, zato je plastično območje zelo ozko. Pri povišani temperaturi se območje plastičnosti razširi.

Plastifikacijo lahko opravimo na več načinov:

- parjenje z nasičeno paro,
- kuhanje,
- kuhanje ali parjenje ter stiskanje,
- kemično,
- z dielektričnim segrevanjem v polju visoke frekvence,
- z mikrovalovi,
- s segrevanjem v pesku.

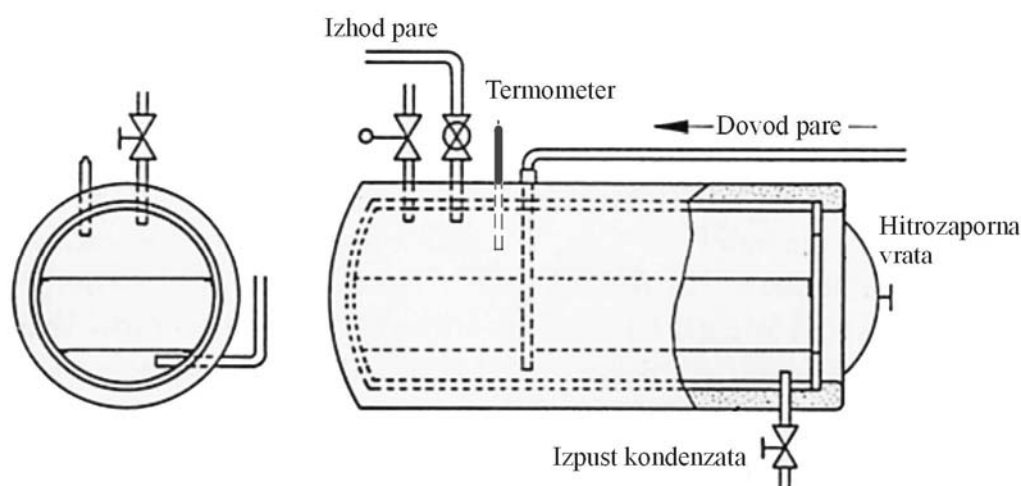
V industriji je najbolj razširjena plastifikacija s parjenjem lesa z nasičeno paro in z dielektričnim segrevanjem lesa v polju visoke frekvence. Ostali postopki industrijsko niso najbolj racionalni, uporabni pa so za posebne namene.

2.3.1 Čas in pogoji parjenja

Kubinsky (1971) predlaga, da se bukovina pred krivljenjem pari ali kuha 30 do 180 minut. Parjenje se na splošno izvaja pri normalnem tlaku ali pa do 1,5 bara nadtlaka. Cividini (1982) navaja, da je glavni povzročitelj plastificiranja temperatura. Les se začne plastificirati že pri temperaturi 70 °C, optimalni pogoji pa se dosežejo pri temperaturi 145 do 150 °C, verjetno zaradi »aktiviranja« lignina. Parjenje lesa z nasičeno paro pri atmosferskem tlaku po Eggertu (1995) naj ne presega 2 min/mm. Stevens in Turner (1970) pa navajata vrednost 1,8 min/mm. Kollmann (1975) navaja, da je čas parjenja z nasičeno paro pri $T = 100\text{ °C}$ približno 1 ura na 25 mm debeline lesa, kar pomeni 2,4 min/mm. Krpan (1964) pa navaja, da je optimalni čas parjenja 45 min na 25 mm, oziroma 1,8 min/mm.

2.3.2 Parjenje z nasičeno paro

Verjetno najbolj preprosta metoda za plastifikacijo lesa je izpostavljanje elementov nasičeni pari pri atmosferskem tlaku. Les za krivljenje se najenostavneje pari v cilindričnem kotlu.



Slika 5. Prečni in vzdolžni prerez cilindričnega kotla za parjenje lesa (Stevens & Turner 1970).

Kotel mora biti opremljen s termometrom, postavljen mora biti čim bližje stroju za krivljenje. Paziti moramo, da se nivo kondenza v kotlu ne zviša na raven, pri kateri lahko zalije spodnje elemente v kotlu in nenazadnje, zelo pomembno je, da elemente zlagamo v kotel z razmakom (vsaj 6 mm), ker se v nasprotnem primeru časi parjenja podaljšajo tudi do trikrat.

Za plastifikacijo lesa pred krivljenjem se uporablja nasičena para 100 – 106 °C. Para z višjo temperaturo (pregreta para) se za plastifikacijo praviloma ne uporablja, saj osuši vrhnje sloje lesa, kar lahko povzroči površinske razpoke. Z višjim tlakom od atmosferskega se čas parjenja zmanjšuje, vendar pa se nekatere drevesne vrste obarvajo, kar je nezaželeno.

Čas plastificiranja lahko izračunamo tudi po naslednji formuli (Eggert 1995):

$$t_{pl} = h \times S$$

t_{pl} – čas plastificiranja (min)

h – faktor plastificiranja (min/mm)

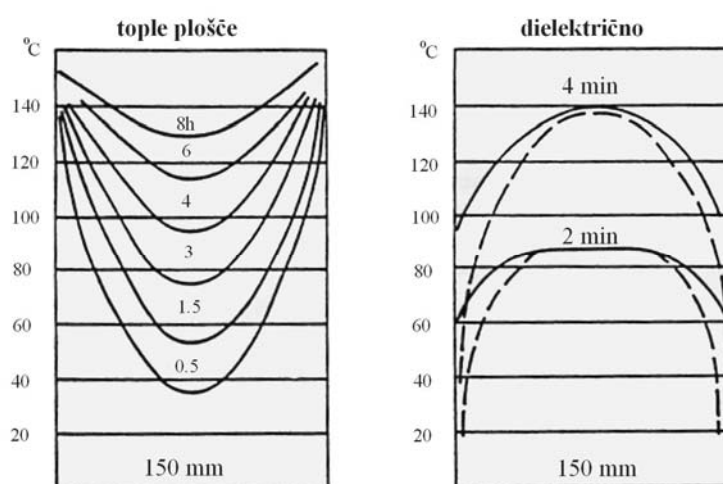
S – debelina obdelovanca (mm)

Pri parjenju lahko naletimo na vrsto napak, najpogostejše so pokanje in obarvanost lesa. Pokanje na površini in čelih je predvsem posledica presuhe pare, zato morajo biti parametri v kotlu (temperatura, relativna zračna vlažnost in tlak) čimbolj konstantni in točni. Obarvanost je lahko posledica daljšega časa parjenja, previsoke temperature ali zvišanega tlaka, lahko pa tudi rje, če kotel ni izdelan iz nerjavečega jekla. Sveži les se bistveno bolj obarva kot zračno suh les.

2.3.3 Plastificiranje v elektromagnetnem polju visoke frekvence (VF)

Začetki industrijske uporabe visoke frekvence v lesarstvu segajo v trideseta leta prejšnjega stoletja. Najprej je bila uporabljena na področju sušenja in pozneje lepljenja lesa. Če teče skozi tokokrog, v katerem so na izvor izmenične napetosti zaporedno vezani tuljava z železnim jedrom, upor in kondenzator, izmenični tok visoke frekvence od 2 do 100 MHz,

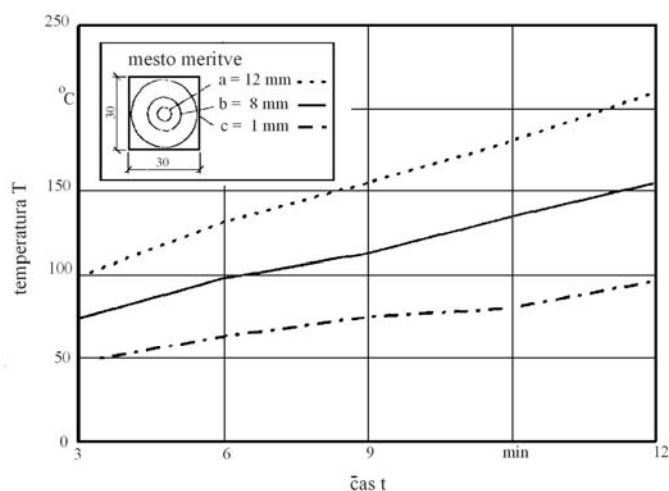
se železno jedro malo segreje, nekatere vrste dielektrikov (mednje spada tudi les) pa zelo. Z električnega vidika je les heterogen material in ima lastnosti, ki so odvisne od vrste lesa, vlažnosti, smeri, gostote lesnih vlaken itd. Največji vpliv na segrevanje lesa ima voda oz. vlažnost lesa. Temperatura raste, če večamo visokofrekvenčno napetost, ali pa če večamo frekvenco. Pri segrevanju z visoko frekvenco dobimo potrebno temperaturo v sredini lesa že po nekaj minutah, temperatura je enakomerno porazdeljena, razen na robovih. Bistvena prednost pred klasičnim načinom sušenja je torej v porazdelitvi temperature v lesu.



Slika 6. Razpored temperature pri dielektričnem in klasičnem načinu segrevanja lesa (Brezinščak 1950)

2.3.3.1 Krivljenje v elektromagnetnem polju (VF)

Pri obdelovancih z večjimi prerezi in pri krivljenju na manjše radije je potrebno obdelovance, ki jih želimo kriviti v elektromagnetnem polju visoke frekvence, hidrotermično obdelati oz. pariti. Ko pa elemente predstavljamo iz kotlička za parjenje v stiskalnico, se le ti ohlajujejo, kar negativno vpliva na plastičnost. Lesu poizkušamo povrniti izgubljeno toploto s tem, da že med zapiranjem stiskalnice vklopimo visokofrekvenčni generator.



Slika 7. Prikaz hitrosti dielektričnega segrevanja po prerezu 30 x 30 in dolžine 720 mm, $u = 20\%$, $I = 0,7\text{ A}$ (Eggert 1995)

2.4 NAPAKE KRIVLJENCEV

Pri krivljenju lesa je zelo pomembna njegova kakovost. Vsaka napaka na elementu je potencialni vzrok za izmet oziroma popravilo krivljenca in otežuje delo pri nadaljnjih operacijah do končnega izdelka.

Napake se pojavljajo zaradi:

- zgradbe lesa,
- reoloških lastnosti in
- postopka krivljenja lesa.

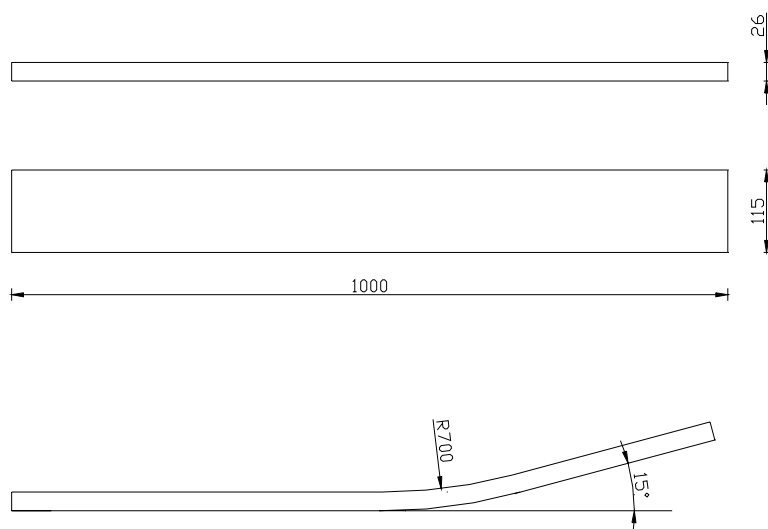
Pojavljajo se napake, kot so:

- razpoke,
- lom,
- zavitost,
- diskoloracije,
- spremembe dimenzij po prerezu in
- odstopanje krivin od imenskega radija.

3 MATERIALI IN METODE

3.1 IZBOR MATERIALA

Vpliv vlažnosti in vlažnostnega gradienta na pojav napak smo ugotavljali na bukovih (*Fagus sylvatica* L.) elementih nazivnih dimenzij 1000 mm x 115 mm x 32 mm. Kot krivljenja je bil 15 stopinj, radij krivljenja pa 700 mm.



Slika 8. Osnovne dimenzije elementa pred in po končanem postopku krivljenja

Iz rednega procesa smo izmed 762 elementov izbrali primerno mehansko obdelane elemente, enakega izvora, skobljane na debelino 26 mm, s tangencialno teksturo lesa, brez prisotnosti grč, razpok in morebitnih diskoloracij. Elemente smo s pomočjo uporovnega in kapacitivnega merilnika lesne vlažnosti ločili na dva osnovna razreda po 40 elementov. Povprečna vlažnost elementov pod 18 % in nad 23 %. Glede na dolgoletno prakso in izkušnje je v podjetju manipulacija z elementi za krivljenje izvedena na način, da vstopajo v proces krivljenja elementi z vlažnostjo med 18 in 20 %. Glede na predhodne raziskave (Stražišar 1996) je bilo ugotovljeno, da so vlažnosti v mejah 18 – 22 % primerne in ne predstavljajo večjega deleža pri izmetu zaradi napak. Težave pa predstavljajo elementi, katerih vlažnost je izven teh meja.

Na vsakem elementu smo opravili kontrolo kakovosti v treh fazah tehnološkega procesa in sicer, kontrola kakovosti pred parjenjem, po parjenju in po sušenju elementov. Sušenje v polju visoke frekvence je za vse elemente trajalo 15 minut. Elemente, ki so bili namenjeni za preizkušanje, smo dodatno razdelili še glede na čas parjenja in sicer na 1 min/mm debeline, ki se trenutno uporablja v procesu krivljenja in podaljšan čas, ki je znašal 2 min/mm. Glede na začetne vlažnosti in čas parjenja smo dobili 4 serije po 20 elementov (pregl. 1). Elemente smo krivili v kalupni stiskalnici, ki je bila opremljena z visokofrekvenčnim generatorjem (VFG 23/4), moči 30 kW. Reguliranje izhodne moči je bilo omogočeno preko petstopenjskega stikala in naknadno preko anodnega regulatorja. Velikost kalupa nam je dopuščala, da smo lahko krivili po 5 elementov skupaj, tako da smo za vsako serijo opravili 4 polnjenja.

Preglednica 1. Razdelitev elementov na razrede glede na vlažnost in čas parjenja.

Razred	$\bar{u}$ (%)	t_{parjenja} (min/mm)
A	< 18	1
B	< 18	2
C	> 23	1
D	> 23	2

3.2 METODE DELA

3.2.1 Kontrola kakovosti elementov

Kontrola kakovosti elementov je vsebovala:

- vizualno oceno (orientiranost, tekstura),
- ugotavljanje in ocenjevanje razpok,
- ugotavljanje vlažnosti in vlažnostnih gradientov,
- ugotavljanje notranjih napetosti.

3.2.1.1 Orientiranost

Vsi elementi so bili tangencialno orientirani, vendar je bil pri nekaterih elementih prisoten določen odklon. Odklon od čiste tangencialne orientiranosti smo ocenjevali zgolj s pomočjo ravnila oz. vizualno, in sicer za kot 15 in 30 stopinj, tako da zaključki na podlagi teh meritev niso relevantni.

3.2.1.2 Slepice, odklon vlaken in neprimerno skobljanje

Elemente smo pred procesom krivljenja vizualno pregledali. Prisotnost slepic, področij neprimernega skobljanja in odklonov vlaken smo označili. Po končanem postopku krivljenja smo ocenili njihov vpliv na izmet.

3.2.1.3 Površinske razpoke oz. pokline

Pokline nastanejo v začetnih stopnjah sušenja, če je sušenje prehitro in so posledica velikega vlažnostnega gradienta. Najpogosteje nastanejo na tangencialni strani deske in so orientirane v radialni smeri, to je v smeri poteka trakov, ki pomenijo tudi najšibkejšo mesto.



Slika 9. Prisotnost poklin na elementih po sušenju

Čelne razpoke so vidne na prečnem prerezu kot napoke, ki ne segajo čez celotni presek, ali kot reže, ki segajo čez celotni presek in so posledica bistveno hitrejšega transporta vode v vzdolžni smeri. Nastanek razpok lahko zmanjšamo s premazovanjem čel elementov s premazi, ki preprečujejo njihovo hitro izsuševanje.



