

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matjaž PAJK

**MEHANSKE IN SORPCIJSKE LASTNOSTI LESA
IMPREGNIRANEGA Z ETANOLAMINOM**

DIPLOMSKI PROJEKT

Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2011

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matjaž PAJK

**MEHANSKE IN SORPCIJSKE LASTNOSTI LESA
IMPREGNIRANEGA Z ETANOLAMINOM**

DIPLOMSKI PROJEKT
Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

**MECHANICAL AND SORPTION PROPERTIES OF WOOD
IMPREGNATED WITH ETHANOLAMINE**

B. SC. THESIS
Professional Study Programmes

Ljubljana, 2011

Diplomski projekt je zaključek Visokošolskega strokovnega študija lesarstva 1. stopnje. Delo je bilo opravljeno v Laboratorijih delovne skupine za patologijo in zaščito lesa na Oddelku za lesarstvo, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval izr. prof. dr. Miho Humarja, somentorja dr. Boštjana Lesarja, za recenzenta pa izr. prof. dr. Željka Goriška.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Matjaž Pajk

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dv1
DK	UDK 630*841.12
KG	les/impregnacija lesa/etanolamin/mehanske lastnosti/sorpcijske lastnosti
AV	PAJK, Matjaž
SA	HUMAR, Miha (mentor)/LESAR Boštjan (so-mentor)/GORIŠEK, Željko (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. CIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2011
IN	MEHANSKE IN SORPCIJSKE LASTNOSTI LESA IMPREGNIRANEGA Z ETANOLAMINOM
TD	Diplomski projekt (Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja)
OP	VIII, 42 str., 6 pregl., 21 sl., 20 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Etanolamin je na ena pomembnejših kemikalij, ki se uporablja v lesarstvu in z lesarstvom povezanimi panogami. Etanolamin dodajamo zaščitnim sredstvom za boljšo vezavo Cu v les, uporablja se v papirništvu za pulpanje, v restavratorstvu za patiniranje, itd. Kljub dolgoletni uporabi etanolamina, interakcije med etanolaminom in lesom še niso v celoti pojasnjene. Znano je, da reagira predvsem z ligninom in hemicelulozo. Pri tem se lahko spremenijo mehanske in sorpcijske lastnosti. Da bi ugotovili, kako velike so te spremembe, smo vzorce smreke (<i>Picea abies</i>) in bukve (<i>Fagus sylvatica</i>) impregnirali z 2 različnima koncentracijama vodne raztopine etanolamina in jih izpostavili 4 različnim načinom kondicioniranja. Suhe vzorce smo izpostavili 2 različnim relativnim zračnim vlažnostim in gravimetrično spremljali vlažnost in določali dimenzije vzorcev. Tlačno trdnost smo določili z destruktivno metodo. Rezultati so pokazali, da se tlačna trdnost z etanolaminom impregniranih vzorcev poveča. Po drugi strani je v večini primerov ravnovesna vlažnost z etanolaminom obdelanih vzorcev višja od vlažnosti vzporednih kontrolnih vzorcev.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Dv1
DC UDC 630*841.12
CX wood/impregnation/ethanolamin/mechanical properties/sorption properties
AU PAJK, Matjaž
AA HUMAR, Miha (supervisor)/ LESAR Boštjan (co- supervisor)/GORIŠEK, Željko
(co-advisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. CIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and
Technology
PY 2011
TI MECHANICAL AND SORPTION PROPERTIES OF WOOD
IMPREGNATED WITH ETHANOLAMINE

DT B. Sc. Thesis (Professional Study Programmes)
NO VIII, 42 p., 6 tab., 21 fig., 20 ref.
LA sl
Al sl/en
AB Ethanolamine is one of the most important chemicals used in wood and wood related industries. Ethanolamine is a component of wood preservatives that improves fixation of Cu; it is used in paper industry for pulping, and in restoration for patination, etc. Despite the fact, that ethanolamine has been used for decades, complete interactions between wood and ethanolamine have not yet been fully explained. It is known that it reacts with lignin and hemi-cellulose; therefore, this might affect mechanical and sorption properties. In order to determine how significant these changes are, the samples of spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*) were impregnated with 2 different concentrations of aqueous solution of ethanolamine, and conditioned according to 4 different methods. Afterwards, dried samples were exposed to 2 different relative humidities, and then moisture content and dimensions were determined. Compression strength was measured by a destructive method. The results show that the compression strength of the samples, impregnated with ethanolamine, increases. On the other hand, the equilibrium moisture content of the samples is often higher than that of the control ones.

KAZALO

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
1 UVOD	1
2 PREGLED LITERATURE	2
2.1 KRATKI ZGODOVINSKI PREGLED ZAŠČITE LESA	2
2.2 TRENDI ZAŠČITE	3
2.3 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA	5
2.4 NARAVNA ODPORNOST LESA IN NJEGOVA TRAJNOST	5
2.4.1 Naravna odpornost.....	5
2.4.2 Trajnost lesa.....	6
2.5 UPORABLJENE LESNE VRSTE	8
2.5.1 Smrekovina (<i>Picea abies</i> Karst.).....	8
2.5.1.1 Opis lesa	8
2.5.1.2 Lastnosti lesa	8
2.5.1.3 Uporaba	9
2.5.2 Bukovina (<i>Fagus sylvatica</i> L.)	10
2.5.2.1 Opis lesa	10
2.5.2.2 Lastnost lesa	10
2.5.2.3 Uporaba	12
2.6 ETANOLAMIN	13
3 MATERIAL IN METODE	14
3.1 PRIPRAVA VZORCEV	14
3.2 PRIPRAVA IMPREGNACIJSKEGA SREDSTVA.....	14
3.3 DOLOČANJE NAVZEMA.....	14
3.4 IMPREGNACIJA.....	15
3.5 KONDICIONIRANJE VZORCEV PO IMPREGNACIJI.....	16
3.6 URAVNOVEŠANJE IMPREGNIRANIH VZORCEV PRI RAZLIČNIH KLIMAH 17	
3.7 DOLOČANJE VLAŽNOSTI	18
3.8 DOLOČANJE SPREMEMB DIMENZIJ VZORCEV	20
3.9 DOLOČANJE TLAČNE TRDNOSTI.....	21
4 REZULTATI.....	22
4.1 MOKRI NAVZEM.....	22
4.2 SPREMEMBA MASE SUHIH VZORCEV PO IMPREGNACIJI Z VODNO RAZTOPINO ETANOLAMINA	23
4.3 URAVNOVEŠANJE SMREKOVIH VZORCEV PRI 65 % RELATIVNI ZRAČNI VLAŽNOSTI.....	24
4.4 URAVNOVEŠANJE SMREKOVIH VZORCEV PRI 87 % RELATIVNI ZRAČNI VLAŽNOSTI.....	25

4.5	URAVNOVEŠANJE BUKOVIH VZORCEV PRI 65 % RELATIVNI ZRAČNI VLAŽNOSTI.....	27
4.6	URAVNOVEŠANJE BUKOVIH VZORCEV PRI 87 % RELATIVNI ZRAČNI VLAŽNOSTI.....	28
4.7	SPREMEMBA DIMENZIJ PO IMPREGNACIJI VZORCEV	29
5	SKLEPI	39
6	POVZETEK.....	40
7	VIRI	42
	ZAHVALA	45

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Evropski razredi uporabe lesa glede na mesto uporabe (SIST EN 335-1/2, 2006)	7
Preglednica 2: Lastnosti smrekovine po Grosser in Teetz (1985).....	9
Preglednica 3: Lastnosti bukovine po Grosser in Teetz (1985)	12
Preglednica 4: Drevesna vrsta, oznaka vzorca, postopek kondicioniranja in koncentracije raztopine.....	16
Preglednica 5: Nasičene vodne raztopine soli za doseganje želene zračne vlažnosti	17
Preglednica 6: Mokri navzem vodnih raztopin etanolamina v odvisnosti od koncentracije in lesne vrste.....	22
Preglednica 7: Statistični prikaz vlažnosti smrekovih vzorcev prepojenih z vodno raztopino etanolamina po uravnovešanju v komori s 65 % RVZ	25
Preglednica 8: Statistični prikaz vlažnosti smrekovih vzorcev prepojenih z vodno raztopino etanolamina po uravnovešanju v komori s 87 % RVZ	26
Preglednica 9: Statistični prikaz vlažnosti bukovih vzorcev prepojenih z vodno raztopino etanolamina po uravnovešanju v komori s 65 % RVZ	27
Preglednica 10: Statistični prikaz vlažnosti smrekovih vzorcev prepojenih z vodno raztopino etanolamina po uravnovešanju v komori s 65 % RVZ	29
Preglednica 11: Statistični prikaz mehanskih lastnosti smrekovih vzorcev prepojenih z vodno raztopino etanolamina	36
Preglednica 12: Statistični prikaz mehanskih lastnosti smrekovih vzorcev prepojenih z vodno raztopino etanolamina	37