Napake, ki so jih elementi vsebovali, in tudi tiste, ki so se generirale tekom procesa, smo vpisovali v Preglednico 2.

Preglednica 2. Prisotnost napak na elementih

vlažnost:					pred parjenjem					po sušenju					LIST ŠT.			
čas parjenja:					razpoke			mesto pokline		razpoke			mesto pokline					
OZNAKA ELEMENTA					reže	napoke	pokline	konkavna stran	konveksna stran	reže	napoke	pokline	konkavna stran	konveksna stran	v krivini	izven krivine	opombe	izmet
orientiranost																		
prisotnost slepic																		
slabo skobljano																		
odklon vlaken																		

3.2.1.5 Kontrola vlažnosti

Na primerni oddaljenosti od čela smo odrezali vzorec za določevanje vlažnosti širine 10 mm. Na tem vzorcu smo določil vlažnost tako, da smo ga najprej stekali in nato sušili do absolutne suhosti v sušilniku. Na podlagi dobljenih mas smo izračunali vlažnost po formuli:

$$u_z = \frac{m_{vl} - m_0}{m_0} \times 100\%$$

u_z – začetna vlažnost lesa

m_{vl} - masa vlažnega lesa

m_0 - masa lesa v absolutno suhem stanju

3.2.1.6 Kontrola vlažnostnega gradienta

Vlažnostni gradient smo ugotavljali na vzorcih širine 10 mm, ki smo jih po debelini razrezali na 5 slojev. Vlažnost posameznega sloja smo določali gravimetrično in izračunali vlažnostni gradient po enačbi:

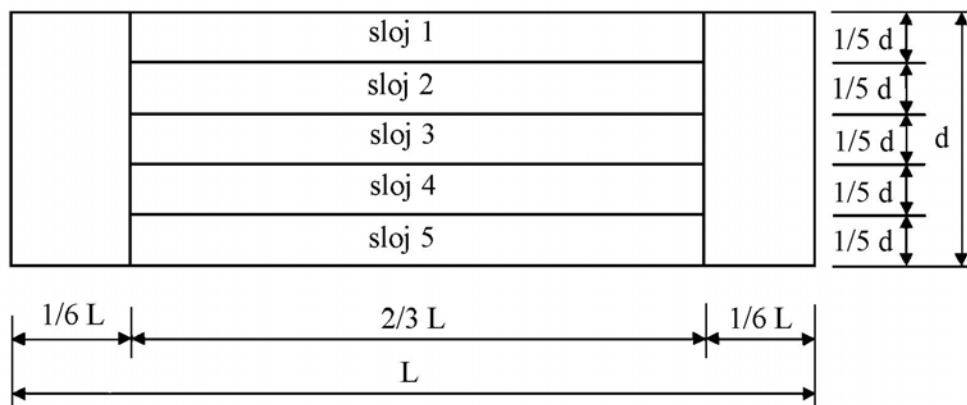
$$\frac{\Delta u}{\Delta x} = \frac{u_{srednji} - u_{zunanji}}{x} \left[\frac{\%}{cm} \right]$$

$\Delta u / \Delta x$ – vlažnostni gradient

$u_{srednji}$ – vlažnost srednjega sloja

$u_{zunanji}$ – vlažnost zunanjega sloja

x – razdalja med zunanjim in srednjim slojem



Slika 11. Razrez vzorca za ugotavljanje vlažnostnega gradienta

Izdelati smo morali tudi napravo za rezanje rezin (sl. 12) za ugotavljanje gradienta vlažnosti po debelini. Razlog je bil relativno majhna debelina elementa, 5 mm bi izgubili na debelini zaradi rezov in žaganje na tračni žagi bi bilo zamudnejše. Naprava deluje po principu cepljenja lesa.



Slika 12. Naprava za pripravljanje slojev za določanje gradienta vlažnosti (Lapanja 2004)

3.2.1.7 Kontrola notranjih napetosti

Napetosti smo ugotavljali s “prežagovalno” metodo (sl. 13). Vzorce debeline 15 mm smo prižagali na širino 100 mm ter nato razpolovili po debelini. V primeru napetosti nastane

Technical drawing of a mechanical part showing three views: a top view, a front view, and a cross-section.

- Top View:** A rectangle with a central section of 100 mm.
- Front View:** A rectangle with a dashed center line.
- Cross-section:** A trapezoid labeled "Merilni klin" with a height of 10 mm and a length of 100 mm.

Boxed text:

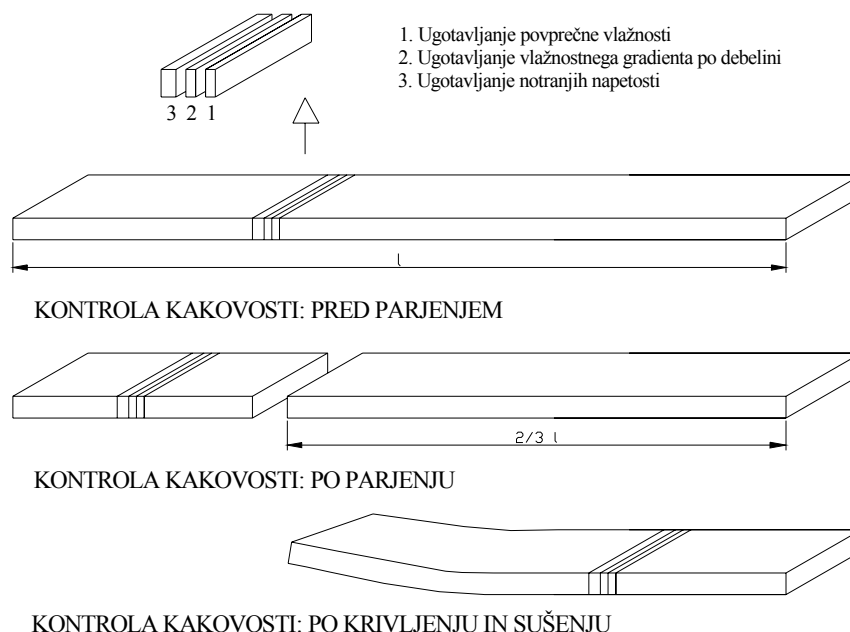
- $T = 20 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- $RZV = 55 \pm 10\%$

Meritve napetosti, vlažnosti in vlažnostnih gradientov smo vpisovali v preglednico 3.

[illegible]

3.2.2 Kontrola kakovosti po fazah tehnološkega postopka

Namen kontrole kakovosti pred parjenjem, po parjenju in po sušenju je ugotoviti kritično fazo predelave. Vsaka faza je vsebovala kontrolo kakovosti elementov, ki je opisana v poglavju 3.2.1.



Slika 14. Kontrola kakovosti po fazah tehnološkega postopka

1. KONTROLA KAKOVOSTI PRED PARJENJEM – Na elementu dolžine 1000 mm smo opravili kontrolo kakovosti elementov. Prežagali smo ga prečno na $2/3$ dolžine. Nato smo čela pri krajšem elementu premazali z zaščitnim premazom, da smo izničili vpliv prekomernega navlaževanja s čela. Ta element se je paril skupaj z daljšim elementom in je bil namenjen za osnovne meritve po parjenju.
2. KONTROLA KAKOVOSTI PO PARJENJU - Krajšemu delu, ki smo mu čela zaščitili s premazom, smo po parjenju iz sredine prečno izrezali tri rezine za osnovne meritve.
3. KONTROLA KAKOVOSTI PO SUŠENJU - Opravili smo kontrolo kakovosti elementov. Pri tem smo pazili, da so bile rezine za osnovne meritve izžagane izven območja krivine.

3.3 OBDELAVA IN ANALIZA PODATKOV

Glede na način ovrednotenja napak in rangiranja elementov v vlažnostne razrede smo za analizo podatkov uporabili statistično metodo Hi-kvadrat test. Vrednosti spremenljivk uredimo hkrati v eni preglednici, ki jo imenujemo kontingenčna preglednica oz. tabela ugotovljenih slučajev.

Preglednica 4. Preglednica dejanskih frekvenc (Mead 1990)

	Rezultat 1	Rezultat 2	Vsota
Pogoji 1	r_1	$(n_1 - r_1)$	n_1
Pogoji 2	r_2	$(n_2 - r_2)$	n_2
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
Pogoji k	r_k	$(n_k - r_k)$	n_k
Vsota	Σr	$\Sigma n - \Sigma r$	Σn

Preglednica 5. Preglednica pričakovanih frekvenc (Mead 1990)

	Rezultat 1	Rezultat 2
Pogoji 1	$(\Sigma r / \Sigma n) n_1$	$((\Sigma n - \Sigma r) / \Sigma n) n_1$
Pogoji 2	$(\Sigma r / \Sigma n) n_2$	$((\Sigma n - \Sigma r) / \Sigma n) n_2$
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.
Pogoji k	$(\Sigma r / \Sigma n) n_k$	$((\Sigma n - \Sigma r) / \Sigma n) n_k$

Med dejanskimi in pričakovanimi frekvencami obstajajo razlike, ki so na splošno tem večje, čim večja je povezanost med spremenljivkama. Razlike med dejanskimi in pričakovanimi frekvencami zato vzamemo za mero povezanosti med spremenljivkama.

Preglednica 6. Analize opravljene z metodo Hi-kvadrat.

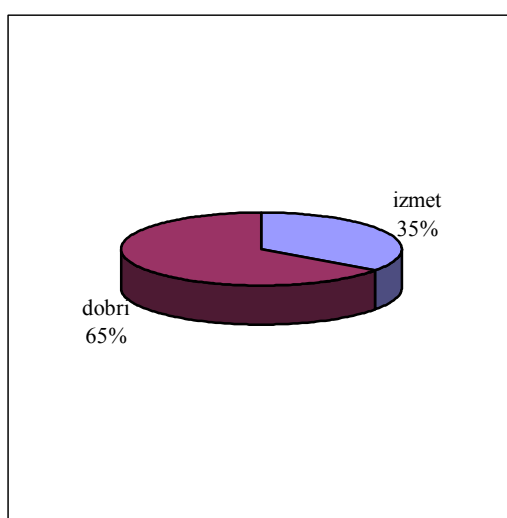
FORMIRANI RAZREDI PRED PARJENJEM	kombinacije med razredi A,B,C,D A,B C,D A+B,C+D A+C,B+D	
PRED PARJENJEM	ZAČETNA VLAŽNOST	vsi elementi elementi iz razreda A in B elementi iz razreda C in D
	GRADIENT VLAŽNOSTI	vsi elementi elementi iz razreda A in B elementi iz razreda C in D
PO PARJENJU	VLAŽNOSTI PO PARJENJU	vsi elementi elementi iz razreda A in B elementi iz razreda C in D
	GRADIENT VLAŽNOSTI	vsi elementi * elementi iz razreda A in B elementi iz razreda C in D
PO SUŠENJU	KONČNE VLAŽNOSTI	vsi elementi elementi iz razreda A in B elementi iz razreda C in D
	GRADIENT VLAŽNOSTI	vsi elementi elementi iz razreda A in B elementi iz razreda C in D
KOMBINACIJE	PRED PARJENJEM	$\bar{u}_z$ 14,5-17 % in t_{par} 1,2 min $\bar{u}_z$ 17-19,5 % in t_{par} 1,2 min $\bar{u}_z$ 23-26 % in t_{par} 1,2 min $\bar{u}_z$ 26-30 % in t_{par} 1,2 min $\bar{u}_z$ 14,5-17 % in $\Delta u / \Delta x$ 0-2, 2-4 %/cm $\bar{u}_z$ 17-19,5 % in $\Delta u / \Delta x$ 0-2, 2-5 %/cm $\bar{u}_z$ 23-26 % in $\Delta u / \Delta x$ 3-7, 7-11 %/cm $\bar{u}_z$ 26-30 % in $\Delta u / \Delta x$ 3-7, 7-11 %/cm
	PO PARJENJU	$\bar{u}$ 18-21 % in t_{par} 1,2 min $\bar{u}$ 21-24 % in t_{par} 1,2 min $\bar{u}$ 24-28 % in t_{par} 1,2 min $\bar{u}$ 28-32 % in t_{par} 1,2 min $\bar{u}$ 18-21 % in $\Delta u / \Delta x$ 0-3, 3-6, nad 6 %/cm $\bar{u}$ 21-24 % $\Delta u / \Delta x$ 0-3, 3-6 %/cm $\bar{u}$ 24-28 % in $\Delta u / \Delta x$ 0-3, 3-6 %/cm $\bar{u}$ 28-32 % in $\Delta u / \Delta x$ 0-3, 3-6 %/cm
	Δu MED SUŠENJEM	elementi iz razreda A in B elementi iz razreda C in D
	Δu POVRŠINSKIH SLOJEV MED SUŠENJEM	vsi elementi elementi iz razreda A in B elementi iz razreda C in D
NAPETOSTI	pred parjenjem po parjenju po sušenju	
ORIENTIRANOST		

*- gradient je izražen v absolutni vrednosti

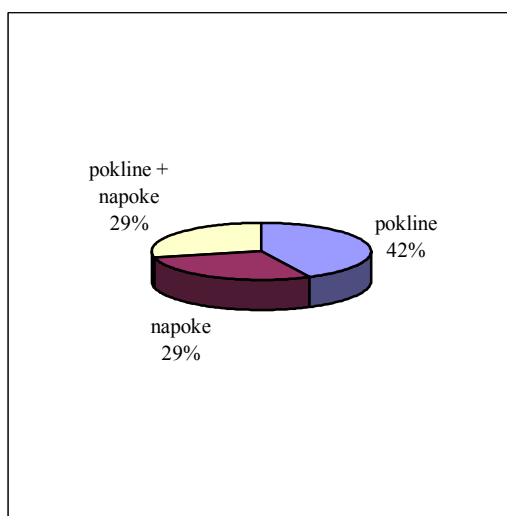
4 REZULTATI IN DISKUSIJA

4.1 OSNOVNI PODATKI

Izmed izbranih 80 elementov, ki smo jih krivili, ne da bi spreminjali obstoječi postopek krivljenja, je bilo 28 elementov za izmet oziroma 35 % (sl. 15 in pregl. 7). K izmetu so največ prispevale pokline. Na 8 elementih so se pojavile napoke, prav tako na 8 elementih so se pojavile pokline in napoke skupaj. (sl. 16 in pregl. 8).



Slika 15. Delež izmeta glede na celoto



Slika 16. Vrsta izmeta

Preglednica 7. Delež in vrsta izmeta glede na celoto

N = 80	izmet	pokline	napoke	pokline + napoke
n	28	12	8	8
delež (%)	35	15	10	10

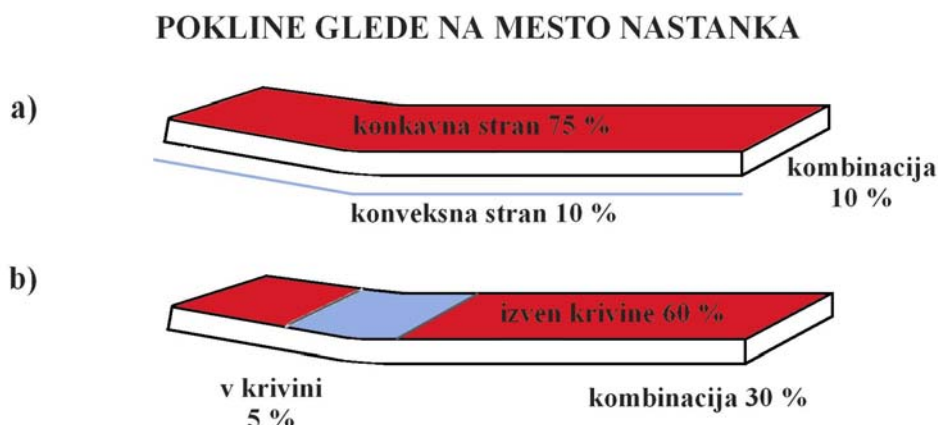
Preglednica 8. Delež in vrsta izmeta glede na izmet

	izmet	pokline	napoke	pokline + napoke
n	28	12	8	8
delež (%)	100	42,9	28,6	28,6

Pokline so se v večini pojavile na konkavni strani elementa izven krivine (sl. 17 in pregl. 9). Pripomniti je potrebno, da je bila tudi krivina relativno blaga, saj je znašala ocena za kritičnost krivine 0,04.