KAZALO SLIK

Slika 1: Kemijska struktura etanolamina.....	13
Slika 2: Vakuumsko - tlačna komora KAMBIČ	15
Slika 3: Steklена komora za uravnovešanje lesenih vzorcev	18
Slika 4: EasyLog USB za spremljanje in beleženje pogojev v komori	18
Slika 5: Računalniško podprta tehnica SARTORIUS	19
Slika 6: Računalniško podprt laserski merilnik dimenzij	20
Slika 7: Naprava za določanje mehanskih lastnosti Zwick Roell.....	21
Slika 8: Mase smrekovih vzorcev pred in po impregnaciji	23
Slika 9: Masa bukovih vzorcev pred in po impregnaciji	24
Slika 10: Povprečna vlažnost smrekovih vzorcev prepojenih z vodno raztopino a po uravnovešanju v komori s 65 % RZV	25
Slika 11: Povprečna vlažnost smrekovih vzorcev prepojenih z vodno raztopino etanolamina po uravnovešanju v komori s 87 % RZV	26
Slika 12: Povprečna vlažnost bukovih vzorcev prepojenih z vodno raztopino etanolamina po uravnovešanju v komori s 65 % RZV	28
Slika 13: Povprečna vlažnost bukovih vzorcev prepojenih z vodno raztopino etanolamina po uravnovešanju v komori s 87 % RZV	29
Slika 14: Sprememba dimenzije smrekovine pred in po impregnacije z vodno raztopino etanolamina	30
Slika 15: Sprememba dimenzije bukovine pred in po impregnacije z vodno raztopino etanolamina	31
Slika 16: Volumenski nabrek smrekovih vzorcev uravnovešenih pri 65 % relativni zračni vlažnosti.....	32
Slika 17: Volumenski nabrek smrekovih vzorcev uravnovešenih pri 87 % relativni zračni vlažnosti.....	33
Slika 18: Volumenski nabrek bukovih vzorcev uravnovešenih pri 65 % relativni zračni vlažnosti.....	34
Slika 19: Volumenski nabrek bukovih vzorcev uravnovešenih pri 87 % relativni zračni vlažnosti.....	35
Slika 20: Tlačna trdnost smrekovih vzorcev impregniranih s pripravki na osnovi etanolamina v odvisnosti od postopka kondicioniranja	37
Slika 21: Tlačna trdnost bukovih vzorcev impregniranih s pripravki na osnovi etanolamina v odvisnosti od postopka kondicioniranja	38

1 UVOD

Les je kot naravni material izpostavljen biotskim (glive, insekti, bakterije) in abiotskim (temperatura, vlaga, UV sevanje) procesom razkroja. Žal je les večine slovenskih drevesnih vrst manj odporen in zato relativno hitro propade. Izdelki, ki so bolj izpostavljeni kot na primer zemlji, bodo služili svojemu namenu le nekaj let. Najlažje podaljšamo življenjsko dobo s primerno vgradnjo in s kemično zaščito lesa.

Uporaba kemične zaščite lesa za podaljšanje njegove uporabnosti je ustaljena metoda. Najučinkovitejšo zaščito dosežemo z globinsko prepojitvijo lesa. Ker pa kemična zaščitna sredstva lahko delujejo škodljivo na človeka in onesnažujejo okolje, jih uporabljamo samo v primeru kjer ni drugih možnosti. Med ne kemijsko zaščito uvrščamo naslednje ukrepe: izbira primerno odpornih drevesnih vrst glede na uporabo in odgovarjajoča konstrukcijska zaščita.

Klasični zaščitni pripravki za les se zaradi vedno večjega varovanja okolja umikajo iz splošne uporabe. Zadnje nekaj let potekajo intenzivne raziskave na področju vezave bakrovih spojin v les brez dodatka kromovih spojin. Ena od možnih rešitev je uporaba vodne raztopine amonijaka. Vendar se zaradi ostrega vonja, draženja sluznice in neprijetnega videza tretiranega lesa, le redkokdaj uporablja. Najboljši nadomestek se je uveljavil etanolamin. Kljub večletni uporabi pripravkov na osnovi bakra in etanolamina, celoten mehanizem vezave še ni znan. V literaturi smo zasledili (Humar in Petrič, 2000), da etanolamin reagira predvsem s hemicelulozo in ligninom. Znano je tudi, da pri reakciji z lesom, nastanejo prosti radikali, zato nas je zanimalo, kako to vpliva na mehanske in sorpcijske lastnosti lesa. Poleg tega so interakcije med etanolaminom in lesom zanimive tudi z drugih vidikov. Etanolamin se uporablja tudi v papirništvu za pulpanje in v restavratorstvu za patiniranje lesa.

Podatki o interakciji med etanolaminom in lesom so pomembni predvsem s praktičnega vidika, mehanske z vidika uporabe lesa v gradbeništvu, sorpcijske in sprememba dimenzij ob različnih vlažnostih pa zaradi nadaljnje obdelave in uporabe.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 KRATKI ZGODOVINSKI PREGLED ZAŠČITE LESA

Z zaščito lesa se je človek začel ukvarjati že pred davnimi časi. Kitajci so po potapljanju lesa v morsko vodo ugotovili, da na tak način lahko izboljšajo odpornost lesa. Stari Grki in Rimljani so se zanašali bolj na zaščito lesa z raznimi olji. Uporabljali so tudi najstarejše organsko zaščitno sredstvo, katran (Hughes, 1999).

O prvi kemični zaščiti lesa lahko govorimo mnogo kasneje in sicer šele v 19. stoletju, ko so se pričele uporabljati anorganske soli. Leta 1838 je Boucherie med prvimi patentiral zaščito sveže posekanega lesa. Z vodno raztopino bakrovega(II)sulfata (modre galice) je impregniral beljavo hloda. Istega leta je tudi Bethell z impregnacijo železniških pragov s kreozotnim oljem naredil velik korak v zaščiti lesa, saj se je ravno v tem obdobju po Evropi gradilo železniško omrežje. Kreozotno olje so pridobivali kot stranski produkt med suho destilacijo premoga pri proizvodni koksa (Kervina- Hamović, 1990). Za zaščito železniških pragov se uporablja še dandanes, zaradi prepovedi nekaterih strupenih snovi pa so njegovo uporabo v državah EU že omejili (Pohleven, 1998).

Naslednjo prelomnico impregnacije predstavlja Bruningovo odkritje leta 1913. Ugotovil je, da se normalno topne bakrove spojine z dodajanjem kromovih(VI) spojin vežejo v les in se iz njega ne izpirajo. Vendar kljub obetavnemu odkritju omenjeni zaščitni pripravek še vedno ni nudil popolne zaščite z njim impregniranemu lesu. Zaščiten les je bil še vedno dovzeten na napad insektov. Problem je rešil indijski raziskovalec Sonti Kamesam, ki je odkril, da kromovi ioni ne izboljšajo samo fiksacije bakrovih spojin, temveč tudi arzenove. Zaščitno sredstvo je poimenoval Ascu po glavnih sestavinah, bakrovem sulfatu in arzenovem oksidu (Humar, 2004). Pripravek so kasneje poimenovali CCA, toda uporabo pripravka so skoraj po stotih letih v EU najprej omejili, nato pa dokončno prepovedali, zaradi škodljivega arzena. Insekticidi arzen so nadomestile borove spojine. Tako kot arzenove spojine, so tudi kromove spojine v zadnjem času pod drobnogledom okoljevarstvenikov, zato se tudi njihova uporaba že omejila. Kromove spojine lahko

nadomestimo z amonijakom, toda težava nastane zaradi obarvanja tretiranega lesa, poleg tega pa je zaradi nadležnega vonja delo s pripravki na osnovi amonijaka zelo nadležno (Hartford, 1972). Zelo primeren nadomestek so tudi amini oziroma etanolamin, saj se zelo dobro vežejo v les. Ker se v Evropi pojavljajo izolati gliv, ki so tolerantne na bakrove učinkovine, baker-etanolaminskim pripravkom dodajamo kvartarne amonijeve spojine alitraizole za izboljšanje fungicidnih lastnosti. Odpornost zaščitenega lesa proti insektom pa lahko zagotovimo z dodatkom borovih spojin. Baker-etanolaminski pripravki so, kot ugotavlja Humar (2008), najprimernejša rešitev za zaščito lesa na prostem.

Poleg ostalih aktivnih učinkovin so se po drugi svetovni vojni pojavila tudi klasična organska zaščitna sredstva kot je pentaklorofenol bolj znan kot PCP, Lindan, TBTO, DDT, itd., ki pa so jih v devetdesetih letih dvajsetega stoletja zaradi okoljskih in zdravstvenih kriterijev umaknili iz uporabe.

Najnovejša organska sredstva kot so piretroidi, triazoli, karbamati, izatiazoloni, alkilamonijeve spojine so praviloma okolju bolj sprejemljive učinkovine kot klasični zaščitni pripravki z bistveno manj nezaželenih vplivov na okolje in uporabnike.

V zadnjem času raziskovalci skušajo razviti rešitve za zaščito lesa, ki ne bodo temeljile na biocidih, temveč na snoveh, ki niso okolju sporne.

2.2 TRENDI ZAŠČITE

Les kot naravna in obnovljiva surovina zopet pridobiva pomen, saj v lesu rastline kopičijo atmosferski ogljikov dioksid (CO_2) in na ta način prispevajo k zmanjšanju učinka tople grede, za razliko od umetnih materialov kot je plastika. Eden glavnih razlogov za spremembe je okoljska ozaveščenost tako uporabnikov kot proizvajalcev. Ker je les edini cenovno dostopen obnovljiv gradbeni material, se bo njegova vloga v primerjavi z drugimi materiali v gradbeništvu povečevala, s tem pa tudi pomen zaščite lasa (Humar, 2004).

Zaščita lesa podaljšuje trajnost lesa in zmanjšuje tveganje zaradi biotskih škodljivcev. Številne študije, ki so jih izvedli angleški strokovnjaki, dokazujejo, da je zaščiten les z

okoljskega pogleda eden najbolj primernih gradbenih materialov (Hillier in Murphy, 2000). Do podobnih rezultatov so prišli tudi ameriški strokovnjaki. Ti ocenjujejo, da na področju lesarske in gozdarske panoge zaščita lesa z izboljšanjem odpornosti lesa najbolj pripomore k smotrnejši porabi lesa (Preston, 2000).

Kakovost lesa se bo zaradi vse večje porabe zmanjševala, zato bo na voljo vedno več neodpornega lesa, iz tega je razvidno, da bo zaščita lesa potrebna tudi v prihodnosti. Za zaščito lesa bomo uporabljali okoljsko primernejša zaščitna sredstva kot danes. Še posebej obetavna je modifikacija lesa ter uporaba sintetičnih analogov naravnih biocidov.

Kljub vsemu bomo za zaščito lesa na izjemno izpostavljenih mestih uporabljali tudi bakrove in borove soli, saj do sedaj še nismo odkrili primernejšega nadomestka.

Leta 2007 je v Evropi začel veljati zakonodajni paket REACH, ki bo močno spremenil trg kemikalij. Tako bodo imeli številni manjši proizvajalci velike stroške z avtorizacijo in registracijo proizvodov, kar jih bo avtomatično sililo v povezavo z drugimi proizvajalci in skupno zahtevane dokumentacije. Na drugi strani pa se pričakuje, da bo nova zakonodaja prinesla več reda na trgu kemikalij, kar bo na dolgi rok dobro za uporabnike in okolje (Kranjc, 2003).

Prav zaradi omenjenih težav intenzivno potekajo raziskave na naslednjih področjih (Voh, 2001): razvijanje novih kemijskih spojin in postopkov zaščite lesa, raziskave biokemičnih in fizioloških procesov biološke razgradnje lesa, razvoj in uveljavljanje (naravne) zaščite lesa, razstrupljanje odsluženega zaščitenega lesa, raziskave fizioloških procesov razgradnje lesa z glivami pri piravosti (antagonizem), sinteza in raziskave borovih ter bakrovih spojin, ugotavljanje ustreznih konstrukcijskih rešitev in uporabe lesa ter raziskave vpliva zaščitnih sredstev na človeka in okolje.

2.3 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA

Les je kot naravna organska snov podvržen razkroju, ki ga povzročajo različni dejavniki, tako biotični kot abiotični. Med biotične dejavnike žive narave prištejemo glive, insekte in bakterije. Med abiotične dejavnike nežive narave uvrščamo vremenske vplive (visoke in nizke temperature, vlaga veter, žarki UV, ogenj, kemični vplivi, itd.). Najhujši abiotični destruktor je ogenj, saj v požarih uniči velike količine lesa. Najpomembnejši biotični razkrojevalci pa so glive. Te delimo na glive povzročiteljice rjave in bele trohnobe. Jedrovine nekaterih vrst (robinija, kostanj, hrast...), ki ima veliko naravno odpornost, pa glive in insekti že samega od sebi ne morejo razkrojiti.

Posledice razkroja lesa zaradi delovanja gliv so po mnenju strokovnjakov naslednje (Benko in sod., 1987)

- zaradi encimske razgradnje lesa pride do razkroja olesenele celične stene,
- masa lesa se manjša, prav tako se zniža gostota,
- mehanske lastnosti in kalorična vrednost lesa se zmanjšujejo,
- barva in vonj se spremenita.

2.4 NARAVNA ODPORNOST LESA IN NJEGOVA TRAJNOST

Med okolje prijazne materiale štejemo tudi les. Z biocidno zaščito mu lahko povečamo njegovo odpornost in s tem povezano trajnost lesa.

2.4.1 Naravna odpornost

Naravna odpornost je v najširšem pomenu definirana kot odpornost lesa proti delovanju fizikalnih, kemijskih ali bioloških dejavnikov (Dinwoodie, 2000). Naravna odpornost je lastnost, ki jo ima les v naravnem zdravem stanju in pomeni dovzetnost na škodljivce (Kervina- Hamović, 1990). Odvisno je predvsem od kemijske sestave lesa in od anatomske zgradbe lesa (zgradba celične stene). Med ključne sestavine lesa, ki vplivajo na naravno

odpornost štejemo: ekstraktivne (beljakovine, škrob, sladkorje, tanine, smole, barve, alkaloidi, fenole) in akcesorne sestavine. Jedrovina, ki vsebuje večje količine smole, fenolnih spojin, alkaloidov je veliko bolj naravno odporna kot pa beljava, ki vsebuje škrob, sladkorje in beljakovine. Vendar pa samo z ekstraktivi ne moremo vedno v zadosti meri pojasniti naravne odpornosti lesa. Hidrofobnost lesa ima tudi zelo pomemben učinek na naravno odpornost (Gerardin in sod., 2004; Humar, 2008). Na naravno odpornost pozitivno vplivajo tudi razne organske kisline (Kervina-Hamović, 1990).

Tudi gostota lesa vpliva na naravno odpornost lesa, vendar pa gost les sam po sebi ne pomeni dobre naravne odpornosti. Tako je bukovina veliko manj odporna od jedrovine rdečega bora ali rdeče cedre (Panshin in de Zeeuw, 1980; SIST EN 350-2, 1994; Lesar, 2008). Pri hrastu pa na gostoto vpliva širina branik – širše so, višja je gostota (Lesar, 2008). Humar in sodelavci (2003) so ugotovili, da širina branik pomembno vpliva na naravno odpornost jedrovine hrasta; širše kot so, bolj odporen je les, kar je ravno obratno kot pri lesu iglavcev.

2.4.2 Trajnost lesa

Trajnost lesa je čas v katerem les ohrani večino svojih lastnosti. Odvisna je od njegove naravne odpornosti, kraja uporabe, mesta uporabe, načina uporabe, časa sečnje, idr. Za nekatere drevesne vrste je pri nas predpisana sečnja v zimskem času. S primerno izbiro vgradnje primerne vrste lesa oziroma primerne postopka zaščite lahko močno podaljšamo trajnost lesa. V pomoč pri izbiri glede postopka zaščite so evropski strokovnjaki lesene izdelke razdelili v pet različnih razredov izpostavitve glede na njihovo ogroženost oziroma mesta vgradnje (preglednica 1).

Preglednica 1: Evropski razredi uporabe lesa glede na mesto uporabe (SIST EN 335-1/2, 2006)

Razred uporabe	Splošne razmere na mestu uporabe	Opis vlažnosti zaradi izpostavljenosti navlaževanju na mestu uporabe	Lesni škodljivci	Prisotnost termitov
1	Znotraj, pod streho	Suho	Lesni insekti	V primeru, da so na tem območju prisotni termiti, se ta razred označi z 1T
2	Zunaj pod streho	Občasno vlažen	Lesni insekti, glive modrivke, plesni, glive razkrojevalke	V primeru, da so na tem območju prisotni termiti, se ta razred označi z 2T
3	3.1 Na prostem, nad zemljo z ustrezno konstrukcijsko zaščito	Občasno vlažen	Lesni insekti, glive modrivke, plesni, glive razkrojevalke	V primeru, da so na tem območju prisotni termiti, se ta razred označi z 3.1T oziroma 3.2T
	3.2 Na prostem, nad zemljo, brez konstrukcijske zaščite	Pogosto vlažen		
4	4.1 Na prostem, v stiku s tlemi in/ali sladko vodo	Pogosto ali stalno vlažen	Lesni insekti, glive modrivke, plesni, glive razkrojevalke, glive mehke trohnobe	V primeru, da so na tem območju prisotni termiti, se ta razred označi z 4.1T oziroma 4.2T
	4.2 Na prostem, v stiku s tlemi (ostri pogoji) in/ali sladko vodo	Stalno vlažen		
5	V stalnem stiku z morskno vodo	Stalno vlažen	Glive razkrojevalke, glive mehke trohnobe, morski lesni škodljivci	A ladijske svedrovke, lesne mokrice
				B ladijske svedrovke, lesne mokrice, kreozotno olje, tolerantne lesne mokrice
				C ladijske svedrovke, lesne mokrice, kreozotno olje, tolerantne lesne mokrice, pholade

2.5 UPORABLJENE LESNE VRSTE

2.5.1 Smrekovina (*Picea abies* Karst.)

2.5.1.1 Opis lesa

Čufarjeva (2006) navaja, da ima smrekovina neobarvano jedrovino, zato se beljava in jedrovina na videz barvno ne ločita. Les je večinoma rumenkast, v starosti tudi rumenkasto rjav. Branike od ozkih do zelo širokih, so razločne. Prehod iz svetlega, belkastega ranega lesa do rdečkasto rumenega kasnega lesa je večinoma postopen. Poskobljane površine imajo svilnat lesk. Svež les diši po smoli. Pogost je pojav smolnih žepkov.