Preglednica 9. Delež in število poklin glede na mesto nastanka (n = 20).

mesto pokline	število poklin	delež (%)
konkavna stran	15	75
konveksna stran	2	10
kombinacija	2	10
pri slepici	1	5
v krivini	1	5
izven krivine	12	60
kombinacija	6	30
pri slepici	1	5



Slika 17. Pokline glede na mesto nastanka

Morebitne prekoračitve natezne trdnosti materiala na konveksni strani, ki bi jo lahko pripisali postopku krivljenja, najdemo le v 10 % slabih vzorcev. Če prištejemo zraven še elemente, na katerih so se pojavile napoke na obeh straneh, konkavni in konveksni, znaša ta delež 20 %. Podobno glede na geometrijo elementov opazamo, da se več kot polovica napak pojavlja izven krivine. Vizualne ugotovitve tako v veliki meri zavračajo neposreden vpliv postopka krivljenja (postopek nastajanje krivine) na napake in nakazujejo še značilni vpliv drugih dejavnikov (vlažnosti, gradienta vlažnosti, prečne krčitvene anizotropije, parnega tlaka, ki se vzpostavi pri visokih temperaturah izparevanja vode). Tudi vpliv Poissonovega efekta v postopku nastajanja krivine lahko v dobršni meri zavrremo, saj je samo v eni krivini nastala 1 poklina, kar glede na celoten izmet znaša 5 %.

Napake, kot so slepice, slaba mehanska obdelava in odklon vlaken, se v precejšnji meri pojavljajo na elementih (pregl. 10). Pojav pokline pri slepici in naknaden izmet elementa smo zabeležili samo v enem primeru. Pojav napak na predelu slabe mehanske obdelave nismo zabeležili. Težje je oceniti, ali je odklon vlaken pri elementih vplival na izmet. Na devetih elementih smo zabeležili odklon vlaken, izmed teh sta bila dva, ki sta bila v izmetu.

Preglednica 10. Prisotnost napak, kot so slepice, slaba mehanska obdelava in odklon vlaken ter posledičen vpliv na izmet

Napake	Prisotnost napak na n elementih (N = 80)	Izmet	Vzrok za izmet
slepice	20 (25 %)	7	1
slabo skobljano	10 (12,5 %)	4	0
odklon vlaken	9 (11,25 %)	2	0

4.2 VLAŽNOSTI IN GRADIENTI PO RAZREDIH

Povprečne vlažnosti in vlažnostne gradiente smo merili v treh fazah krivljenja, pred in po parjenju ter po sušenju (pregl. 11). Med posameznimi fazami predelave smo pozorno spremljali tudi spremembo vlažnostnega stanja (pregl. 12).

Preglednica 11. Povprečne vlažnosti in vlažnostni gradienti po razredih glede na mesto merjenja: razred A $\rightarrow \bar{u}_z < 18 \%$; $t_p = 1 \text{ min/mm}$, razred B $\rightarrow \bar{u}_z < 18 \%$; $t_p = 2 \text{ min/mm}$, razred C $\rightarrow \bar{u}_z > 23 \%$; $t_p = 1 \text{ min/mm}$, razred D $\rightarrow \bar{u}_z > 23 \%$; $t_p = 2 \text{ min/mm}$.

STATI - STIKA	POVPREČNA VLAŽNOST IN GRADIENTI						STATI - STIKA	POVPREČNA VLAŽNOST IN GRADIENTI					
	pred parjenjem		po parjenju		po sušenju			pred parjenjem		po parjenju		po sušenju	
	$\bar{u}$ (%)	$\Delta u / \Delta x$	$\bar{u}$ (%)	$\Delta u / \Delta x$	$\bar{u}$ (%)	$\Delta u / \Delta x$		$\bar{u}$ (%)	$\Delta u / \Delta x$	$\bar{u}$ (%)	$\Delta u / \Delta x$	$\bar{u}$ (%)	$\Delta u / \Delta x$
RAZRED A (n =20)							RAZRED C (n =20)						
povp.	17,1	2,3	20,6	-3,0	5,0	-0,9	povp.	27,1	6,9	29,0	3,8	7,4	-1,3
st.od.	1,151	1,034	1,271	1,568	0,405	0,913	st.od.	2,613	2,062	2,339	1,850	1,468	1,764
CV	0,067	0,440	0,062	-0,530	0,082	-1,012	CV	0,096	0,301	0,081	0,481	0,197	-1,358
min	14,4	0,7	18,8	-6,4	3,9	-2,2	min	23,5	3,6	24,5	0,4	4,9	-5,8
maks	19,1	4,7	23,0	-0,6	5,8	1,4	maks	31,7	10,0	32,7	7,0	9,6	2,6
RAZRED B (n =20)							RAZRED D (n =20)						
povp.	17,0	2,5	21,2	-4,1	5,1	-0,8	povp.	25,4	6,8	28,4	2,8	7,2	-2,0
st.od.	1,450	0,856	1,486	3,025	0,487	1,027	st.od.	2,491	2,014	3,123	1,869	0,926	1,150
CV	0,086	0,349	0,070	-0,732	0,096	-1,281	CV	0,098	0,296	0,110	0,678	0,128	-0,561
min	14,6	0,9	19,0	-13,5	4,4	-2,2	min	23,0	1,8	25,4	-1,8	5,9	-3,9
maks	19,1	5,2	24,8	-0,6	6,1	2,1	maks	34,0	11,3	35,8	7,3	9,1	-0,4

Preglednica 12. Spremembe vlažnosti med parjenjem in med sušenjem po razredih:
razred A $\rightarrow \bar{u}_z < 18 \%$; $t_p = 1 \text{ min/mm}$, razred B $\rightarrow \bar{u}_z < 18 \%$; $t_p = 2 \text{ min/mm}$, razred C $\rightarrow \bar{u}_z > 23 \%$; $t_p = 1 \text{ min/mm}$, razred D $\rightarrow \bar{u}_z > 23 \%$; $t_p = 2 \text{ min/mm}$.

STATI - STIKA	SPREMEMBA VLAŽNOSTI (%)											
	povprečno		po debelini									
	med parjenjem	med sušenjem *	med parjenjem					med sušenjem *				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
RAZRED A (n =20)												
povp.	3,5	15,6	5,6	2,0	1,4	2,1	5,2	16,8	15,0	14,6	14,6	15,4
st.od.	1,360	1,386	2,009	1,530	1,217	1,233	2,309	2,276	1,920	1,672	1,813	1,823
CV	0,388	0,089	0,357	0,751	0,885	0,599	0,447	0,136	0,128	0,114	0,124	0,118
min	1,3	13,1	2,0	-2,1	-1,5	-0,2	1,1	13,6	11,4	11,3	11,4	12,8
maks	7,3	18,1	9,7	4,9	3,5	4,8	9,3	21,7	19,2	18,4	17,9	18,6
RAZRED B (n =20)												
povp.	4,2	16,1	6,6	2,8	1,3	2,5	6,5	17,3	15,3	14,4	14,9	16,8
st.od.	1,102	1,469	3,155	1,604	1,835	1,228	2,199	2,937	1,922	1,791	1,333	2,017
CV	0,262	0,091	0,477	0,576	1,417	0,496	0,338	0,169	0,125	0,124	0,090	0,120
min	2,7	13,3	2,3	0,2	-4,7	0,4	2,7	13,3	12,1	11,1	12,4	14,3
maks	6,7	19,1	13,0	6,0	4,2	5,3	10,4	24,1	20,4	17,6	17,4	21,4
RAZRED C (n =20)												
povp.	2,0	21,6	2,9	0,6	-0,1	1,3	2,9	19,9	23,0	23,8	23,3	19,9
st.od.	1,682	1,553	1,916	2,111	1,705	2,240	3,230	1,896	1,481	1,602	2,167	2,871
CV	0,852	0,072	0,663	3,818	-16,078	1,753	1,099	0,095	0,064	0,067	0,093	0,144
min	-0,4	18,9	-1,2	-2,0	-2,4	-2,0	-2,9	16,9	20,6	20,7	18,1	15,2
maks	6,6	24,5	6,4	5,4	4,3	6,5	10,6	24,4	25,4	26,9	26,9	24,6
RAZRED D (n =20)												
povp.	3,1	21,2	4,2	1,7	0,8	2,9	5,1	19,1	21,9	22,7	22,1	19,3
st.od.	2,620	3,248	2,981	3,329	2,742	4,162	4,017	3,040	3,311	3,135	3,432	3,552
CV	0,854	0,153	0,717	1,921	3,574	1,425	0,783	0,160	0,151	0,138	0,155	0,184
min	0,4	16,3	-0,6	-3,2	-1,9	-7,0	-3,5	15,7	17,5	18,3	16,7	13,7
maks	10,3	27,1	12,0	9,3	8,1	10,4	11,8	24,4	27,4	29,2	28,1	25,5

* - med procesom sušenja je prišlo do znižanja vlažnosti, številke v tabeli ne vsebujejo predznaka zaradi večje preglednosti

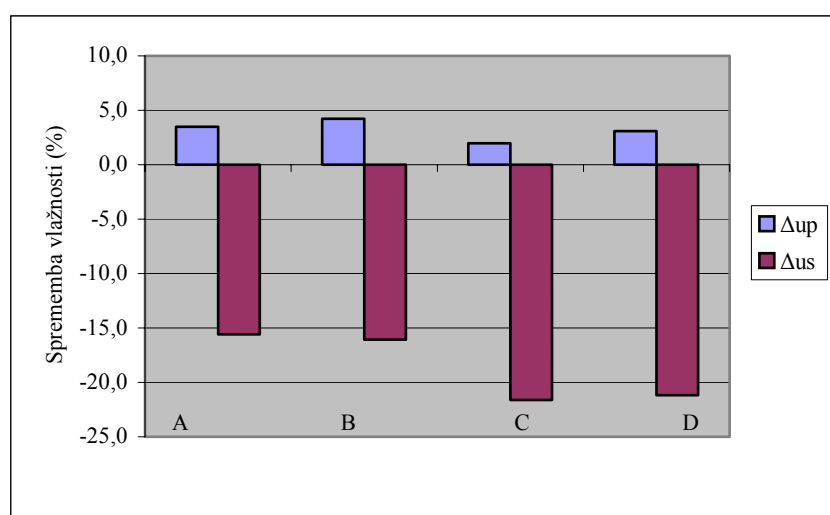
Povprečne vlažnosti po razredih glede na mesto merjenja so razvidne iz preglednice 10. Vidimo, da so razlike med razredoma A in B pred parjenjem minimalne oz. statistično niso značilne ($p = 0,7697$) pri stopnji tveganja $\alpha = 0,05$. Med razredoma C in D pa se povprečna vlažnost elementov pred parjenjem razlikuje za 1,7 %. Razreda se statistično značilno razlikujeta ($p = 0,042$).

Spremembe povprečne vlažnosti med parjenjem se med razredoma A in B statistično značilno ne razlikujeta ($p = 0,0828$), prav tako tudi ne med razredoma C in D ($p = 0,1243$)

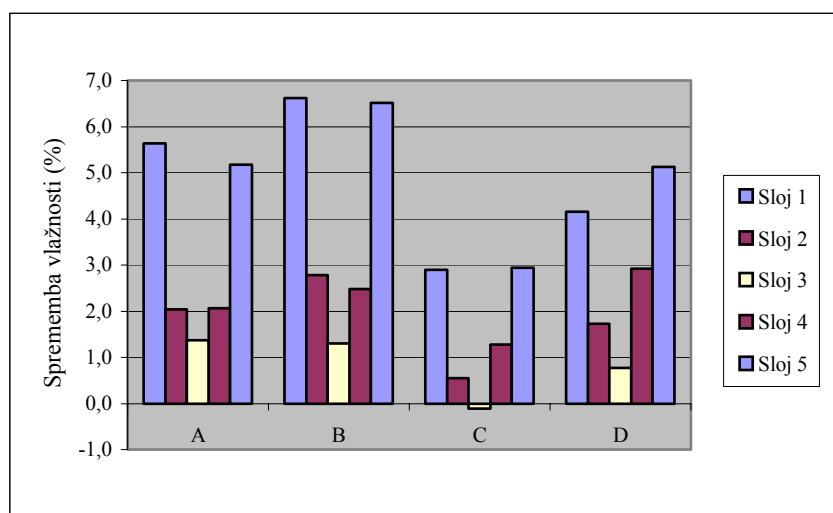
(sl. 18). Pri razredu A so se elementi med parjenjem v povprečju navlažili za 3,5 %, pri razredu B za 4,2 %, pri C za 2 % in pri razredu D za 3,1 %. Povprečne spremembe vlažnosti pri različnem času parjenja 1 in 2 min statistično niso značilne.

Razlike so večje in tudi statistično značilne ($p = 0,036$), če primerjamo samo navlaževanje zunanjih plasti med razredoma A in B, in sicer za več kot 1 %. Med razredoma C in D tudi obstajajo statistično značilne razlike ($p = 0,015$), (sl. 19).

Pri navlaževanju sredice med razredoma A in B praktično ni razlik in se tudi statistično ne razlikujeta ($p = 0,872$). Prav tako tudi med razredoma C in D ni značilnih razlik ($p = 0,234$) pri navlaževanju sredice.

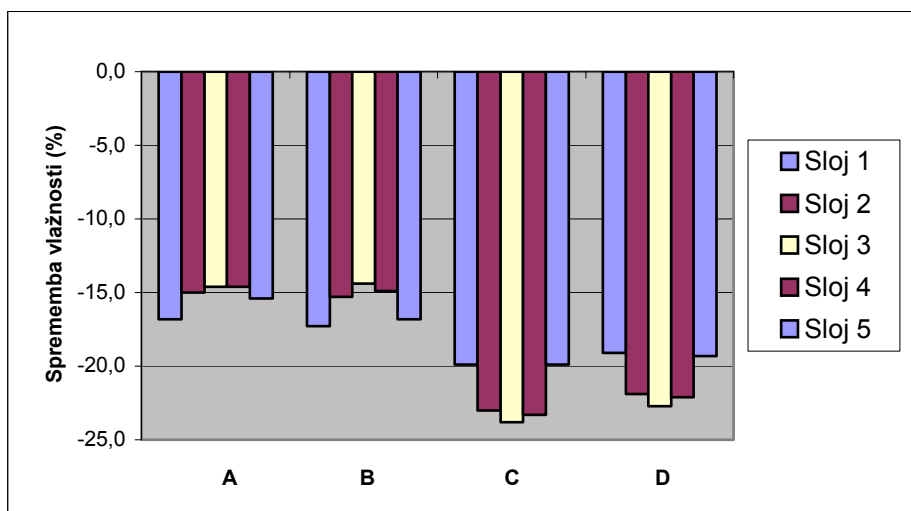


Slika 18. Spremembe povprečne vlažnosti med parjenjem in med sušenjem po razredih (u_p – med parjenjem, u_s – med sušenjem)



Slika 19. Spremembe vlažnosti med parjenjem po debelini elementa glede na razred

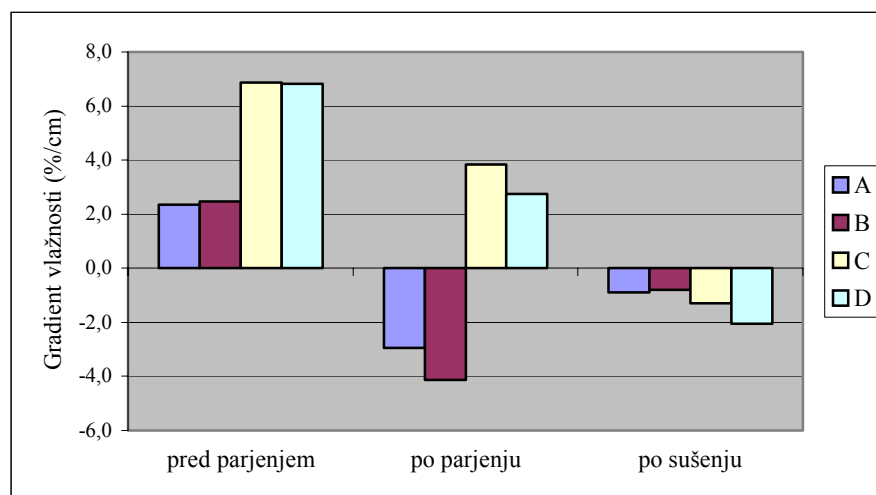
Sprememba vlažnosti med sušenjem je bila pri elementih z nižjo začetno vlažnostjo večja v zunanjih slojih, pri bolj vlažnih elementih pa je bila večja sprememba vlažnosti v sredici (sl. 20).