Smrekovina je zelo podobna jelovini. Glavni znak za ločitev obeh vrst so normalni smolni kanali, ki jih ima smrekovina (na zgledni prečni površini se aksialni smolni kanali z lupo lepo vidijo kot svetle pike). Poleg tega je jelovina bolj bele barve, pogosto z modrikastim nadihom (Čufar, 2006).

2.5.1.2 Lastnosti lesa

Aksialni elementi potekajo premo, jedrovina je neobarvana, branike so razločne. Gostota je nizka do srednja, krčenje je zmerno. Je elastična in trdna, suši se brez težav, lahko se cepi in lepo se lušči. Les je malo nagnjen k zvijanju in pokanju in se z lahkoto obdeluje z ročnimi orodji ali strojno. Brez težav se površinsko obdeluje z vsemi komercialnimi premaznimi sredstvi. Lepi se dobro. Dobro se tudi žeblija in vijači (Čufar, 2006).

Zaradi nizke vsebnosti ekstraktivov je les kemično komajda aktiven. Ob stiku z vodo, kislinami, bazami, alkoholi, maščobami, olji, bakrom ali medenino ne pride do obarvanja. Železo ob stiku s smrekovino ne korodira, vendar se les sivkasto obarva. Nezaščiten les je le zmerno odporen proti atmosferilijam in neodporen proti insektom in glivam. Pri uporabi na prostem mora biti zato smrekovina pravilno vgrajena in zaščiten oziroma površinsko obdelana. V primerjavi z borovim lesom se bistveno slabše impregnira. (Čufar, 2006).

Preglednica 2: Lastnosti smrekovine po Grosser in Teetz (1985)

Gostota	
ρ_0	300...430...640 kg/m ³
ρ_{15}	330...470...680 kg/m ³
E-modul – iz upogiba	
11000 N/mm ²	11000 N/mm ²
Tlačna trdnost – vzporedno s potekom aksialnih elementov	
43 N/mm ²	40 N/mm ²
Natezna trdnost – vzporedno s potekom aksialnih elementov	
90 N/mm ²	80 N/mm ²
Upogibna trdnost – vzporedno s potekom aksialnih elementov	
66 N/mm ²	68 N/mm ²
Strižna trdnost – vzporedno s potekom aksialnih elementov	
6,7 N/mm ²	7,5 N/mm ²
Krčenje β – celotni skrčec	
vzdolžno (β_l)	0,3 %
tangencialno (β_t)	7,8 %
radialno (β_r)	3,6 %
volumensko (β_v)	12,0 %
Deferencialni nabrek q	
Procentualni nabrek ob spremembi lesne vlažnosti za 1 %	
$q_{rad} = 0,19 \text{ \%}/\%$	
$q_{tang} = 0,36 \text{ \%}/\%$	
anizotropija nabrekanja $q_{tang}/q_{rad} = 1,9$	
Toplotna prevodnost	
Pravokotno na potek aksialnih elementov za zračno suh les $u = 15 \text{ \%}$, pri gostoti $\rho_{15} = 470 \text{ kg/m}^3$	
0,112 W/mK (0,00096 kcal/mh°C)	
Računska vrednost za toplotno prevodnost smrekovine po DIN 4108 (Toplotna zaščita pri visokih gradnjah) pri upoštevanju varnostnega faktorja za vlažnost in gostoto:	
0,14 W/mK (0,12 kcal/mh°C)	
Vrednost pH	5,0

Opombe:

Srednje vrednosti za E-modul in trdnost veljajo za vzorce brez napak z vlažnostjo $u = 12 \text{ \%}$ (Grosser in Teetz, 1985).

Porušitvena trdnost za gradben les znaša 2,5 do 3,5 – kratno dopustno obremenitev pri statičnem obremenjevanju (Grosser in Teetz, 1985)

2.5.1.3 Uporaba

Smrekovina je naprodaj kot hlodovina, žagan les in furnir. Njena uporaba je zelo raznovrstna in množična. Poseben pomen ima kot gradben in konstrukcijski les za visoke in nizke gradnje, ter za notranjo uporabo. Uporablja se za ostrešja in konstrukcije stavb, za mostove, za rudniške in ogrodne konstrukcije, za skeletne konstrukcije, stene, stopnice,

okna, fasade, vrata, tla, balkone, pergole, vhodna vrata in ograje, za betonske opaže, drogoe, zaboje, palete, košare iz oblancev in škatle, leseno volno, igrače, talne kocke itd. Primerna je tudi za proizvodnjo lesnih tvoriv (luščen furnir za vezane plošče, sredice mizarskih plošč, okvire vrat, iverne in vlaknene plošče, ter plošče iz lesne volne) kot tudi za proizvodnjo celuloze in papirja. Pogosto se uporablja za pohištvo. Resonančni les se uporablja za glasbene inštrumente (Čufar, 2006).

2.5.2 Bukovina (*Fagus sylvatica* L.)

2.5.2.1 Opis lesa

Čufarjeva (2006) navaja, da je les bukve rdečkasto bel, ki ne tvori jedrovine. Pri starejših drevesih se na prečnem prerezu navadno pojavlja nepravilno obarvan, rdečerjav diskoloriran les imenovan rdeče srce. Za rdeče srce je značilno močno otiljenje trahej, ki med drugim otežuje impregnacijo lesa. Branike so razločne. Kasni les z manj trahejami je nekoliko temnejši od ranega. Difuzno razporejene traheje, velikostnega reda okoli 100 µm, so na prečnem prerezu vidne z lupo. Zelo značilni so številni široki trakovi, ki so na tangencialni površini vidni kot rdečkasta vretenca, na radialni pa kot očitna, do več milimetrov visoka zrcalca, ki zelo vplivajo na videz lesa. Plamenast (tangencialna površina) in progast (radialna površina) videz nista tako izrazita kot pri iglavcih. Bukev nima specifičnega vonja ali okusa.

2.5.2.2 Lastnost lesa

Les bukve ima relativno visoko gostoto, je trd in se zelo krči in nabreka. Dimenzijska stabilnost je neugodna, trdnostne lastnosti so na gostoto nadpovprečno visoke (naprimer dobra upogibna trdnost), elastičnost je nižja. Les je zelo žilav, malo elastičen in zelo trden. Dobro se cepi in predvsem po parjenju se dobro upogiba. Nezaščitena bukovina je podvržena okužbi glivami in insekti in je le zmerno trajna, zato je potrebna hitra in pravilna manipulacija po poseku. Z izjemo rdečega srca se dobro impregnira. S kreozotnimi olji impregnirana bukovina ima posebno dolgo življenjsko dobo. Impregnirani

bukovi železniški pragovi dosegajo srednjo življenjsko dobo najmanj 40 let. Znani so tudi primeri, ko impregnirani pragovi v stiku z zemljo zdržali do 100 let. Delež juvenilnega lesa je zanemarljiv. Možen je obilnejši pojav tenzijskega lesa. Notranje napetosti so lahko znatne, ker ima za posledico zvijanje in pokanje lesa (Čufar, 2006).

Zaradi visoke gostote in nagnjenosti k distorcijam, zvijanju in pokanju ter nastanku rjavordečih, rdečemu srcu podobnih obarvanj, se za sušenje bukovine priporoča blag režim sušenja (Čufar, 2006).

Ročno in strojno je bukovino mogoče lepo obdelati, vendar sta zaradi visoke gostote lesa krhanje orodij in poraba energije nekoliko večja. Lepo se lušči in reže v furnirje. Dobro se struži in polira. Z lahkoto se žeblja, vijači in lepi. Za žebljanje in vijačenje se priporoča uvajalna luknja. Bukovina dobro drži vijake. Površinsko se brez težav obdeluje z vsemi komercialnimi premaznimi sistemi (Čufar, 2006).

Preglednica 3: Lastnosti bukovine po Grosser in Teetz (1985)

Gostota	
ρ_0	490...680...880 kg/m ³
ρ_{15}	540...720...910 kg/m ³
E-modul – iz upogiba	
16000 N/mm ²	14000 N/mm ²
Tlačna trdnost – vzporedno s potekom aksialnih elementov	
53 N/mm ²	60 N/mm ²
Natezna trdnost – vzporedno s potekom aksialnih elementov	
135 N/mm ²	135 N/mm ²
Upogibna trdnost – vzporedno s potekom aksialnih elementov	
105 N/mm ²	120 N/mm ²
Strižna trdnost – vzporedno s potekom aksialnih elementov	
8 N/mm ²	10 N/mm ²
Krčenje β – celotni skrčček	
vzdolžno (β_l)	0,3 %
tangencialno (β_t)	11,8 %
radialno (β_r)	5,8 %
volumensko (β_v)	14,0...17,9...21,0 %
Deferencialni nabrek q	
Procentualni nabrek ob spremembi lesne vlažnosti za 1 %	
$q_{rad} = 0,20 \text{ \%/\%}$	
$q_{tang} = 0,41 \text{ \%/\%}$	
anizotropija nabrekanja $q_{tang}/q_{rad} = 2,1$	
Toplotna prevodnost	
Pravokotno na potek aksialnih elementov za zračno suh les $u = 15 \text{ \%}$, pri gostoti $\rho_{15} = 720 \text{ kg/m}^3$	
0,157 W/mK (0,135 kcal/mh°C)	
Računska vrednost za toplotno prevodnost smrekovine po DIN 4108 (Toplotna zaščita pri visokih gradnjah)	
pri upoštevanju varnostnega faktorja za vlažnost in gostoto:	
0,17 W/mK (0,15 kcal/mh°C)	
Vrednost pH	5,1...5,4

Opombe:

Srednje vrednosti za E-modul in trdnost veljajo za vzorce brez napak z vlažnostjo $u = 12 \text{ \%}$ (Grosser in Teetz, 1985).

Porušitvena trdnost za gradben les znaša 2,5 do 3,5 – kratno dopustno obremenitev pri statičnem obremenjevanju (Grosser in Teetz, 1985).

2.5.2.3 Uporaba

Na trgu se ločeno prodaja neparjena in parjena bukovina, sicer pa so na razpolago hlodovina, žagan les, furnir, vezan les in razni polizdelki (grobo oblikovani kosi – surovci, zgoščen les bukovine itd.). Uporaba lesa je zelo raznovrstna kot na primer za gradbeno mizarstvo, stopnice, opaž, parket, pohištvo, pri čemer se uporablja masiven, krivljen ali vezan les. Krivljen in vezan les se uporabljata predvsem za šolsko in pisarniško pohištvo,

pri katerih je potrebna trda površina. Najbolj znan izdelek iz krivljene bukovine je Thonetovo pohištvo, ki ga izdelujejo že okrog 150 let. Bukovina je odlična za izdelavo železniških pragov, vendar mora biti za ta namen ustrezno impregnirana. Kot gradben in konstrukcijski les se uporablja predvsem pri obremenjenih notranjih konstrukcijah. Bukovina je izhodiščni material za proizvodnjo lesnih kompozitov. Uporablja se tudi za delavniške mize, ročaje orodij in aparatur, za gospodinjske pripomočke, za igrače, embalažo, za pridobivanje oglja, za stružene izdelke, za proizvodnjo palet in zabojev, za ohišja in v strojni industriji. Skupaj z drugimi lesnimi vrstami se uporablja tudi za pridobivanje celuloze. V preteklosti so bukovino uporabljali predvsem za pridobivanje toplote (drva in oglje). Uporaba v ta namen danes ponovno narašča (Čufar, 2006).

2.6 ETANOLAMIN

Etanolamin (2-aminoetanol, C_2H_7NO) je brezbarvna, bazična, viskozna ($\rho_{EA}=1,016$ kg/L), higroskopna tekočina, ki se zelo dobro meša z vodo (slika 1). O kancerogenosti etanolamina ni podatka, kljub temu sodi med zdravju škodljive snovi (LD 1720mg/kg) (Allen in sod., 1992; Lewis, 1992).



Slika 1: Kemijska struktura etanolamina

Etanolamin je zelo primeren nadomestek kromovih spojin za fiksacijo bakrovih spojin v les, saj kemično reagira z lesom. Večina etanolamina pri tem ne izhlapi iz lesa (Locont in sod., 1998; Humar in Petrič, 2000a). Etanolamin največji meri reagira z C=O skupinam hemiceluloze in 1, 3, 4 benzenske obročje v ligninu (Humar in Petrič, 2000b; Zhang in Kamdem, 2000). Vendar celotna reakcija lesa z etanolaminom še vedno ni popolnoma pojasnjena.

3 MATERIAL IN METODE

3.1 PRIPRAVA VZORCEV

Za eksperimentalni del naloge smo vzorce izdelali iz beljave zračno suhe smrekovine (*Picea abies* Karst.) in zračno suhega lesa bukve (*Fagus sylvatica* L.). Vzorce smo izdelali iz čistega, zdravega in pravilno orientiranega lesa, brez grč, smolnih žepov, stržena ali reakcijskega lesa. Dimenzija vzorcev je znašala ($50 \times 25 \times 25$ mm) ($\pm 0,5$ mm). Pripravili smo 81 smrekovih in 80 bukovih vzorcev, skupaj 161 preizkušancev. Vse vzorce smo oštevilčili na tangencialni strani in oblikovali serije glede na drevesno vrsto.

3.2 PRIPRAVA IMPREGNACIJSKEGA SREDSTVA

Za potrebe eksperimenta smo pripravile dve vodni raztopini etanolamina. Pripravili smo 5 kg 5 % in 5kg 10 % vodne raztopine etanolamina in destilirane vode. Del vzorcev smo impregnirali s pripravkom višje, drugi del pa s pripravkom nižje koncentracije etanolamina. Del vzorcev pa smo pustili neimpregniranih le-ti so nam služili za kontrolo.

3.3 DOLOČANJE NAVZEMA

Navzem je količina zaščitnega sredstva, ki ga les vpije pri postopku impregnacije in ga izražamo v enotah, ki jih določa oblika lesnega vzorca.

Suhi in mokri navzem smo določili gravimetrično. Mokri navzem se določa takoj po impregnaciji in določa celotno količino navzetega zaščitnega sredstva. Suhi navzem se določali po tem, ko je topilo zaščitnega sredstva med sušenjem izhlapelo. Zato smo najprej absolutno suhe vzorce stehali, jih impregnirali in jih takoj po impregnaciji ponovno stehali. Impregnirane vzorce smo po fiksaciji posušili v sušilniku, ter jim določili maso v absolutno suhem stanju.

Navzem smo izračunali po naslednji formuli:

$$r^{(V)} = \frac{m_2 - m_1}{V_1} \quad \dots(1)$$

Pri čemer je:

$r^{(V)}$... mokri navzem zaščitnega sredstva (kg/m^3)

m_1 ... masa preizkušanca pred impregnacij (kg)

m_2 ... masa preizkušanca po impregnaciji (kg)

V_1 ... volumen preizkušanca (m^3)

3.4 IMPREGNACIJA

Vzorci smo impregnirali tako, da smo 36 smrekovih in 36 bukovih vzorcev zložili v kovinsko posodo, jih obtežili in prelili z vnaprej pripravljeno vodno raztopino etanolamina. Nato smo posodo z vzorci postavili v vakuumsko - tlačno komoro KAMBIČ (slika 2) z regulacijo tlaka. Najprej smo jih za 20 minut izpostavili podtlaku na približno 0,75 bar, nato za 90 minut nadtlaku na 8 bar do 10 bar in ponovno na podtlak (za 5 do 10 minut). Enak postopek impregniranja je bil za naslednjih 36 bukovih in smrekovih vzorcev, le da smo uporabili 5 odstotno vodno raztopino etanolamina.



Slika 2: Vakuumsko - tlačna komora KAMBIČ

3.5 KONDICIONIRANJE VZORCEV PO IMPREGNACIJI

Sušenje oziroma kondicioniranje smo izvedli na štiri različne načine in sicer: (1) del vzorcev smo tretirali v skladu s standardom SIST EN 84 (2002), ki opisuje pospešeno staranje zaščitene lesa pred biološkim preskušanjem vzorcev. (2) vzporedne vzorce smo zavili v folijo, ter jih sušili pri 60 °C, (3) smo sušili v sušilniku na 103 °C in zadnjo četrtino (4) smo sušili na zraku. Za vsak postopek uravnovešanja smo pripravili po 9 vzorcev vsake drevesne vrste in koncentracije kot je razvidno iz preglednice 4.

Preglednica 4: Drevesna vrsta, oznaka vzorca, postopek kondicioniranja in koncentracije raztopine

Drevesna vrsta	Številka vzorca	Oznake	Kratek opis kondicioniranja	Koncentracija
Smreka	1-9	en84	namakanje 24 ur, sušenje 2-3 dni na 103 °C	10
	10-18	folija	zavito v alu folijo, 24 ur na 60 °C	10
	19-27	sušilnik	sušenje na 103 °C, 24 ur	10
	28-36	na zraku	sušenje na sobni tem.	10
	37-45	en84	namakanje 24 ur, sušenje 2-3 dni na 103 °C	5
	46-54	folija	zavito v alu folijo, 24 ur na 60 °C	5
	55-63	sušilnik	sušenje na 103 °C, 24 ur	5
	64-72	na zraku	sušenje na sobni tem.	5
	73-81	kontrolni		
Bukev	101-109	en84	namakanje 24 ur, sušenje 2-3 dni na 103 °C	10
	100-118	folija	zavito v alu folijo, 24 ur na 60 °C	10
	119-127	sušilnik	sušenje na 103 °C, 24 ur	10
	128-136	na zraku	sušenje na sobni tem.	10
	137-145	en84	namakanje 24 ur, sušenje 2-3 dni na 103 °C	5
	146-154	folija	zavito v alu folijo, 24 ur na 60 °C	5
	155-163	sušilnik	sušenje na 103 °C, 24 ur	5
	164-172	na zraku	sušenje na sobni tem.	5
	173-180	kontrolni		

Po kondicioniranju smo vse vzorce za 2 tedna shranili pri standardnih laboratorijskih pogojih.