Slika 20. Spremembe vlažnosti med sušenjem po debelini elementa glede na razred

Povprečni vlažnostni gradient pred parjenjem se je glede na začetno vlažnost elementov (A in B razred pod 18 %, C in D nad 23 %) razlikoval skoraj za 5 %/cm ($p = 0,000$). Vlažnostni gradient se je pri razredih A in B po parjenju, glede na začetno stanje, celo povečal ($p = 0,008$), vendar je spremenil predznak, tako da so bile zunanje plasti vlažnejše kot sredica. Pri razredih C in D pa se je vlažnostni gradient po parjenju zmanjšal vendar ni

spremenil predznaka ($p = 0,000$). Po sušenju pa vlažnostni gradient ni izrazit. Opazimo, da so zunanje plasti vlažnejše kakor sredica, kar je seveda posledica sušenja elementov v polju visoke frekvence.



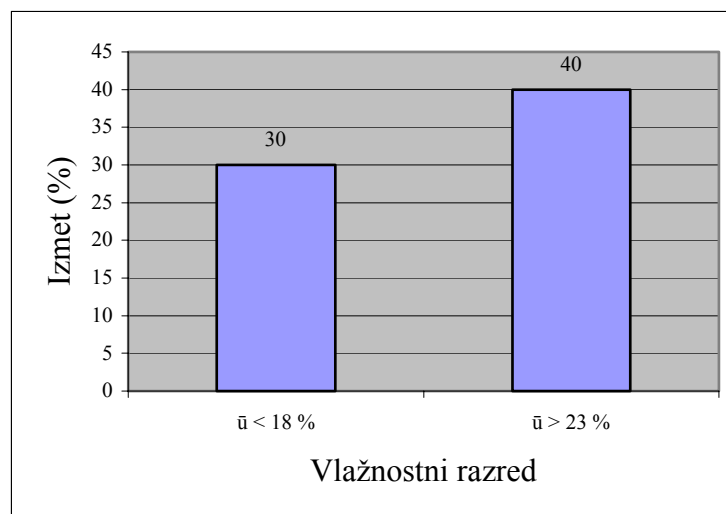
Slika 21. Gradient vlažnosti po skupinah glede na fazo tehnološkega postopka

4.3 NAPAKE PO RAZREDIH

Elementi v razredih A in B skupaj so imeli nekaj manj izmeta kakor elementi v razredih C in D (sl. 22 in pregl. 13). To smo tudi pričakovali, saj je tudi padec vlažnosti v prvem primeru manjši in znaša v povprečju 16 %. V drugem primeru pa znaša 21 %. V praksi se končne vlažnosti elementov v slednjem primeru tudi gibljejo okrog 5 %, tako da so padci vlažnosti še večji in lahko pričakujemo še več napak.

Preglednica 13. Izmet glede na vlažnostni razred pred parjenjem

	$\bar{u} < 18 \%$	$\bar{u} > 23 \%$
n	40	40
izmet	12	16
delež (%)	30	40

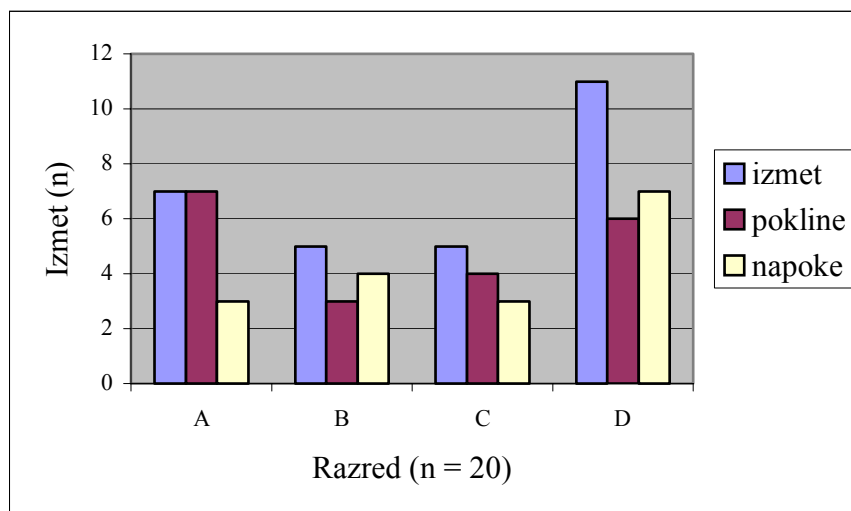


Slika 22. Izmet glede na vlažnostni razred pred parjenjem

Po izmetu je najslabši razred D, sledi mu razred A; razreda B in C imata enako število elementov za izmet in sicer po 5. Pomembno je poudariti, da se pri razredu A pri vseh elementih za izmet pojavljajo pokline, pri razredu D pa so vzrok za izmet v precejšnji meri tudi napoke (pregl. 14 in sl. 23).

Preglednica 14. Izmet in vrsta napak po razredih

razred	izmet	pokline	napoke
A	7	7	3
B	5	3	4
C	5	4	3
D	11	6	7

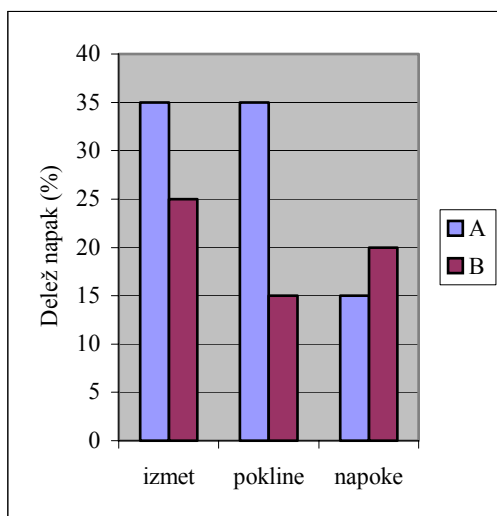


Slika 23. Izmet in vrsta napak po razredih

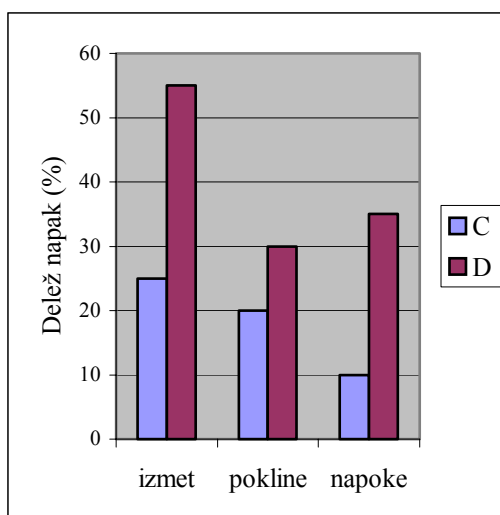
Rezultati kažejo, da je pri krajšem parjenju ($t = 1 \text{ min/mm}$) pojav poklin večji pri elementih, katerih začetna vlažnost je bila pod 18 %. Pri daljšem parjenju ($t = 2 \text{ min/mm}$) pa je pojav napok večji v obeh vlažnostnih razredih (pregl. 15 ter sl. 25 in 26).

Preglednica 15. Število napak glede na vlažnostni razred in čas parjenja

razred	u < 18 %, n = 20 (razred A,B)		u > 23 %, n = 20 (razred C, D)	
t parjenja (min/mm)	1	2	1	2
izmet	7	5	5	11
pokline	7	3	4	6
napoke	3	4	2	7



Slika 24. Delež napak glede na čas parjenja pri elementih, katerih začetna vlažnost je bila pod 18 %



Slika 25. Delež napak glede na čas parjenja pri elementih, katerih začetna vlažnost je bila nad 23 %

5 RAZPRAVA

5.1 ANALIZA PRED PARJENJEM

Z analizo stanja elementov pred parjenjem poizkušamo predvideti oz. napovedati, ali začetna vlažnost, vlažnostni gradienti in morebitne napetosti vplivajo na pojav napak, ki se generirajo tekom procesa. Tako bi lahko nakazali, kakšni naj bodo parametri, da bi proces krivljenja elementov opravili čimbolj uspešno. Zanima nas tudi, ali na kakršen koli način tudi čas parjenja vpliva na končne rezultate in ali morebiti s časom parjenja lahko celo omilimo pojav napak.

5.1.1 Formirani razredi

Preverili smo značilne razlike med razredi A, B, C in D. Zaznali smo edino razlike med razredoma C in D (priloga A3), torej pri razliki v času parjenja, kjer je meja značilnosti tik nad 5 %. Podroben pregled je pokazal, da se napake odražajo na izmetu in na napokah. Pri izmetu hi-test znaša 0,05281, pri napokah pa 0,05833. Nakazuje se možen vpliv prekomernega navlaževanjem ($t_{\text{parjenja}} = 2 \text{ min/mm}$) za elemente, ki vstopajo v proces s previsoko vlažnostjo.

5.1.2 Začetna vlažnost in vlažnostni gradient

Različne začetne vlažnosti in različni vlažnostni gradienti elementov v našem primeru ne nakazujejo, da bi kakorkoli vplivali na pojav napak, vsaj ne pri stopnji značilnosti 5 %.

5.1.3 Kombinacije

5.1.3.1 Začetna vlažnost in čas parjenja

Primerjava različnih vlažnosti elementov in časov parjenja, ki je v našem primeru znašal 1 ali 2 minuti, nam pokaže, da je trajanje parjenja zelo pomembno (pregl. 16). Med

razredoma, katerih elementi vstopajo v proces z najnižjo vlažnostjo (od 14,5 do 17 %) in pri katerih je čas parjenja trajal 1 ali 2 minuti, obstajajo bistvene razlike v pojavu poklin in to na stopnji značilnosti nižji od 5 %. Nakazuje se rešitev, da bi bilo potrebno elemente, ki vstopajo v proces z nizko vlažnostjo, pariti več kot 1 minuto na 1 mm debeline.

Preglednica 16. Primerjava vpliva časa parjenja ($t_1 = 1 \text{ min/mm}$ in $t_2 = 2 \text{ min/mm}$) na izmet, pokline in napoke pred parjenjem pri elementih z začetno vlažnostjo ($14,5 \% < u < 17,0 \%$) s Hi-kvadrat testom.

	$\bar{u}$ nad 14,5 do 17 %	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
IZMET	t_{parjenja} (1 min/mm)	3	5	8	2,2	5,8	0,27	0,10	vrednost χ^2	0,68
	t_{parjenja} (2 min/mm)	2	8	10	2,8	7,2	0,22	0,08	χ^2 -test	0,41012
		5	13	18					Cc	0,27
POKLINE	t_{parjenja} (1 min/mm)	3	5	8	1,3	6,7	2,08	0,42	vrednost χ^2	4,50
	t_{parjenja} (2 min/mm)	0	10	10	1,7	8,3	1,67	0,33	χ^2 -test	0,03389
		3	15	18					Cc	0,63
NAPOKE	t_{parjenja} (1 min/mm)	1	7	8	1,3	6,7	0,08	0,02	vrednost χ^2	0,18
	t_{parjenja} (2 min/mm)	2	8	10	1,7	8,3	0,07	0,01	χ^2 -test	0,67137
		3	15	18					Cc	0,14

Pri višjih vlažnostih vpliv časa parjenja na napake ni zaznaven. Edino pri elementih, ki vstopajo v proces z najvišjimi vlažnostmi in pri katerih je bil čas parjenja 2 min/mm, smo zaznali bistvene razlike v pojavu napok.

IZMET	ū nad 26 do 30 %	OPAZOVANE F. (n)		PRIČAKOVANE F. (n)	PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika			
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
t _{parjenja} (1 min/mm)	2	7	9	3,2	5,8	0,46	0,25	vrednost χ^2	2,00	
t _{parjenja} (2 min/mm)	3	2	5	1,8	3,2	0,83	0,46	χ^2 -test	0,15750	
	5	9	14					Cc	0,50	
POKLINE										
	t _{parjenja} (1 min/mm)	2	7	9	1,9	7,1	0,00	0,00	vrednost χ^2	0,01
	t _{parjenja} (2 min/mm)	1	4	5	1,1	3,9	0,00	0,00	χ^2 -test	0,92265
		3	11	14					Cc	0,04
NAPOKE										
	t _{parjenja} (1 min/mm)	1	8	9	2,6	6,4	0,96	0,38	vrednost χ^2	3,76
	t _{parjenja} (2 min/mm)	3	2	5	1,4	3,6	1,73	0,69	χ^2 -test	0,05235
		4	10	14					Cc	0,65

5.2 ANALIZE PO PARJENJU

5.2.1 Vlažnosti po parjenju

Iz elementov iz razredov A in B (elementi, katerih povprečna začetna vlažnost je znašala pod 18 %) smo izoblikovali dva vlažnostna razreda. Preverili smo značilne razlike med tema dvema razredoma oz., ali kakšen razred izstopa po številu napak. Statistična analiza je pokazala, da je večje število napok na elementih z višjimi vlažnostmi (pregl. 18).

Preglednica 18. Primerjava vpliva vlažnosti ($18 \% < u_1 < 21 \%$ in $21 \% < u_2 < 24 \%$) na izmet, pokline in napoke po parjenju s Hi-kvadrat testom.

IZMET	RAZRED ($\bar{u}$ (%))	OPAZOVANE F. (n)		PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika		
		izmet	dobri			izmet	dobri	Parameter	Vrednost	
	nad 18 do 21	5	19	24	7,2	16,8	0,67	0,29	vrednost χ^2	2,40
	nad 21 do 24	7	9	16	4,8	11,2	1,01	0,43	χ^2 -test	0,12127
		12	28	40					Cc	0,34
POKLINE										
	nad 18 do 21	4	20	24	6,0	18,0	0,67	0,22	vrednost χ^2	2,22
	nad 21 do 24	6	10	16	4,0	12,0	1,00	0,33	χ^2 -test	0,13604
		10	30	40					Cc	0,32
NAPOKE										
	nad 18 do 21	1	23	24	4,2	19,8	2,44	0,52	vrednost χ^2	7,39
	nad 21 do 24	6	10	16	2,8	13,2	3,66	0,78	χ^2 -test	0,00657
		7	33	40					Cc	0,56

Teh rezultatov pa ne potrjujejo elementi iz razredov C in D (začetna povprečna vlažnost nad 23 %) in tudi če primerjamo vse elemente skupaj (priloga A18 in A19).

5.2.2 Gradienti vlažnosti po parjenju

Podatki nam nakazujejo, da večji kot je gradient vlažnosti, več izmeta lahko pričakujemo (pregl. 19). Ta trditev velja le za elemente iz razredov A in B, ker nam rezultati pri razredih C in D tega ne potrjujejo (priloga A21). Tudi če primerjamo vse elemente (priloga A20) med sabo, ni značilnih razlik med razredi. V slednjem primeru smo gradiente merili v absolutnih vrednostih.

Preglednica 19. Primerjava vpliva gradienta vlažnosti ($\Delta u/\Delta x < |-3| \text{ \%/cm}$, $|-3| < \Delta u/\Delta x < |-5| \text{ \%/cm}$, $\Delta u/\Delta x > |-5| \text{ \%/cm}$) na izmet, pokline in napoke po parjenju pri elementih iz razreda A in B s Hi-kvadrat testom.

	$\Delta u/\Delta x \text{ (\%/cm)}$	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
IZMET	do -3	2	18	20	6,0	14,0	2,67	1,14	vrednost χ^2	7,88
	nad -3 do -5	7	6	13	3,9	9,1	2,46	1,06	χ^2 -test	0,01944
	nad -5	3	4	7	2,1	4,9	0,39	0,17	Cc	0,57
		12	28	40						
POKLINE	do -3	2	18	20	5,0	15,0	1,80	0,60	vrednost χ^2	5,55
	nad -3 do -5	6	7	13	3,3	9,8	2,33	0,78	χ^2 -test	0,06234
	nad -5	2	5	7	1,8	5,3	0,04	0,01	Cc	0,49
		10	30	40						
NAPOKE	do -3	1	19	20	3,5	16,5	1,79	0,38	vrednost χ^2	4,34
	nad -3 do -5	4	9	13	2,3	10,7	1,31	0,28	χ^2 -test	0,11394
	nad -5	2	5	7	1,2	5,8	0,49	0,10	Cc	0,44
		7	33	40						

5.2.3 Kombinacije

5.2.3.1 Vlažnosti po parjenju in gradient

Če bolj detajlno analiziramo povezavo med vlažnostjo po parjenju in gradientom, spet pridemo do zaključka, da večji vlažnostni gradient povzroča več napak. Ampak tudi v tem primeru to velja samo za elemente iz razredov A in B, torej za elemente, katerih začetna vlažnost je bila pod 18 % (pregl. 20 in 21).

IZMET	ū nad 18 do 21 %	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
	$\Delta u/\Delta x$ pod 0 do -3	1	6	7	2,6	4,4	1,01	0,60	vrednost χ^2	5,73
	$\Delta u/\Delta x$ pod -3 do -6	4	1	5	1,9	3,1	2,41	1,45	χ^2 -test	0,05700
	$\Delta u/\Delta x$ pod -6	1	3	4	1,5	2,5	0,17	0,10	Cc	0,73
		6	10	16						
POKLNE										
	$\Delta u/\Delta x$ pod 0 do -3	1	6	7	2,2	4,8	0,64	0,29	vrednost χ^2	2,93
	$\Delta u/\Delta x$ pod -3 do -6	3	2	5	1,6	3,4	1,32	0,60	χ^2 -test	0,23061
	$\Delta u/\Delta x$ pod -6	1	3	4	1,3	2,8	0,05	0,02	Cc	0,56
		5	11	16						
	NAPOKE									
$\Delta u/\Delta x$ pod 0 do -3		1	6	7	2,2	4,8	0,64	0,29	vrednost χ^2	2,93
$\Delta u/\Delta x$ pod -3 do -6		3	2	5	1,6	3,4	1,32	0,60	χ^2 -test	0,23061
$\Delta u/\Delta x$ pod -6		1	3	4	1,3	2,8	0,05	0,02	Cc	0,56
		5	11	16						

IZMET	$\bar{u}$ nad 21 do 24 %	OPAZOVANE F. (n)		PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika		
		izmet	dobri			izmet	dobri	Parameter	Vrednost	
	$\Delta u/\Delta x$ pod 0 do -3	1	12	13	3,3	9,8	1,56	0,52	vrednost χ^2	4,53
	$\Delta u/\Delta x$ pod -3 do -6	5	6	11	2,8	8,3	1,84	0,61	χ^2 -test	0,03328
		6	18	24					Cc	0,56
POKLINE										
	$\Delta u/\Delta x$ pod 0 do -3	1	12	13	2,7	10,3	1,08	0,28	vrednost χ^2	2,97
	$\Delta u/\Delta x$ pod -3 do -6	4	7	11	2,3	8,7	1,27	0,34	χ^2 -test	0,08484
		5	19	24					Cc	0,47
NAPOKE										
	$\Delta u/\Delta x$ pod 0 do -3	0	13	13	1,1	11,9	1,08	0,10	vrednost χ^2	2,58
	$\Delta u/\Delta x$ pod -3 do -6	2	9	11	0,9	10,1	1,28	0,12	χ^2 -test	0,10832
		2	22	24					Cc	0,44

5.3 ANALIZE PO SUŠENJU

5.3.1 Končne vlažnosti po sušenju

Nižja kot je končna vlažnost elementov, več napak lahko pričakujemo. Če gledamo končne vlažnosti vseh elementov skupaj, se ta trditev pokaže pri poklinah in to pri stopnji značilnosti, ki je tik nad mejo 5 % (priloga A28). Pri elementih iz razredov C in D pa je stopnja značilnosti pri izmetu že skoraj 7 %. (priloga A29). Najbolj pa se vpliv končnih vlažnosti pokaže pri elementih iz razredov A in B, in sicer pri izmetu in poklinah (pregl. 22).

Preglednica 22. Primerjava vpliva vlažnosti ($u_1 < 5 \%$ in $u_2 > 5 \%$) na izmet, pokline in napoke po sušenju s Hi-kvadrat testom.

	RAZRED ($\bar{u}$ (%))	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
IZMET	do 5	10	12	22	6,6	15,4	1,75	0,75	vrednost χ^2	5,56
	nad 5	2	16	18	5,4	12,6	2,14	0,92	χ^2 -test	0,01837
		12	28	40					Cc	0,49
POKLINE	do 5	9	13	22	5,5	16,5	2,23	0,74	vrednost χ^2	6,60
	nad 5	1	17	18	4,5	13,5	2,72	0,91	χ^2 -test	0,01020
		10	30	40					Cc	0,53
NAPOKE	do 5	5	17	22	3,9	18,2	0,34	0,07	vrednost χ^2	0,93
	nad 5	2	16	18	3,2	14,9	0,42	0,09	χ^2 -test	0,33610
		7	33	40					Cc	0,21

5.3.2 Gradient vlažnosti po sušenju

Razlike se kažejo predvsem med razredoma, kjer je znašal gradient do -1 %/cm in med -1 in -2 %/cm (pregl. 23). V razredu, kjer je bil končni gradient manjši, smo zasledili več napak. Razlike so značilne, če primerjamo vse elemente skupaj in pri elementih iz razredov C in D (priloga A31), in sicer pri izmetu in napokah.

Preglednica 23. Primerjava vpliva gradienta vlažnosti ($\Delta u/\Delta x < |-1| \text{ \%/cm}$, $|-1| < \Delta u/\Delta x < |-2| \text{ \%/cm}$, $\Delta u/\Delta x > |-2| \text{ \%/cm}$) na izmet, pokline in napoke pri vseh elementih po parjenju s Hi-kvadrat testom.

	$\Delta u/\Delta x \text{ (\%/cm)}$	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
IZMET	do -1	14	12	26	9,1	16,9	2,64	1,42	vrednost χ^2	7,16
	pod -1 do -2	7	27	34	11,9	22,1	2,02	1,09	χ^2 -test	0,02783
	pod -2	7	13	20	7,0	13,0	0,00	0,00	Cc	0,41
		28	52	80						
POKLINE	do -1	8	18	26	6,5	19,5	0,35	0,12	vrednost χ^2	0,81
	pod -1 do -2	7	27	34	8,5	25,5	0,26	0,09	χ^2 -test	0,66548
	pod -2	5	15	20	5,0	15,0	0,00	0,00	Cc	0,14
		20	60	80						
NAPKE	do -1	10	16	26	5,2	20,8	4,43	1,11	vrednost χ^2	9,77
	pod -1 do -2	2	32	34	6,8	27,2	3,39	0,85	χ^2 -test	0,00754
	pod -2	4	16	20	4,0	16,0	0,00	0,00	Cc	0,47
		16	64	80						

5.3.3 Spremembe vlažnosti med sušenjem

5.3.3.1 Spremembe povprečne vlažnosti

Večja kot je sprememba vlažnosti med sušenjem, več napak lahko pričakujemo. To se odraža tako pri poklinah in napokah, kakor tudi na splošno pri izmetu. Vendar je značilno samo za elemente iz razredov A in B.

Preglednica 24. Primerjava vpliva spremembe vlažnosti ($13 \% < \Delta u_1 < 16 \%$ in $16 \% < \Delta u_2 < 19 \%$) na izmet, pokline in napoke med sušenjem s Hi-kvadrat testom. Primerjava elementov iz razredov A in B.

	Δu (%)	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
IZMET	nad 13 do 16	4	20	24	7,2	16,8	1,42	0,61	vrednost χ^2	5,08
	nad 16 do 19	8	8	16	4,8	11,2	2,13	0,91	χ^2 -test	0,02421
		12	28	40					Cc	0,47
POKLINE	nad 13 do 16	3	21	24	6,0	18,0	1,50	0,50	vrednost χ^2	5,00
	nad 16 do 19	7	9	16	4,0	12,0	2,25	0,75	χ^2 -test	0,02535
		10	30	40					Cc	0,47
NAPOKE	nad 13 do 16	1	23	24	4,2	19,8	2,44	0,52	vrednost χ^2	7,39
	nad 16 do 19	6	10	16	2,8	13,2	3,66	0,78	χ^2 -test	0,00657
		7	33	40					Cc	0,56

5.3.3.2 Sprememba vlažnosti površinskih slojev med sušenjem

Večja kot je sprememba vlažnosti površinskih slojev med sušenjem, več napak lahko pričakujemo. To je značilno pri izmetu splošno, na poklinah in napokah. Prav tako pa tudi na vseh elementih skupaj ali po razredih A, B in C, D. (priloga A32 in A33)

Preglednica 25. Primerjava vpliva spremembe vlažnosti ($13 \% < \Delta u_1 < 17 \%$, $17 \% < \Delta u_2 < 21 \%$ in $21 \% < \Delta u_3 < 25 \%$) na izmet, pokline in napoke med sušenjem s Hi-kvadrat testom. V testu so zavzeti vsi elementi.

	Δu (%)	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
IZMET	nad 13 do 17	1	23	24	8,4	15,6	6,52	3,51	vrednost χ^2	14,45
	nad 17 do 21	17	17	34	11,9	22,1	2,19	1,18	χ^2 -test	0,00073
	nad 21 do 25	10	12	22	7,7	14,3	0,69	0,37	Cc	0,55
		28	52	80						
POKLINE	nad 13 do 17	1	23	24	6,0	18,0	4,17	1,39	vrednost χ^2	8,79
	nad 17 do 21	13	21	34	8,5	25,5	2,38	0,79	χ^2 -test	0,01232
	nad 21 do 25	6	16	22	5,5	16,5	0,05	0,02	Cc	0,45
		20	60	80						
NAPOKE	nad 13 do 17	0	24	24	4,8	19,2	4,80	1,20	vrednost χ^2	8,81
	nad 17 do 21	9	25	34	6,8	27,2	0,71	0,18	χ^2 -test	0,01222
	nad 21 do 25	7	15	22	4,4	17,6	1,54	0,38	Cc	0,45
		16	64	80						

5.3.4 Napetosti

Pred parjenjem, po parjenju in po sušenju nismo zaznali značilnih razlik med razredi (priloga A35 do A40). Razrede smo izoblikovali glede na kvantitativni razmak med razpolovljenima vzorcema po prežagovalni metodi.

5.3.5 Orientiranost

Značilnih razlik med razredi, pri katerih je odklon vlaken znašal 15° , 30° in kjer ni bilo odklona, nismo zaznali (priloga A41).

6 SKLEPI

Z rangiranjem elementov v vlažnostne razrede in kontrolo kakovosti v treh fazah tehnološkega postopka smo ugotavljali vpliv vlažnosti in vlažnostnih gradientov na nastanek razpok. Ugotavljali smo tudi, ali lahko s kontroliranjem časa parjenja kakorkoli vplivamo na pojav razpok in nenazadnje, kakšen je vpliv samega postopka krivljenja (postopek nastajanja krivine) na pojav razpok.

Ugotovili smo sledeče:

- Nižja kot je končna vlažnost elementov, večji je pojav razpok.
- Večja kot je sprememba vlažnosti med sušenjem, večji pojav razpok lahko pričakujemo.
- Manjši pojav razpok lahko pričakujemo, če znaša gradient vlažnosti po parjenju pod 3 %/cm. To velja za elemente, ki vstopajo v proces krivljenja z vlažnostmi pod 18 %.
- S kontroliranim časom parjenja (1 in 2 min/mm debeline elementa) lahko vplivamo na pojav poklin in napok pri elementih, ki vstopajo v proces krivljenja z največjimi odstopanji vlažnosti ($u < 17 \%$, $u > 26 \%$). Pri elementih, ki vstopajo v proces krivljenja z vlažnostmi pod 17 %, lahko s podaljšanim časom parjenja vplivamo na zmanjšanje pojava poklin, pri elementih, ki vstopajo v proces krivljenja z vlažnostmi nad 26 %, lahko s skrajševanjem časa parjenja vplivamo na pojav napok.
- Vizualne ugotovitve v veliki meri zavračajo neposreden vpliv postopka krivljenja (postopek nastajanje krivine) na pojav razpok. Krivina je bila relativno blaga, saj je znašala ocena za kritičnost krivine 0,04.

7 LITERATURA

1. Brezinščak M. 1950. Visokofrekventna zagrijavanja; 2. primjena kapacitivnog VF zagrijavanja. *Elektrotehničar*, 11/12: 310-314.
2. Cikač B. 1994. Raziskava relevantnih parametrov segrevanja lesa v električnem polju visoke frekvence. Magistrsko delo. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 135 str.
3. Eggert O. T. 1995. Untersuchung der Einflussgrößen beim Biegen von Vollholz. Stuttgart, Institute für Werkzeugmaschinen: 115 str.
4. Geršak M., Čop T., Gorišek Ž., Mrak C., Velušček V. 1986. Sušenje lesa. Ljubljana, Zveza društev inženirjev in tehnikov gozdarstva in lesarstva Slovenije.
5. Giordano G. 1982. Tecnologia del legno. Volume secondo. Torino, Unione tipografico – editrice torinese.
6. Gorišek Ž. 1987. Vpliv parjenja na fizikalne in obdelavnostne lastnosti bukovine (*Fagus silvatica* L.). Magistrsko delo. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 105 str.
7. Gorišek Ž. 1997. Ocenjevanje kakovosti sušenja lesa. *Les*, 49, 5: 138-141.
8. Kollmann F. 1952. Über das Biegen der Hölzer. *Holz-Zentralblatt*, 78, 104: 1439-1440.
9. Kollmann F., Cote A. 1975. Principles of wood science and technology. Part 1: Solid wood. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag: 592 str.
10. Kovačič B. 1997. Ugotavljanje optimalnih tehnoloških parametrov pri krivljenju masivnega lesa. *Les*, 49, 4: 98-100.
11. Krpan J. 1965. Sušenje i parenje drva. Zagreb, Šumarski fakultet sveučilišta u Zagrebu: 372 str.
12. Kubinsky E. 1971. Der Einfluss des Dampfens auf die Holzeigenschaften. *Holzforshung und Holzverwertung*, 23: 1-11.
13. Mead R. 1990. Statistical methods in agriculture and experimental biology. London, Chapman and Hall: 335 str.
14. Resnik J., Berčič S., Cikač B. 1995. Visokofrekvenčno segrevanje in lepljenje lesa. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 109 str.

15. Stražišar J. 1996. Vpliv relevantnih lastnosti lesa na kvaliteto bukovih krivljenih elementov. Višješolska diplomska naloga. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo.
16. Šernek M. 1995. Vpliv gradienta vlažnosti lesa na gradient temperature pri visokofrekvenčnem segrevanju. Visokošolska diplomska naloga. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo.
17. Škalič A. 2000. Vpliv tehnološke priprave hrastovine na kakovost krivljenja. Višješolska diplomska naloga. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo.
18. Torelli N. 1989. Zgradba in lastnosti lesa. Izbrana poglavja, skripta za interno uporabo. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo.
19. Wood handbook – Wood as an engineering material 1999. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory: 463 str.

Za pomoč pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju prof. dr. Željku Gorišku in asistentu mag. Alešu Stražetu.

Doc. dr. Milanu Šerneku se zahvaljujem za recenzenstvo pri pisanju diplomske naloge. Zahvaljujem se tudi podjetju KLI Logatec, ki mi je omogočilo pripravo in testiranje vzorcev in vsem zaposlenim, ki so kakorkoli pomagali pri snovanju in izdelavi diplomske naloge.