3.6 URAVNOVEŠANJE IMPREGNIRANIH VZORCEV PRI RAZLIČNIH KLIMAH

Vzorce za določanje sorpcijskih lastnosti smo pred uravnovešanjem za tri dni postavili v laboratorijski sušilnik (KAMBIČ) pri temperaturi 40 ± 2 °C. Zatem smo jih stehali in prestavili v eksikator. Nato je sledilo uravnovešanje vzorcev pri dveh različnih relativnih vlažnostih, ki smo jih dosegli z nasičenimi solnimi raztopinami, prikazani v preglednici 5

Preglednica 5: Nasičene vodne raztopine soli za doseganje želene zračne vlažnosti

Nenasičene solne raztopine	Relativna zračna vlažnost
NaNO_2	65 %
$\text{ZnSO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$	87 %

Za zagotavljanje ustreznih pogojev (relativne zračne vlažnosti) je bilo potrebno dobro zatesniti stekleno komoro. Temperatura v prostoru je bila približno 25 °C. Z ventilatorjem in primernim razmikom med vzorci smo dosegli enakomerno porazdelitev vlažnosti po celotni komori kot je razvidno iz slike 3. Za spremljanje relativne zračne vlažnosti in temperature smo uporabili elektronski zapisovalec (EasyLog USB) (slika 4), ki je redno spremljal podatke ter jih zapisoval v bazo podatkov.



Slika 3: Steklena komora za uravnovešanje lesenih vzorcev



Slika 4: EasyLog USB za spremljanje in beleženje pogojev v komori

3.7 DOLOČANJE VLAŽNOSTI

Vlažnost vzorcev smo določili z gravimetrično metodo. Vlažnost vzorcev smo določili, približno štiri krat na vsak teden v določeni relativni zračni vlažnosti. Spremembo mase vzorcev smo spremljali s pomočjo računalniško podprte laboratorijske tehnice SARTORIUS (slika 5), na 0,0001 g natančno. Iz mase vzorcev smo kasneje izračunali še vlažnost vzorcev.

Vlažnost smo računali po naslednji formuli:

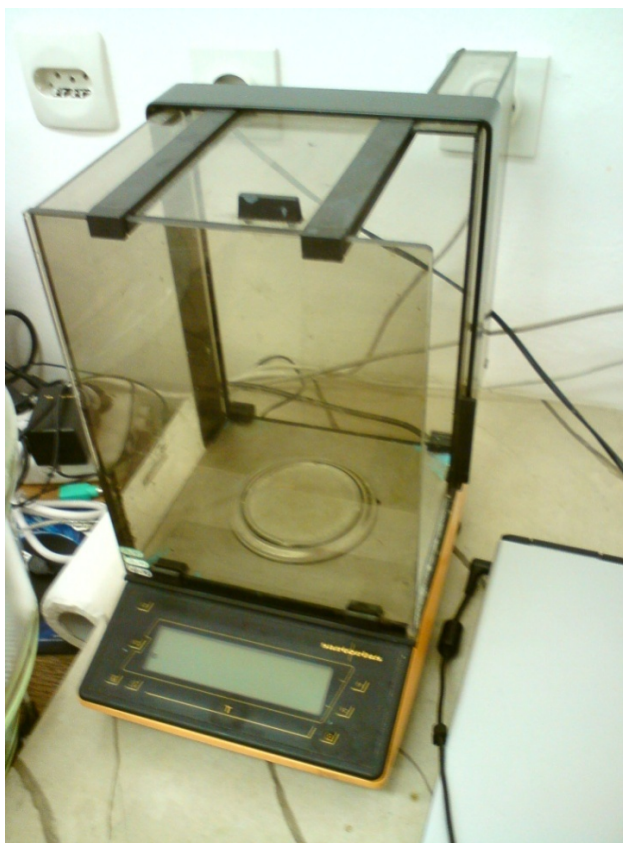
$$u = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad \dots(2)$$

Pri čemer je:

u...ravnovesna vlažnost vzorca

m_0 ...masa absolutno suhega vzorca

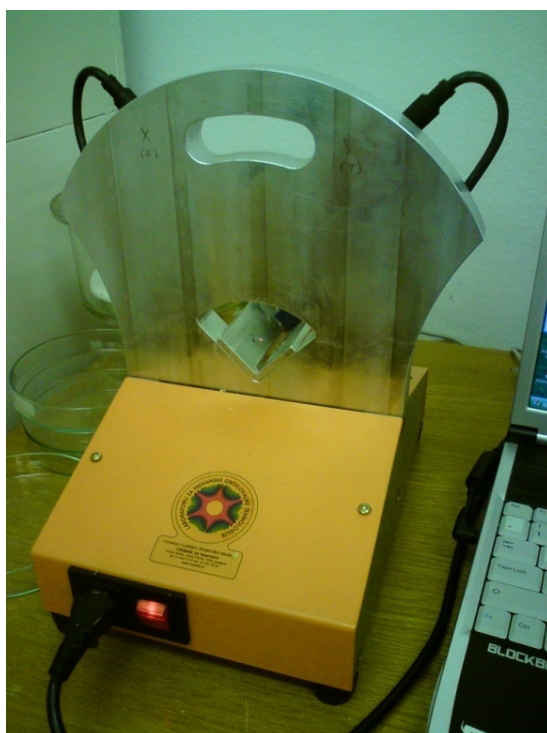
m_1 ...masa vzorca izpostavljenega določeni vlažnosti



Slika 5: Računalniško podprta tehnika SARTORIUS

3.8 DOLOČANJE SPREMEMB DIMENZIJ VZORCEV

Poleg mase vzorcev smo spremljali še dimenzije vzorcev. Določili smo jih s pomočjo računalniško podprtega laserskega merilnika (slika 6), ki meri dimenzije vzorcev v dveh oseh. Vzorce smo v merilnik vstavljali tako, da je merilnik meril v x osi tangencialno krčenje, v y osi pa radialno krčenje.



Slika 6: Računalniško podprt laserski merilnik dimenzij

3.9 DOLOČANJE TLAČNE TRDNOSTI

Za določanje mehanskih lastnosti vzorcev, smo uporabili destruktivno metodo določanja tlačne trdnosti. Tlačno trdnost smo določili na napravi Zwick Roell (slika 7). Tlačno trdnost smo določili v aksialni smeri.



Slika 7: Naprava za določanje mehanskih lastnosti Zwick Roell

4 REZULTATI

4.1 MOKRI NAVZEM

Po impregnaciji smo vzorcem gravimetrično določili mokri navzem, ki nam pove, koliko impregnacijskega sredstva je prodrlo v les. Zaradi relativno velike specifične površine vzorcev, velikega deleža aksialnih površin in enakega postopka impregnacije. Smo dobili med seboj primerljive rezultate.

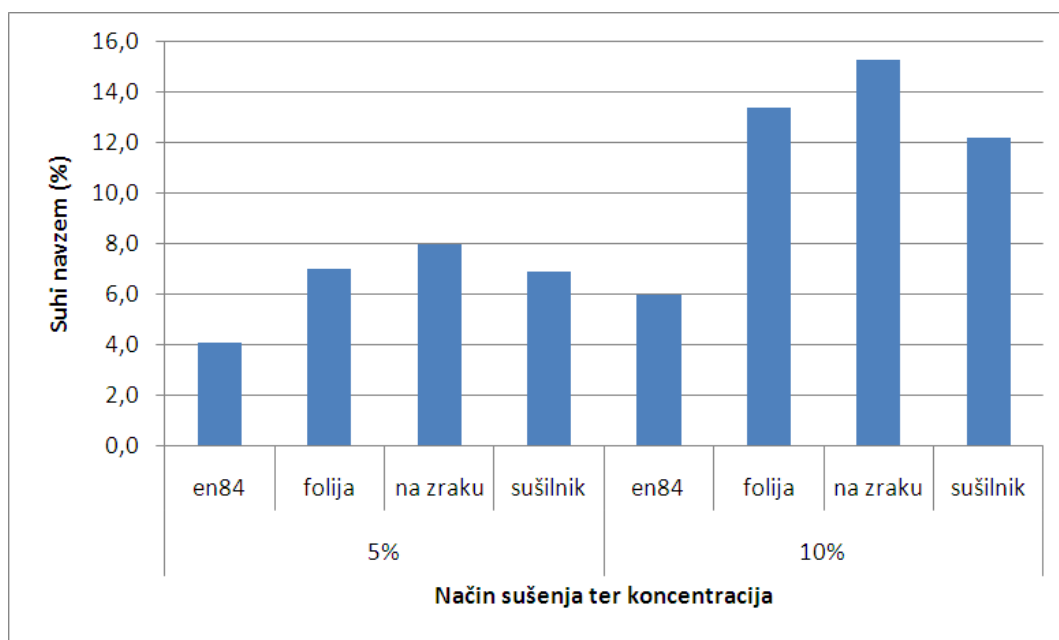
Preglednica 6: Mokri navzem vodnih raztopin etanolamina v odvisnosti od koncentracije in lesne vrste

Drevesna vrsta	koncentracija EA	povprečni mokri navzem (g)	Mokri navzem (kg/m ³)
smreka	5	25	874
	10	25	854
bukev	5	22	741
	10	22	736