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

PRILOGE

Priloga A1. Primerjava med formiranimi razredi (razred A $\rightarrow \bar{u}_z < 18\%$; $t_p = 1$ min/mm, razred B $\rightarrow \bar{u}_z < 18\%$; $t_p = 2$ min/mm, razred C $\rightarrow \bar{u}_z > 23\%$; $t_p = 1$ min/mm, razred D $\rightarrow \bar{u}_z > 23\%$; $t_p = 2$ min/mm), glede na izmet, pokline in napoke s Hi-kvadrat testom.

	RAZRED	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
IZMET										
	A	7	13	20	7,0	13,0	0,00	0,00	vrednost χ^2	5,27
	B	5	15	20	7,0	13,0	0,57	0,31	χ^2 -test	0,15275
	C	5	15	20	7,0	13,0	0,57	0,31	Cc	0,35
	D	11	9	20	7,0	13,0	2,29	1,23		
		28	52	80						
POKLINE										
	A	7	13	20	5,0	15,0	0,80	0,27	vrednost χ^2	2,67
	B	3	17	20	5,0	15,0	0,80	0,27	χ^2 -test	0,44592
	C	4	16	20	5,0	15,0	0,20	0,07	Cc	0,25
	D	6	14	20	5,0	15,0	0,20	0,07		
		20	60	80						
NAPOKE										
	A	3	17	20	4,0	16,0	0,25	0,06	vrednost χ^2	4,38
	B	4	16	20	4,0	16,0	0,00	0,00	χ^2 -test	0,22371
	C	2	18	20	4,0	16,0	1,00	0,25	Cc	0,32
	D	7	13	20	4,0	16,0	2,25	0,56		
		16	64	80						

Priloga A2. Primerjava med formiranimi razredoma (razred A $\rightarrow \bar{u}_z < 18\%$; $t_p = 1$ min/mm, razred B $\rightarrow \bar{u}_z < 18\%$; $t_p = 2$ min/mm), glede na izmet, pokline in napoke s Hi-kvadrat testom.

	RAZRED	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
IZMET	A	7	13	20	6,0	14,0	0,17	0,07	vrednost χ^2	0,48
	B	5	15	20	6,0	14,0	0,17	0,07	χ^2 -test	0,49015
		12	28	40					Cc	0,15
POKLINE	A	7	13	20	5,0	15,0	0,80	0,27	vrednost χ^2	2,13
	B	3	17	20	5,0	15,0	0,80	0,27	χ^2 -test	0,14413
		10	30	40					Cc	0,32
NAPOKE	A	3	17	20	3,5	16,5	0,07	0,02	vrednost χ^2	0,17
	B	4	16	20	3,5	16,5	0,07	0,02	χ^2 -test	0,67732
		7	33	40					Cc	0,09

IZMET	RAZRED	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika		
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost	
	A+B	12	28		40	14,0	26,0	0,29	0,15	vrednost χ^2	0,88
	C+D	16	24		40	14,0	26,0	0,29	0,15	χ^2 -test	0,34844
		28	52		80					Cc	0,15
POKLINE											
	A+B	10	30	40	10,0	30,0	0,00	0,00	vrednost χ^2	0,00	
	C+D	10	30	40	10,0	30,0	0,00	0,00	χ^2 -test	1,00000	
		20	60	80					Cc	0,00	
NAPOKE											
	A+B	7	33	40	8,0	32,0	0,13	0,03	vrednost χ^2	0,31	
	C+D	9	31	40	8,0	32,0	0,13	0,03	χ^2 -test	0,57615	
		16	64	80					Cc	0,09	

[illegible]

Priloga A9. Primerjava vpliva gradienta vlažnosti ($\Delta u/\Delta x < 2 \text{ \%/cm}$, $2 < \Delta u/\Delta x < 4 \text{ \%/cm}$, $4 < \Delta u/\Delta x < 6 \text{ \%/cm}$, $6 < \Delta u/\Delta x < 8 \text{ \%/cm}$, $\Delta u/\Delta x > 8 \text{ \%/cm}$) na izmet, pokline in napoke pred parjenjem s Hi-kvadrat testom.

	$\Delta u/\Delta x \text{ (\%/cm)}$	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
IZMET	do 2	5	11	16	5,6	10,4	0,06	0,03	vrednost χ^2	2,08
	nad 2 do 4	8	17	25	8,8	16,3	0,06	0,03	χ^2 -test	0,72143
	nad 4 do 6	5	10	15	5,3	9,8	0,01	0,01	Cc	0,23
	nad 6 do 8	6	5	11	3,9	7,2	1,20	0,65		
	nad 8	4	8	12	4,2	7,8	0,01	0,01		
		28	52	80						
POKLINE	do 2	5	11	16	4,0	12,0	0,25	0,08	vrednost χ^2	0,72
	nad 2 do 4	5	20	25	6,3	18,8	0,25	0,08	χ^2 -test	0,09439
	nad 4 do 6	4	11	15	3,8	11,3	0,02	0,01	Cc	9,49
	nad 6 do 8	3	8	11	2,8	8,3	0,02	0,01		
	nad 8	3	9	12	3,0	9,0	0,00	0,00		
		20	60	80						
NAPOKE	do 2	3	13	16	3,2	12,8	0,01	0,00	vrednost χ^2	0,82
	nad 2 do 4	4	21	25	5,0	20,0	0,20	0,05	χ^2 -test	0,10053
	nad 4 do 6	3	12	15	3,0	12,0	0,00	0,00	Cc	9,49
	nad 6 do 8	3	8	11	2,2	8,8	0,29	0,07		
	nad 8	3	9	12	2,4	9,6	0,15	0,04		
		16	64	80						

Priloga A10. Primerjava vpliva gradienta vlažnosti ($\Delta u/\Delta x < 2 \text{ \%/cm}$, $2 < \Delta u/\Delta x < 4 \text{ \%/cm}$, $4 < \Delta u/\Delta x < 6 \text{ \%/cm}$) na izmet, pokline in napoke pri elementih iz razreda A in B pred parjenjem s Hi-kvadrat testom.

	$\Delta u/\Delta x \text{ (\%/cm)}$	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
IZMET	do 2	5	11	16	5,6	10,4	0,06	0,03	vrednost χ^2	0,21
	nad 2 do 4	8	17	25	8,8	16,3	0,06	0,03	χ^2 -test	0,89922
	nad 4 do 6	4	8	12	4,2	7,8	0,01	0,01	Cc	0,07
		28	52	80						
POKLINE	do 2	5	11	16	4,0	12,0	0,25	0,08	vrednost χ^2	0,36
	nad 2 do 4	3	8	11	2,8	8,3	0,02	0,01	χ^2 -test	0,83375
	nad 4 do 6	3	9	12	3,0	9,0	0,00	0,00	Cc	0,10
		20	60	80						
NAPOKE	do 2	3	13	16	3,2	12,8	0,01	0,00	vrednost χ^2	0,57
	nad 2 do 4	3	8	11	2,2	8,8	0,29	0,07	χ^2 -test	0,75323
	nad 4 do 6	3	9	12	2,4	9,6	0,15	0,04	Cc	0,12
		16	64	80						

IZMET	ū nad 17 do 19,5 %	OPAZOVANE F. (n)		PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika		
		izmet	dobri	izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost	
	t _{parjenja} (1 min/mm)	4	8	12	3,8	8,2	0,01	0,00	vrednost χ^2	0,03
	t _{parjenja} (2 min/mm)	3	7	10	3,2	6,8	0,01	0,00	χ^2 -test	0,86726
		7	15	22					Cc	0,05
POKLINE										
	t _{parjenja} (1 min/mm)	4	8	12	3,8	8,2	0,01	0,00	vrednost χ^2	0,03
	t _{parjenja} (2 min/mm)	3	7	10	3,2	6,8	0,01	0,00	χ^2 -test	0,86726
		7	15	22					Cc	0,05
NAPOKE										
	t _{parjenja} (1 min/mm)	2	10	12	2,2	9,8	0,02	0,00	vrednost χ^2	0,04
	t _{parjenja} (2 min/mm)	2	8	10	1,8	8,2	0,02	0,00	χ^2 -test	0,84004
		4	18	22					Cc	0,06

Priloga A13. Primerjava vpliva časa parjenja ($t_1 = 1 \text{ min/mm}$ in $t_2 = 2 \text{ min/mm}$) na izmet, pokline in napoke pred parjenjem, pri elementih z začetno vlažnostjo ($23 \% < u < 26 \%$) s Hi-kvadrat testom.

IZMET	$\bar{u}$ nad 23 do 26 %	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
	t_{parjenja} (1 min/mm)	2	6	8	3,6	4,4	0,74	0,61	vrednost χ^2	2,12
	t_{parjenja} (2 min/mm)	8	6	14	6,4	7,6	0,42	0,35	χ^2 -test	0,14525
POKLINE		10	12	22					Cc	0,42
	t_{parjenja} (1 min/mm)	1	7	8	2,2	5,8	0,64	0,24	vrednost χ^2	1,38
	t_{parjenja} (2 min/mm)	5	9	14	3,8	10,2	0,37	0,14	χ^2 -test	0,23956
		6	16	22					Cc	0,34
NAPOKE	t_{parjenja} (1 min/mm)	1	7	8	1,8	6,2	0,37	0,11	vrednost χ^2	0,75
	t_{parjenja} (2 min/mm)	4	10	14	3,2	10,8	0,21	0,06	χ^2 -test	0,38688
		5	17	22					Cc	0,26

Priloga A14. Primerjava vpliva gradienta vlažnosti ($0 \%/\text{cm} < \Delta u/\Delta x < 2 \%/\text{cm}$ in $2 \%/\text{cm} < \Delta u/\Delta x < 4 \%/\text{cm}$) na izmet, pokline in napoke pri elementih z vlažnostjo pred parjenjem ($14,5 \% < u < 17 \%$) s Hi-kvadrat testom.

IZMET	$\bar{u}$ nad 14,5 do 17 %	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
	$\Delta u/\Delta x$ 0 do 2 %/cm	3	6	9	2,5	6,5	0,10	0,04	vrednost χ^2	0,28
	$\Delta u/\Delta x$ nad 2 do 4 %/cm	2	7	9	2,5	6,5	0,10	0,04	χ^2 -test	0,59873
POKLINE		5	13	18					Cc	0,17
	$\Delta u/\Delta x$ 0 do 2 %/cm	3	6	9	1,5	7,5	1,50	0,30	vrednost χ^2	3,60
	$\Delta u/\Delta x$ nad 2 do 4 %/cm	0	9	9	1,5	7,5	1,50	0,30	χ^2 -test	0,05778
		3	15	18					Cc	0,58
NAPOKE	$\Delta u/\Delta x$ 0 do 2 %/cm	1	8	9	1,5	7,5	0,17	0,03	vrednost χ^2	0,40
	$\Delta u/\Delta x$ nad 2 do 4 %/cm	2	7	9	1,5	7,5	0,17	0,03	χ^2 -test	0,52709
		3	15	18					Cc	0,21

IZMET	ū nad 23 do 26 %	OPAZOVANE F. (n)		PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika		
		izmet	dobri	izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost	
	$\Delta u/\Delta x$ nad 3 do 7 %/cm	4	6	10	4,5	5,5	0,07	0,05	vrednost χ^2	0,22
	$\Delta u/\Delta x$ nad 7 do 11 %/cm	6	6	12	5,5	6,5	0,05	0,05	χ^2 -test	0,63904
		10	12	22					Cc	0,14
POKLINJE										
	$\Delta u/\Delta x$ nad 3 do 7 %/cm	3	7	10	2,7	7,3	0,03	0,01	vrednost χ^2	0,07
	$\Delta u/\Delta x$ nad 7 do 11 %/cm	3	9	12	3,3	8,7	0,02	0,01	χ^2 -test	0,79317
		6	16	22					Cc	0,08
NAPOKE										
	$\Delta u/\Delta x$ nad 3 do 7 %/cm	1	9	10	2,3	7,7	0,71	0,21	vrednost χ^2	1,69
	$\Delta u/\Delta x$ nad 7 do 11 %/cm	4	8	12	2,7	9,3	0,59	0,17	χ^2 -test	0,19347
		5	17	22					Cc	0,38

Priloga A17. Primerjava vpliva gradienta vlažnosti ($3 \text{ \%}/\text{cm} < \Delta u/\Delta x < 7 \text{ \%}/\text{cm}$ in $7 \text{ \%}/\text{cm} < \Delta u/\Delta x < 11 \text{ \%}/\text{cm}$) na izmet, pokline in napoke pri elementih z vlažnostjo pred parjenjem ($26 \text{ \%} < u < 30 \text{ \%}$) s Hi-kvadrat testom.

	$\bar{u}$ nad 26 do 30 %	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
IZMET	$\Delta u/\Delta x$ nad 3 do 7 %/cm	3	3	6	2,1	3,9	0,34	0,19	vrednost χ^2	0,93
	$\Delta u/\Delta x$ nad 7 do 11 %/cm	2	6	8	2,9	5,1	0,26	0,14	χ^2 -test	0,33400
		5	9	14					Cc	0,35
POKLINE	$\Delta u/\Delta x$ nad 3 do 7 %/cm	2	4	6	1,3	4,7	0,40	0,11	vrednost χ^2	0,88
	$\Delta u/\Delta x$ nad 7 do 11 %/cm	1	7	8	1,7	6,3	0,30	0,08	χ^2 -test	0,34715
		3	11	14					Cc	0,34
NAPOKE	$\Delta u/\Delta x$ nad 3 do 7 %/cm	2	4	6	1,7	4,3	0,05	0,02	vrednost χ^2	0,12
	$\Delta u/\Delta x$ nad 7 do 11 %/cm	2	6	8	2,3	5,7	0,04	0,01	χ^2 -test	0,73268
		4	10	14					Cc	0,13

Priloga A18. Primerjava vpliva vlažnosti ($18 \text{ \%} < u_1 < 22 \text{ \%}$, $22 \text{ \%} < u_2 < 26 \text{ \%}$, $26 \text{ \%} < u_3 < 30 \text{ \%}$ in $u_4 > 30 \text{ \%}$) na izmet, pokline in napoke po parjenju s Hi-kvadrat testom.

	RAZRED ($\bar{u}$ (%))	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
IZMET	nad 18 do 22	7	23	30	10,5	19,5	1,17	0,63	vrednost χ^2	3,21
	nad 22 do 26	8	10	18	6,3	11,7	0,46	0,25	χ^2 -test	0,36044
	nad 26 do 30	8	10	18	6,3	11,7	0,46	0,25	Cc	0,28
	nad 30	5	9	14	4,9	9,1	0,00	0,00		
		28	52	80						
POKLINE	nad 18 do 22	5	25	30	7,5	22,5	0,83	0,28	vrednost χ^2	3,13
	nad 22 do 26	7	11	18	4,5	13,5	1,39	0,46	χ^2 -test	0,37168
	nad 26 do 30	4	14	18	4,5	13,5	0,06	0,02	Cc	0,27
	nad 30	4	10	14	3,5	10,5	0,07	0,02		
		20	60	80						
NAPOKE	nad 18 do 22	3	27	30	6,0	24,0	1,50	0,38	vrednost χ^2	3,25
	nad 22 do 26	5	13	18	3,6	14,4	0,54	0,14	χ^2 -test	0,35410
	nad 26 do 30	5	13	18	3,6	14,4	0,54	0,14	Cc	0,28
	nad 30	3	11	14	2,8	11,2	0,01	0,00		
		16	64	80						

IZMET	$\Delta u/\Delta x$ (%/cm)	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
	do 3	12	31	43	15,1	28,0	0,62	0,33	vrednost χ^2	2,46
	nad 3 do 5	10	11	21	7,4	13,7	0,96	0,51	χ^2 -test	0,29159
	nad 5	6	10	16	5,6	10,4	0,03	0,02	Cc	0,24
		28	52	80						
POKLINJE										
	do 3	8	35	43	10,8	32,3	0,70	0,23	vrednost χ^2	2,86
	nad 3 do 5	8	13	21	5,3	15,8	1,44	0,48	χ^2 -test	0,23947
	nad 5	4	12	16	4,0	12,0	0,00	0,00	Cc	0,26
		20	60	80						
NAPOKE										
	do 3	7	36	43	8,6	34,4	0,30	0,07	vrednost χ^2	1,35
	nad 3 do 5	6	15	21	4,2	16,8	0,77	0,19	χ^2 -test	0,50865
	nad 5	3	13	16	3,2	12,8	0,01	0,00	Cc	0,18
		16	64	80						

Priloga A21. Primerjava vpliva gradienta vlažnosti ($\Delta u/\Delta x < 3 \text{ \%/cm}$, $3 < \Delta u/\Delta x < 5 \text{ \%/cm}$, $\Delta u/\Delta x > 5 \text{ \%/cm}$) na izmet, pokline in napoke pri elementih iz razreda C in D po parjenju s Hi-kvadrat testom.