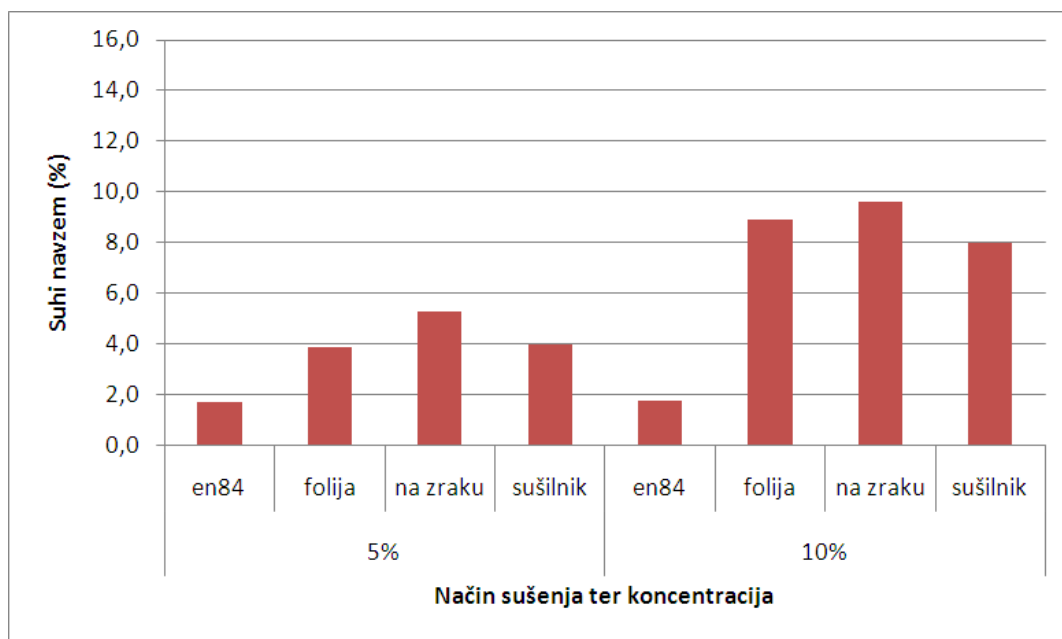
Iz preglednice 6 lahko razberemo, da so smrekovi vzorci v povprečju vpili za okoli 14 % več vodnih raztopin etanolamina kot vzporedni bukovi vzorci. Razlog za razliko lahko pripišemo razliki v gostoti med smrekovimi in bukovimi vzorci. Zaradi razlike v poroznosti je v smrekovini več prostih vrzeli, kamor lahko prodre vodna raztopina etanolamina. Pri smrekovih vzorcih med vodnima raztopinama etanolamina ni opaziti velikih razlik. Nekoliko manjši navzem smo opazili pri 10 odstotni raztopini etanolamina. Podobno razliko smo zabeležili tudi pri bukovih vzorcih. Vzorci prepojeni s 5 % raztopina etanolamina so vpili več pripravka, kot vzporedni vzorci prepojeni z 10 % raztopino etanolaminskega pripravka. Eden od možnih vzrokov za razlike v navzemu etanolaminskega pripravka je različna gostota. Pripravki z višjo koncentracijo imajo višjo gostoto in so bolj viskozni in zato težje prodirajo v les. V našem primeru so razlike zelo majhne, tako da ni statistično značilno. Vendar v literaturi (Humar in Petrič, 2000b) zasledimo podoben zaključek.

4.2 SPREMEMBA MASE SUHIH VZORCEV PO IMPREGNACIJI Z VODNO RAZTOPINO ETANOLAMINA

Iz slik 8 in 9 je razvidno, da je etanolamin reagiral z lesom in iz lesa ni izhlapel niti po sušenju na 103 °C. Tudi, suhi navzem pri obeh lesnih vrstah naraščajo s koncentracijo etanolamina v pripravku. Največji navzem je bilo zaznati pri vzorcih sušenih na zraku, pri smreki 15,3 % in bukvi 9,6 %. Ne glede na koncentracijo etanolamina v pripravku, smo najnižje, celo negativne navzeme določili pri vzorcih, ki smo jih takoj po impregnaciji namočili v vodo v skladu s postopkom SIST EN 84. Zanimivo, da so pri bukovih vzorcih navzemi nižji kot pri smrekovini. Razlog za to je večja gostota bukovega lesa in manjšemu deležu etanolamina, ki smo ga vnesli v les z impregnacijo.



Slika 8: Mase smrekovih vzorcev pred in po impregnaciji



Slika 9: Masa bukovih vzorcev pred in po impregnaciji

4.3 URAVNOVEŠANJE SMREKOVIH VZORCEV PRI 65 % RELATIVNI ZRAČNI VLAŽNOSTI

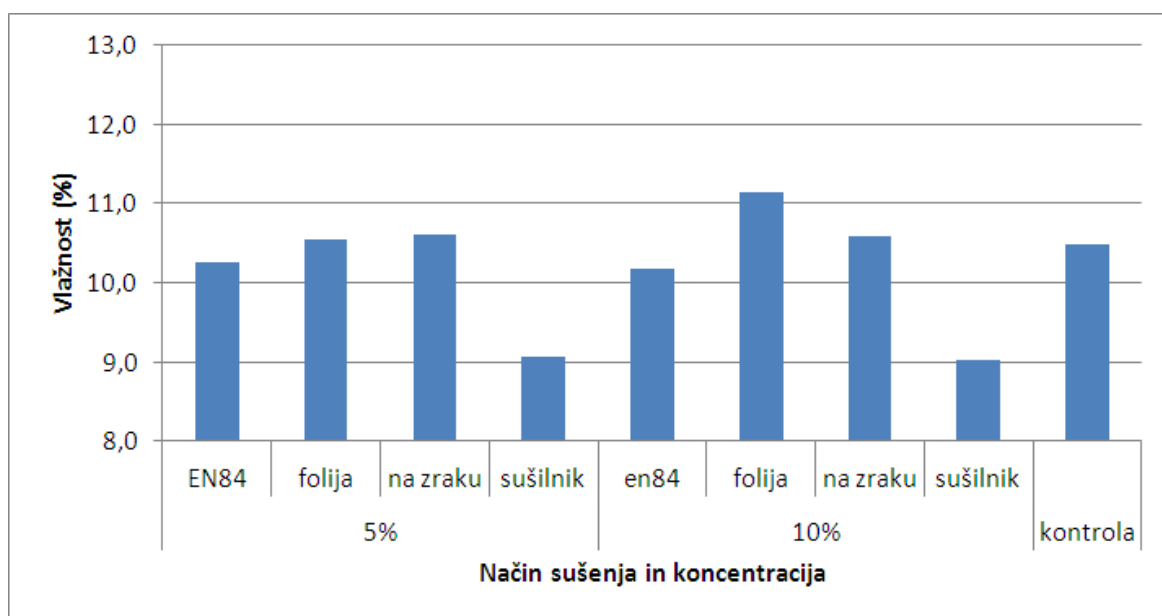
Uravnotežanje vzorcev na 65 % relativni zračni vlažnosti smo izvajali v stekleni komori, v atmosferi nad nasičeno raztopino natrijevega nitrata, s katero smo vzpostavili ustrezno relativno zračno vlažnost. Prikazani podatki so bili izmerjeni na 21 dan.

Iz slike 10 je razvidno, da je bila vlažnost kontrolnih smrekovih vzorcev 10,5 %. Ta vrednost je primerljiva iz podatki literature. Najnižjo vlažnost smo določili pri vzorcih, ki smo ji po impregnaciji kondicionirali v sušilniku pri 103 °C. Možnih vzrokov za nizko vlažnost je več. Znano je, da pri temperaturi 103 °C že prihaja do razgradnje hemiceluloz. Hemiceluloze pa imajo največji delež hidroksilnih skupin. K razgradnji hemiceluloz je zagotovo prispeval tudi etanolamin, za katerega je znano da povzroča depolimerizacijo hemiceluloz in lignina (Claus, in sod., 2004). Koncentracija etanolamina nima velikega vpliva na sorpcijske lastnosti. Najvišjo vlažnost pa dosegajo vzorci, ki so bili sušeni v foliji z 10 % raztopino. Etanolamin iz teh vzorcev ni izhlapel, znano pa je da je etanolamin higroskopen in tako zagotovo vpliva na sorpcijske lastnosti lesa (Humar, 2006). Ostale

vlažnosti impregniranih vzorcev so pa približno primerljive z vlažnost kontrolnih vzorcev (10,5 %) (Slika 10).

Preglednica 7: Statistični prikaz vlažnosti smrekovih vzorcev prepojenih z vodno raztopino etanolamina po uravnovešanju v komori s 65 % RVZ

	5 % koncentracija				10 % koncentracija				kont.
	EN84	folija	na zraku	sušilnik	EN84	folija	na zraku	sušilnik	
Št. vzorca	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Arit. sred.	10,3%	10,5%	10,6%	9,1%	10,2%	11,1%	10,6%	9,0%	10,5%
St. odklon	0,05%	0,21%	0,09%	0,07%	0,13%	0,19%	0,08%	0,07%	0,10%
K.V.	0,5%	2,0%	0,9%	0,7%	1,3%	1,7%	0,8%	0,8%	0,9%
min	10,2%	10,2%	10,4%	9,0%	10,0%	10,9%	10,5%	8,9%	10,4%
max	10,3%	10,8%	10,7%	9,1%	10,3%	11,4%	10,7%	9,1%	10,7%



Slika 10: Povprečna vlažnost smrekovih vzorcev prepojenih z vodno raztopino etanolamina po uravnovešanju v komori s 65 % RZV