	$\Delta u/\Delta x \text{ (\%/cm)}$	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
IZMET										
	do 3	10	13	23	9,2	13,8	0,07	0,05	vrednost χ^2	0,30
	nad 3 do 5	3	5	8	3,2	4,8	0,01	0,01	χ^2 -test	0,85923
	nad 5	3	6	9	3,6	5,4	0,10	0,07	Cc	0,12
		16	24	40						
POKLINE										
	do 3	6	17	23	5,8	17,3	0,01	0,00	vrednost χ^2	0,05
	nad 3 do 5	2	6	8	2,0	6,0	0,00	0,00	χ^2 -test	0,97456
	nad 5	2	7	9	2,3	6,8	0,03	0,01	Cc	0,05
		10	30	40						
NAPOKE										
	do 3	6	17	23	5,2	17,8	0,13	0,04	vrednost χ^2	0,96
	nad 3 do 5	2	7	8	1,8	6,2	0,02	0,10	χ^2 -test	0,61736
	nad 5	1	8	9	2,0	7,0	0,52	0,15	Cc	0,22
		9	31	40						

Priloga A22. Primerjava vpliva časa parjenja ($t_1 = 1 \text{ min/mm}$ in $t_2 = 2 \text{ min/mm}$) na izmet, pokline in napoke po parjenju, pri elementih z vlažnostjo ($18 \% < u < 21 \%$) s Hi-kvadrat testom.

	$\bar{u}$ nad 18 do 21 %	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
IZMET										
	t_{parjenja} (1 min/mm)	3	10	13	2,7	10,3	0,03	0,01	vrednost χ^2	0,09
	t_{parjenja} (2 min/mm)	2	9	11	2,3	8,7	0,04	0,01	χ^2 -test	0,76859
		5	19	24					Cc	0,08
POKLINE										
	t_{parjenja} (1 min/mm)	3	10	13	2,2	10,8	0,32	0,06	vrednost χ^2	0,84
	t_{parjenja} (2 min/mm)	1	10	11	1,8	9,2	0,38	0,08	χ^2 -test	0,35964
		4	20	24					Cc	0,26
NAPOKE										
	t_{parjenja} (1 min/mm)	0	13	13	0,5	12,5	0,54	0,02	vrednost χ^2	1,23
	t_{parjenja} (2 min/mm)	1	10	11	0,5	10,5	0,64	0,03	χ^2 -test	0,26679
		1	23	24					Cc	0,31

IZMET	ū nad 24 do 28 %	OPAZOVANE F. (n)		PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika		
		izmet	dobri	8	izmet	dobri	8	izmet	dobri	
	t _{parjenja} (1 min/mm)	1	7	8	2,8	5,2	1,16	0,62	vrednost χ^2	2,97
	t _{parjenja} (2 min/mm)	6	6	12	4,2	7,8	0,77	0,42	χ^2 -test	0,08498
		7	13	20					Cc	0,51
POKLINE										
	t _{parjenja} (1 min/mm)	1	7	8	2,0	6,0	0,50	0,17	vrednost χ^2	1,11
	t _{parjenja} (2 min/mm)	4	8	12	3,0	9,0	0,33	0,11	χ^2 -test	0,29184
		5	15	20					Cc	0,32
NAPOKE										
	t _{parjenja} (1 min/mm)	0	8	8	1,2	6,8	1,20	0,21	vrednost χ^2	2,35
	t _{parjenja} (2 min/mm)	3	9	12	1,8	10,2	0,80	0,14	χ^2 -test	0,12505
		3	17	20					Cc	0,46

IZMET	ū nad 24 do 28 %	OPAZOVANE F. (n)		PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika		
		izmet dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost	
	$\Delta u/\Delta x$ nad 0 do 3 %/cm	5	8	13	4,6	8,5	0,04	0,02	vrednost χ^2	0,20
	$\Delta u/\Delta x$ nad 3 do 6 %/cm	2	5	7	2,5	4,6	0,08	0,04	χ^2 -test	0,65827
		7	13	20					Cc	0,14
POKLIN										
	$\Delta u/\Delta x$ nad 0 do 3 %/cm	3	10	13	3,3	9,8	0,02	0,01	vrednost χ^2	0,07
	$\Delta u/\Delta x$ nad 3 do 6 %/cm	2	5	7	1,8	5,3	0,04	0,01	χ^2 -test	0,78665
		5	15	20					Cc	0,09
NAPOKE										
	$\Delta u/\Delta x$ nad 0 do 3 %/cm	2	11	13	2,0	11,1	0,00	0,00	vrednost χ^2	0,00
	$\Delta u/\Delta x$ nad 3 do 6 %/cm	1	6	7	1,1	6,0	0,00	0,00	χ^2 -test	0,94766
		3	17	20					Cc	0,02

IZMET	RAZRED ($\bar{u}$ (%))	OPAZOVANE F. (n)		PRIČAKOVANE F. (n)	PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika			
		izmet	dobri			izmet	dobri	Parameter	Vrednost	
IZMET	do 5	11	12	23	8,1	15,0	1,08	0,58	vrednost χ^2	2,44
	nad 5 do 7	11	24	35	12,3	22,8	0,13	0,07	χ^2 -test	0,29570
	nad 7	6	16	22	7,7	14,3	0,38	0,20	Cc	0,24
		28	52	80						
POKLINE										
	do 5	10	13	23	5,8	17,3	3,14	1,05	vrednost χ^2	5,89
	nad 5 do 7	6	29	35	8,8	26,3	0,86	0,29	χ^2 -test	0,05270
	nad 7	4	18	22	5,5	16,5	0,41	0,14	Cc	0,37
		20	60	80						
NAPOKE										
	do 5	5	18	23	4,6	18,4	0,03	0,01	vrednost χ^2	0,78
	nad 5 do 7	8	27	35	7,0	28,0	0,14	0,04	χ^2 -test	0,67744
	nad 8	3	19	22	4,4	17,6	0,45	0,11	Cc	0,14
		16	64	80						

IZMET	$\Delta u/\Delta x$ (%/cm)	OPAZOVANE F. (n)		PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika		
		izmet	dobri			izmet	dobri	Parameter	Vrednost	
	do -1	7	10	17	5,1	11,9	0,71	0,30	vrednost χ^2	2,77
	pod -1 do -2	3	15	18	5,4	12,6	1,07	0,46	χ^2 -test	0,24993
	pod -2	2	3	5	1,5	3,5	0,17	0,07	Cc	0,36
		12	28	40						
POKLINJE										
	do -1	5	12	17	4,3	12,8	0,13	0,04	vrednost χ^2	1,44
	pod -1 do -2	3	15	18	4,5	13,5	0,50	0,17	χ^2 -test	0,48599
	pod -2	2	3	5	1,3	3,8	0,45	0,15	Cc	0,26
		10	30	40						
NAPOKE										
	do -1	5	12	17	3,0	14,0	1,38	0,29	vrednost χ^2	3,47
	pod -1 do -2	1	17	18	3,2	14,9	1,47	0,31	χ^2 -test	0,17630
	pod -2	1	4	5	0,9	4,1	0,02	0,00	Cc	0,40
		7	33	40						

IZMET	Δu (%)	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
	nad 17 do 22	8	16	24	9,6	14,4	0,27	0,18	vrednost χ^2	1,11
	nad 22 do 27	8	8	16	6,4	9,6	0,40	0,27	χ^2 -test	0,29184
		16	24	40					Cc	0,23
POKLINE										
	nad 17 do 22	4	20	24	6,0	18,0	0,67	0,22	vrednost χ^2	2,22
	nad 22 do 27	6	10	16	4,0	12,0	1,00	0,33	χ^2 -test	0,13604
		10	30	40					Cc	0,32
NAPOKE										
	nad 17 do 22	5	19	24	5,4	18,6	0,03	0,01	vrednost χ^2	0,10
	nad 22 do 27	4	12	16	3,6	12,4	0,04	0,01	χ^2 -test	0,75720
		9	31	40					Cc	0,07

Priloga A34. Primerjava vpliva spremembe vlažnosti površinskih slojev ($14 \% < \Delta u_1 < 18 \%$, $18 \% < \Delta u_2 < 22 \%$ in $22 \% < \Delta u_3 < 26 \%$) na izmet, pokline in napoke med sušenjem s Hi-kvadrat testom. Primerjava elementov iz razredov C in D.

IZMET	Δu (%)	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
	nad 14 do 18	1	8	9	3,6	5,4	1,88	1,25	vrednost χ^2	4,33
	nad 18 do 22	7	9	16	6,4	9,6	0,06	0,04	χ^2 -test	0,11449
	nad 22 do 26	8	7	15	6,0	9,0	0,67	0,44	Cc	0,44
	16	24	40							
POKLINĖ										
	nad 14 do 18	0	9	9	2,3	6,8	2,25	0,75	vrednost χ^2	3,89
	nad 18 do 22	5	11	16	4,0	12,0	0,25	0,08	χ^2 -test	0,14307
	nad 22 do 26	5	10	15	3,8	11,3	0,42	0,14	Cc	0,42
		10	30	40						
NAPOKE										
	nad 14 do 18	1	8	9	2,0	7,0	0,52	0,15	vrednost χ^2	1,81
	nad 18 do 22	3	13	16	3,6	12,4	0,10	0,03	χ^2 -test	0,40494
	nad 22 do 26	5	10	15	3,4	11,6	0,78	0,23	Cc	0,29
		9	31	40						

Priloga A36. Primerjava vpliva napetosti pred parjenjem na izmet, pokline in napoke s Hi-kvadrat testom.

Napetosti merjene po 48 urah po razpolovitvi vzorca.

IZMET	Merjeno po 48 h	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
	razmak v mm	izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
	do 2	16	42	58	20,3	37,7	0,91	0,49	vrednost χ^2	5,10
	nad 2	12	10	22	7,7	14,3	2,40	1,29	χ^2 -test	0,02399
		28	52	80					Cc	0,35
POKLINE										
	do 2	10	48	58	14,5	43,5	1,40	0,47	vrednost χ^2	6,77
	nad 2	10	12	22	5,5	16,5	3,68	1,23	χ^2 -test	0,00926
		20	60	80					Cc	0,40
NAPOKE										
	do 2	9	49	58	11,6	46,4	0,58	0,15	vrednost χ^2	2,65
	nad 2	7	15	22	4,4	17,6	1,54	0,38	χ^2 -test	0,10362
		16	64	80					Cc	0,25

Priloga A38. Primerjava vpliva napetosti po parjenju na izmet, pokline in napoke s Hi-kvadrat testom.

Napetosti merjene po 48 urah po razpolovitvi vzorca.

IZMET	Merjeno po 48 h	OPAZOVANE F. (n)		PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika			
	razmak v mm	izmet	dobri	izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost		
	do 2	18	36	54	18,9	35,1	0,04	0,02	vrednost χ^2	0,20	
	nad 2	10	16		26	9,1	16,9	0,09	0,05	χ^2 -test	0,65241
		28	52			80				Cc	0,07
POKLINE											
	do 2	12	42	54	13,5		40,5	0,17	0,06	vrednost χ^2	0,68
	nad 2	8	18		26	6,5	19,5	0,35	0,12	χ^2 -test	0,40829
		20	60			80				Cc	0,13
NAPOKE											
	do 2	11	43	54	10,8		43,2	0,00	0,00	vrednost χ^2	0,01
	nad 2	5	21		26	5,2	20,8	0,01	0,00	χ^2 -test	0,90500
		16	64			80				Cc	0,02

Priloga A40. Primerjava vpliva napetosti po sušenju na izmet, pokline in napoke s Hi-kvadrat testom.

Napetosti merjene po 48 urah po razpolovitvi vzorca.

IZMET	Merjeno po 48 h	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
	razmak v mm	izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
	do 2	10	22	32	11,2	20,8	0,13	0,07	vrednost χ^2	0,33
	nad 2	18	30	48	16,8	31,2	0,09	0,05	χ^2 -test	0,56585
		28	52	80					Cc	0,09
POKLINE										
	do 2	7	25	32	8,0	24,0	0,13	0,04	vrednost χ^2	0,28
	nad 2	13	35	48	12,0	36,0	0,08	0,03	χ^2 -test	0,59816
		20	60	80					Cc	0,08
NAPOKE										
	do 2	6	26	32	6,4	25,6	0,03	0,01	vrednost χ^2	0,08
	nad 2	9	39	48	9,6	38,4	0,04	0,01	χ^2 -test	0,77985
		16	64	80					Cc	0,04

IZMET	orientiranost	OPAZOVANE F. (n)			PRIČAKOVANE F. (n)		PRISPEVEK K VR. χ^2		Statistika	
		izmet	dobri		izmet	dobri	izmet	dobri	Parameter	Vrednost
	0	17	26	43	15,1	28,0	0,25	0,14	vrednost χ^2	0,88
	15	8	18	26	9,1	16,9	0,13	0,07	χ^2 -test	0,64340
	30	3	8	11	3,9	7,2	0,19	0,10	Cc	0,15
		28	52	80						
POKLINE										
	0	10	33	43	9,7	33,3	0,01	0,00	vrednost χ^2	1,15
	15	8	18	26	5,9	20,2	0,79	0,23	χ^2 -test	0,56234
	30	2	9	11	2,5	8,5	0,09	0,03	Cc	0,17
		18	62	80						
NAPOKE										
	0	12	31	43	8,6	34,4	1,34	0,34	vrednost χ^2	4,16
	15	2	24	26	5,2	20,8	1,97	0,49	χ^2 -test	0,12465
	30	2	9	11	2,2	8,8	0,02	0,00	Cc	0,31
		16	64	80						

Priloga B. Popis stanja in napak pri elementih iz razredov A in B.

					pred sušenjem					po sušenju						
					razpoke			mesto pokline		razpoke			mesto pokline		opombe	izmet
element	orientiranost	slepice	slabo skobjano	odklon vlaken	reže	napoke	pokline	konkavna stran	konveksna stran	reže	napoke	pokline	konkavna stran	konveksna stran	v krivini	izven krivine
A1	0	1									x	x	x			x
A2	0			x												
A3	15											x	x			x
A4	0										x	x	x			x
A5	30		x								x	x	x			x
A6	30	5	x													
A7	0											x	x			x
A8	15	1														
A9	30	1														
A10	30	1														
A11	0		x													
A12	0		x													
A13	15			x												
A14	15			x												
A15	30		x	x												
A16	0			x												
A17	15	8										x	x	x	x	x
A18	15	3														
A19	15	1														
A20	15	1										x	x		x	
B1	15															
B2	0	2														
B3	15															
B4	15															
B5	0															
B6	15															
B7	15															
B8	0										x					
B9	0															
B10	0	1	x	x												
B11	30		x	x												
B12	0															
B13	15											x	x			x
B14	15	1														
B15	0	2														
B16	0		x								x	x	x			x
B17	0															
B18	0										x					
B19	15	5														
B20	15	2									x	x	x			x

x – izmet zaradi pokline, x! – izmet zaradi napoke, x+x! – izmet zaradi pokline in napoke

Priloga C. Popis stanja in napak pri elementih iz razredov C in D.

					pred sušenjem					po sušenju									
					razpoke			mesto pokline		razpoke			mesto pokline						
element	orientiranost	slepice	slabo skobljano	odklon vlaken	reže napoke pokline			konkavna stran konveksna stran		reže napoke pokline			konkavna stran konveksna stran v krivini izven krivine				opombe	izmet	
C1	0										x	x	x				x		x,x!
C2	0																		
C3	0																		
C4	0	1										x	x			x	x		x
C5	0	1	x																
C6	0																		
C7	15																		
C8	0																		
C9	0																		
C10	15			x								x	x				x		x
C11	30										x								
C12	0																		
C13	0																		
C14	30																		
C15	15																		
C16	0										x								x!
C17	30	2																	
C18	0																		
C19	15											x		x			x		x
C20	0																		
D1	15																		
D2	30			x							x								x!
D3	0																		
D4	0											x	x			x	x		x
D5	0																		
D6	0											x	x			x	x		x
D7	0																		
D8	15																		
D9	0		x								x								x!
D10	0																		
D11	15																		
D12	0										x								x!
D13	0	3									x	x		x			x		x,x!
D14	0																		
D15	30										x	x	x			x	x		x,x!
D16	0	2										x						p. pri slep.	x
D17	0										x								x!
D18	0										x								x!
D19	15																		
D20	15											x	x	x	x	x			x

x – izmet zaradi pokline, x! – izmet zaradi napoke, x+x! – izmet zaradi pokline in napoke

Priloga D. Kontrola vlažnosti (razred A in B)

pred parjenjem						
oz. el.	$\bar{u}$	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5
A1	15,61	15,00	16,07	15,58	15,63	14,87
A2	16,58	15,41	16,73	16,21	16,73	14,71
A3	15,64	14,01	15,60	15,56	16,14	14,18
A4	17,87	17,38	18,95	18,81	18,35	17,31
A5	18,03	16,44	18,18	17,80	17,50	16,34
A6	18,29	17,87	18,98	18,93	18,27	16,67
A7	16,30	16,23	16,67	17,23	16,38	15,70
A8	17,74	17,58	18,75	18,41	17,65	16,42
A9	15,98	17,06	17,47	17,48	17,25	16,44
A10	14,45	13,86	14,33	14,57	13,67	12,16
A11	19,08	17,31	19,08	19,10	18,32	16,05
A12	16,33	14,06	15,52	16,61	15,55	14,84
A13	17,55	14,84	15,69	16,36	16,17	12,50
A14	17,41	16,04	18,06	17,88	16,82	15,13
A15	17,54	16,81	17,86	18,43	17,29	13,75
A16	17,90	15,63	18,25	19,10	18,03	17,82
A17	17,74	16,30	18,47	18,60	18,82	16,46
A18	16,00	14,03	15,91	15,47	14,62	13,48
A19	18,10	16,23	19,51	20,14	18,80	17,18
A20	17,37	15,25	17,56	17,44	17,89	14,98
B1	14,93	12,05	13,28	13,85	14,48	13,87
B2	17,81	17,13	19,14	18,92	18,81	17,58
B3	17,09	15,26	16,24	16,84	17,23	15,11
B4	15,30	14,67	15,13	15,82	15,11	13,99
B5	14,55	13,77	13,86	14,81	13,54	12,59
B6	16,75	16,21	17,42	16,94	16,31	15,00
B7	15,66	15,28	16,12	16,00	15,63	13,41
B8	15,26	14,15	15,19	14,72	14,53	12,43
B9	16,56	14,85	15,85	15,77	16,39	15,32
B10	15,22	12,54	15,00	14,64	14,95	14,67
B11	18,23	16,71	19,03	19,34	18,51	17,41
B12	18,18	16,86	19,05	19,35	18,28	16,93
B13	17,48	17,06	18,37	19,43	18,54	18,05
B14	19,08	16,50	18,40	19,73	19,30	17,22
B15	18,40	17,24	17,77	19,18	18,60	16,13
B16	18,59	17,26	19,13	19,47	19,35	16,73
B17	18,45	18,31	19,49	19,34	17,39	16,50
B18	16,43	15,51	17,27	17,70	16,42	15,81
B19	16,36	15,24	16,67	17,30	16,75	14,17
B20	18,75	15,48	18,28	19,08	17,49	13,87

po parjenju						
$\bar{u}$	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	
22,96	24,09	20,95	19,11	20,44	22,60	
19,70	20,20	19,05	18,88	18,87	18,53	
20,99	19,87	17,96	17,68	19,83	23,48	
22,28	23,32	20,27	20,00	20,87	22,01	
21,22	26,17	21,21	19,77	19,64	23,08	
21,16	20,20	19,59	18,90	18,86	18,63	
20,30	20,97	18,60	17,35	18,24	21,41	
19,64	19,59	16,61	16,96	17,41	17,56	
19,89	21,52	18,21	17,78	17,47	20,63	
18,85	20,00	17,04	16,78	17,53	21,07	
21,54	21,07	20,32	20,49	20,67	20,16	
18,87	19,15	17,91	17,50	17,25	18,27	
20,69	21,74	19,93	18,68	18,96	20,26	
20,90	22,18	20,07	19,86	18,52	20,27	
18,86	20,00	17,91	18,54	18,02	17,93	
20,11	20,71	20,00	18,95	19,22	19,30	
22,19	23,93	21,25	20,63	20,57	21,56	
19,20	20,06	18,52	17,51	17,32	18,95	
22,49	23,94	23,16	22,26	21,47	22,11	
19,74	21,28	19,83	19,58	19,92	22,56	
19,26	19,71	17,54	17,03	17,84	19,21	
20,98	19,93	19,39	19,57	19,93	20,94	
20,28	19,26	18,55	18,15	17,98	19,89	
18,99	19,14	18,15	16,83	17,96	19,40	
19,94	20,66	17,75	17,01	18,83	21,72	
20,33	18,53	18,73	18,55	19,59	22,76	
20,05	20,83	17,98	17,28	17,83	20,41	
19,93	21,91	18,77	16,92	17,56	20,87	
19,84	19,42	18,94	17,55	17,96	20,16	
20,31	19,35	18,52	18,83	19,19	19,40	
21,79	21,36	20,07	20,36	19,88	25,70	
22,15	22,58	21,83	20,77	21,38	22,44	
20,62	21,74	18,71	18,27	18,92	20,75	
23,16	28,51	23,11	15,04	20,49	25,08	
24,78	30,20	22,76	21,51	21,21	24,85	
22,39	23,08	22,02	21,65	21,25	22,07	
21,11	21,69	19,88	19,57	19,94	20,68	
21,85	23,45	19,48	17,99	18,39	22,43	
23,04	27,94	22,71	20,45	20,33	23,97	
22,26	25,14	21,47	20,85	20,70	24,25	

po sušenju						
$\bar{u}$	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	
4,85	5,56	4,33	4,44	5,39	6,62	
4,76	4,12	4,29	3,83	3,76	4,76	
4,66	4,92	3,93	3,54	4,40	5,56	
5,11	3,24	4,43	3,85	3,26	4,91	
4,81	4,45	3,25	3,81	4,06	4,44	
5,38	6,64	4,46	4,81	3,88	5,50	
4,91	5,06	4,81	4,62	6,06	5,23	
4,88	5,00	4,93	4,87	5,02	4,46	
5,00	4,98	4,53	4,10	5,07	5,69	
5,80	5,50	5,59	5,47	6,15	7,10	
5,22	4,29	4,35	3,85	4,63	5,46	
5,22	5,16	4,98	3,59	3,90	4,64	
5,33	4,59	4,55	4,47	4,70	4,43	
4,48	4,57	3,57	4,33	3,59	4,98	
5,21	4,44	4,29	4,05	4,75	5,14	
5,29	5,71	5,08	5,05	5,11	5,24	
4,43	4,85	4,83	3,90	3,65	4,10	
3,92	2,31	3,87	3,75	3,88	4,25	
5,04	3,35	4,00	3,83	3,57	4,21	
4,93	5,48	3,77	4,25	4,05	5,23	
6,01	4,87	5,41	5,88	5,02	4,94	
5,18	4,45	3,95	4,05	4,17	4,93	
4,61	4,85	4,39	3,81	3,42	4,66	
4,68	4,14	3,89	3,95	4,80	4,97	
5,25	4,45	4,87	4,11	4,48	4,80	
5,59	5,26	4,98	3,96	4,88	4,94	
4,43	4,49	3,23	3,32	3,62	4,65	
4,89	4,71	3,97	4,38	3,31	5,10	
5,46	4,38	4,62	5,00	5,60	4,22	
4,47	5,09	4,78	3,53	3,69	5,02	
4,68	4,38	4,29	3,68	3,94	4,30	
4,68	3,57	4,57	5,63	5,63	5,12	
4,62	4,52	4,81	3,66	4,32	5,23	
4,95	5,65	2,76	3,49	3,77	4,08	
5,68	6,10	5,69	5,06	6,04	7,09	
4,89	5,00	4,15	4,00	3,83	5,00	
5,30	5,23	4,12	3,60	4,60	5,22	
5,12	5,01	4,36	4,65	4,79	5,38	
6,06	6,53	6,19	5,51	6,08	5,98	
4,84	4,92	4,59	4,41	3,90	4,72	

Priloga E. Kontrola vlažnosti (razred C in D)

pred parjenjem						
oz. el.	$\bar{u}$	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5
C1	28,83	27,53	31,50	31,44	29,82	26,62
C2	26,77	25,84	30,86	30,15	28,63	25,47
C3	31,41	28,68	32,76	32,85	32,23	29,50
C4	31,58	30,07	33,89	33,70	32,78	32,09
C5	31,67	30,25	33,33	35,51	33,62	31,75
C6	25,53	24,38	28,29	28,29	27,01	22,63
C7	24,22	21,00	25,25	26,67	26,52	22,71
C8	26,09	22,81	27,37	27,90	27,69	24,05
C9	24,61	21,65	25,82	27,03	25,12	21,86
C10	26,52	23,65	27,30	29,46	28,61	25,39
C11	28,64	27,07	32,11	33,33	27,47	23,66
C12	28,95	25,17	31,67	33,83	32,32	27,89
C13	30,07	24,62	33,45	34,19	33,23	27,36
C14	27,38	24,86	29,90	31,30	31,32	23,02
C15	26,32	24,70	28,79	29,66	27,67	21,56
C16	24,99	21,65	27,19	28,86	27,01	23,79
C17	24,93	21,90	26,19	27,55	23,37	17,96
C18	24,97	21,85	27,24	29,24	26,15	21,76
C19	24,46	20,43	26,62	29,28	27,13	19,29
C20	23,52	19,54	23,76	26,20	23,57	17,74
D1	33,95	34,19	36,17	35,94	41,07	35,62
D2	23,67	22,06	25,71	27,33	25,17	21,60
D3	25,31	21,98	27,22	27,95	26,51	21,99
D4	25,21	20,28	25,90	27,24	26,22	22,17
D5	26,86	23,76	27,45	28,22	27,04	24,79
D6	23,18	20,13	23,00	25,44	24,09	19,47
D7	23,25	21,33	24,57	25,00	21,74	19,05
D8	24,84	23,82	28,09	26,65	24,06	19,08
D9	28,34	27,43	30,21	30,12	28,77	26,09
D10	23,14	19,18	22,19	25,31	24,30	20,27
D11	23,71	20,54	24,44	27,27	23,82	19,84
D12	23,52	21,26	25,24	26,17	23,32	18,67
D13	25,04	21,64	26,01	27,44	24,69	18,85
D14	24,68	20,56	25,57	27,52	24,60	20,15
D15	26,38	18,79	25,20	30,07	22,63	27,78
D16	25,00	19,54	23,91	26,54	25,91	21,37
D17	23,02	22,22	25,40	27,60	24,48	20,33
D18	26,62	23,33	28,66	29,26	26,98	20,80
D19	26,24	22,09	28,35	30,15	27,30	20,87
D20	25,46	21,25	26,17	28,46	25,69	20,95

po parjenju					
$\bar{u}$	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5
30,81	29,22	30,46	31,31	31,58	30,49
28,89	29,82	31,06	30,25	30,43	30,04
31,81	30,24	32,07	32,30	31,91	26,65
31,14	28,91	31,91	33,33	32,12	31,89
32,74	30,62	32,71	33,58	34,06	32,36
25,70	24,54	27,11	26,10	25,42	22,75
30,78	24,63	30,62	30,95	30,58	30,30
27,03	25,61	27,73	27,38	28,31	25,13
24,47	22,36	25,25	25,32	24,85	23,16
30,70	29,79	31,60	31,58	31,44	29,52
30,61	30,50	31,49	31,98	31,75	29,40
30,06	28,82	30,63	31,47	30,28	28,70
32,40	27,14	32,14	32,63	33,55	25,91
29,01	29,43	29,71	31,52	29,36	24,50
27,96	27,88	30,00	30,30	29,09	24,57
28,47	26,00	27,74	29,03	28,97	27,80
26,11	24,64	27,51	27,30	26,26	24,41
27,07	25,37	27,10	29,23	28,52	25,94
27,41	23,97	28,87	29,39	29,35	22,97
27,73	25,95	28,66	29,38	30,09	28,38
35,77	33,64	34,41	34,28	34,05	32,16
25,85	25,14	25,27	25,58	26,09	23,94
25,98	23,60	26,22	26,07	25,94	24,31
25,60	24,92	25,17	25,51	24,92	23,39
30,81	27,20	28,78	29,45	28,72	24,08
25,80	23,99	23,84	25,51	27,72	27,30
25,57	23,44	24,20	24,66	23,67	23,91
26,26	23,81	24,92	25,32	23,89	23,00
29,18	30,38	30,53	30,14	30,43	28,09
25,42	25,00	25,76	26,38	26,33	24,63
34,02	29,62	33,72	33,81	33,56	31,00
26,28	23,66	26,02	26,13	27,81	25,42
27,06	24,50	26,98	27,60	27,56	26,07
26,76	25,26	27,05	26,18	25,40	24,09
32,71	30,77	32,52	32,92	33,02	32,21
28,65	22,62	27,61	29,96	31,41	30,15
32,11	30,33	34,02	35,71	34,80	32,13
29,74	29,71	31,53	31,94	33,15	32,51
27,86	26,07	28,51	29,96	29,72	27,44
27,36	24,92	27,04	27,92	28,61	26,57

po sušenju					
$\bar{u}$	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5
8,56	7,32	6,40	7,11	8,00	8,10
8,57	8,60	7,22	7,12	8,12	9,95
8,29	7,83	7,69	7,45	7,53	8,60
8,37	9,12	8,45	7,20	6,47	7,32
9,57	12,45	11,69	6,64	7,30	8,64
6,79	7,66	5,70	5,43	4,52	6,34
6,27	6,58	5,65	5,44	5,86	5,94
5,97	6,20	4,74	4,27	5,26	5,82
5,38	4,96	4,60	4,46	6,74	5,69
7,61	5,38	6,17	7,28	8,08	8,33
9,45	9,32	9,04	8,80	8,50	10,50
8,83	9,59	9,00	7,34	7,28	10,53
9,18	8,53	7,79	8,97	10,45	10,71
8,60	8,74	8,02	7,72	7,92	7,73
7,46	7,14	6,52	6,69	6,23	7,16
6,83	5,90	5,71	6,07	5,88	6,02
6,66	7,19	5,86	5,45	5,91	6,45
5,97	5,86	5,61	5,72	4,64	3,16
4,88	4,72	4,35	4,85	3,38	4,64
5,44	4,56	4,03	3,59	3,16	5,29
8,68	9,79	7,38	7,20	6,43	8,47
7,11	7,77	6,42	5,21	5,71	7,32
7,43	7,78	6,13	5,51	7,23	8,85
8,61	6,91	6,67	7,18	8,17	9,67
8,36	9,68	7,78	5,93	5,71	7,27
6,61	6,62	5,20	5,50	5,76	7,29
7,38	6,99	6,75	5,90	6,69	7,29
7,01	6,15	5,02	4,48	5,67	6,87
8,39	7,08	6,28	5,22	6,76	9,09
9,09	8,61	6,97	7,01	7,65	8,79
7,06	6,53	6,73	6,87	7,22	7,42
6,51	5,73	6,28	5,79	5,97	6,50
6,58	7,72	6,37	5,99	6,50	7,41
6,05	6,25	4,96	5,44	6,01	8,25
5,92	6,38	5,30	6,16	8,23	8,63
6,59	6,94	6,27	7,21	7,36	7,56
6,54	7,01	6,67	6,54	6,67	7,08
6,52	7,29	5,59	6,38	6,64	7,02
7,57	7,77	7,36	7,34	7,51	8,40
6,86	8,42	5,58	4,49	7,32	7,41