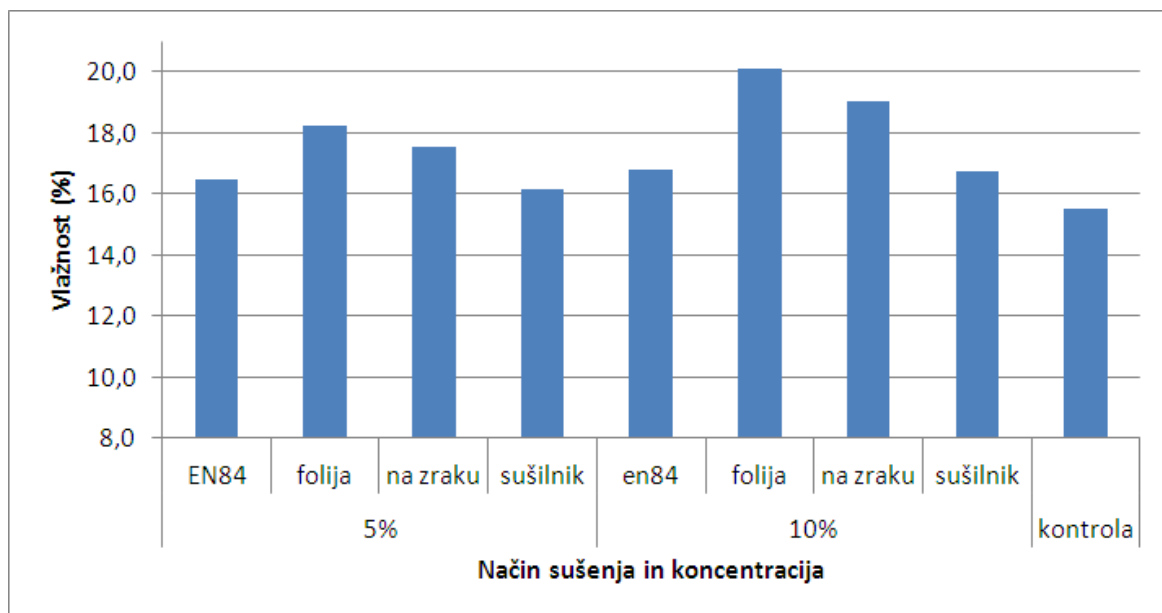
4.4 URAVNOVEŠANJE SMREKOVIH VZORCEV PRI 87 % RELATIVNI ZRAČNI VLAŽNOSTI

Uravnovešanje vzorcev na 87 % relativni zračni vlažnosti smo izvajali v stekleni komori, v atmosferi nad nasičeno raztopino soli, s katero smo vzpostavili ustrezno relativno zračno vlažnost. Prikazani podatki so bili izmerjeni na 42 dan.

Pri uravnovešanju smrekovih vzorcev pri 87 % relativni zračni vlažnosti so se pokazale nekoliko drugačna razmerja, kot pri nižji ravnovesni vlažnosti. Vlažnost kontrolnih vrednosti se je dvignila iz 10,5 % pri 65 % RZV (Sika 10) na 15,5 % pri 87 % RZV. Te vrednosti so primerljive iz podatkov literature (npr. Vavkman, 2006). Opaziti pa je veliko razliko pri vlažnostih impregniranih vzorcev. Pri vseh impregniranih vzorcih smo opazili višje vlažnosti. Najvlažnejši so bili vzorci prepojeni s pripravkom najvišje koncentracije, ki so bili med sušenjem zaviti v folijo (20,2 %), sledili pa so vzorci impregnirani z 10 % vodno raztopino etanolamina (19 %) (slika 11).

Preglednica 8: Statistični prikaz vlažnosti smrekovih vzorcev prepojenih z vodno raztopino etanolamina po uravnovešanju v komori s 87 % RVZ

	5 % koncentracija				10 % koncentracija				kont.
	EN84	folija	na zraku	sušilnik	EN84	folija	na zraku	sušilnik	
Št. vzorca	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Arit. sred.	16,5%	18,3%	17,5%	16,2%	16,8%	20,1%	19,0%	16,8%	15,5%
St. odklon	0,14%	0,42%	0,23%	0,11%	0,21%	0,41%	0,17%	0,15%	0,06%
K.V.	0,9%	2,3%	1,3%	0,7%	1,3%	2,1%	0,9%	0,9%	0,4%
min	16,2%	17,5%	17,3%	16,0%	16,3%	19,4%	18,8%	16,4%	15,4%
max	16,7%	19,0%	18,1%	16,4%	17,0%	20,5%	19,2%	16,9%	15,6%



Slika 11: Povprečna vlažnost smrekovih vzorcev prepojenih z vodno raztopino etanolamina po uravnovešanju v komori s 87 % RZV

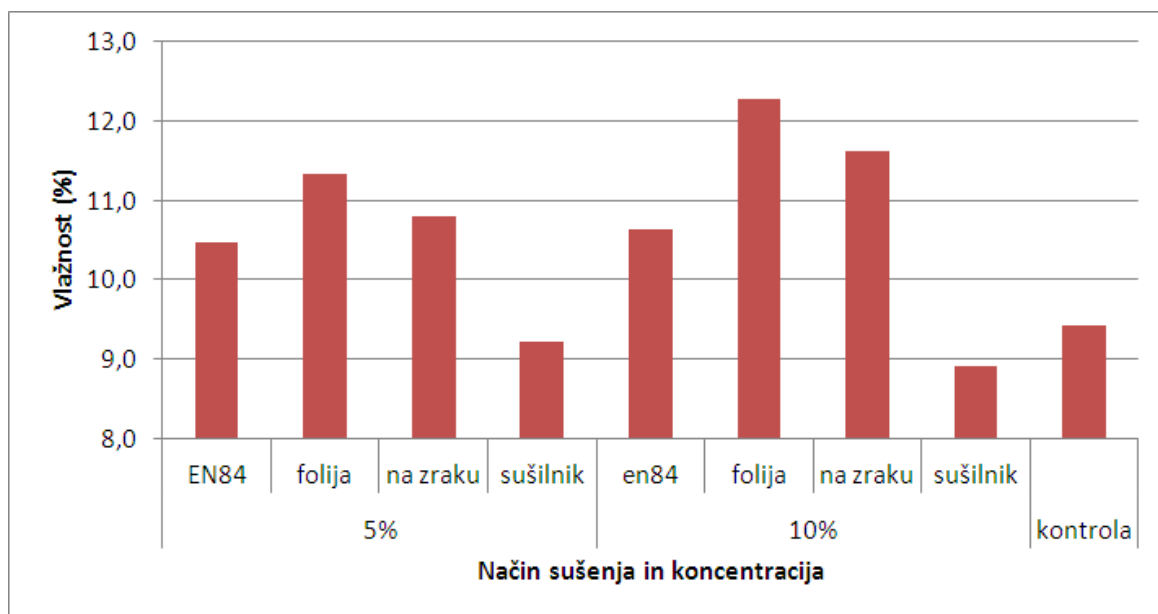
4.5 URAVNOVEŠANJE BUKOVIH VZORCEV PRI 65 % RELATIVNI ZRAČNI VLAŽNOSTI

Uravnotežanje vzorcev na 65 % relativni zračni vlažnosti smo izvajali v stekleni komori, v atmosferi nad nasičeno raztopino natrijevega nitrata, s katero smo vzpostavili ustrezno relativno zračno vlažnost. Prikazani podatki so bili izmerjeni na 21 dan.

Iz slike 12 je razvidno, da je vlažnost bukovih vzorcev primerljiva z vlažnostjo smrekovine. Po 3 tednih uravnotežanja so smrekovi kontrolni vzorci dosegli vlažnost 10,5, bukovi pa 9,4 % (Sliki 10 in 11). Podobno kot pri smrekovih vzorcih prepojenih s pripravki na osnovi etanolamina smo tudi pri bukovih vzorcih najnižjo vlažnost zabeležili pri vzorcih impregniranih s pripravki z 10 % etanolamina sušeni pri 103 °C (8,9 %) in vzporednih vzorcih impregniranih s pripravkom 5 % koncentracije sušenih pri istih pogojih (9,2 %) (Slika 12). Vzorci, ki smo jih po impregnaciji kondicionirali pri drugih pogojih so bili vlažnejši kot kontrolni vzorci. Najvlažnejši so bili vzorci impregnirani z 10 % raztopino etanolamina, ki smo jih po impregnaciji zavili v folijo (12,3 %). Razlogi za omenjene razlike smo opisali v poglavju o sorpcijskih lastnostih impregniranih smrekovih vzorcev.

Preglednica 9: Statistični prikaz vlažnosti bukovih vzorcev prepojenih z vodno raztopino etanolamina po uravnotežanju v komori s 65 % RVZ

	5 % koncentracija				10 % koncentracija				kont.
	EN84	folija	na zraku	sušilnik	EN84	folija	na zraku	sušilnik	
Št. vzorca	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Arit. sred.	10,5%	11,3%	10,8%	9,2%	10,6%	12,3%	11,6%	8,9%	9,4%
St. odklon	0,11%	0,19%	0,07%	0,07%	0,12%	0,28%	0,22%	0,08%	0,04%
K.V.	1,1%	1,6%	0,6%	0,8%	1,1%	2,3%	1,9%	1,0%	0,5%
min	10,3%	10,9%	10,7%	9,1%	10,4%	11,8%	11,3%	8,8%	9,4%
max	10,6%	11,5%	10,9%	9,3%	10,8%	12,6%	12,0%	9,0%	9,5%



Slika 12: Povprečna vlažnost bukovih vzorcev prepojenih z vodno raztopino etanolamina po uravnovešanju v komori s 65 % RZV

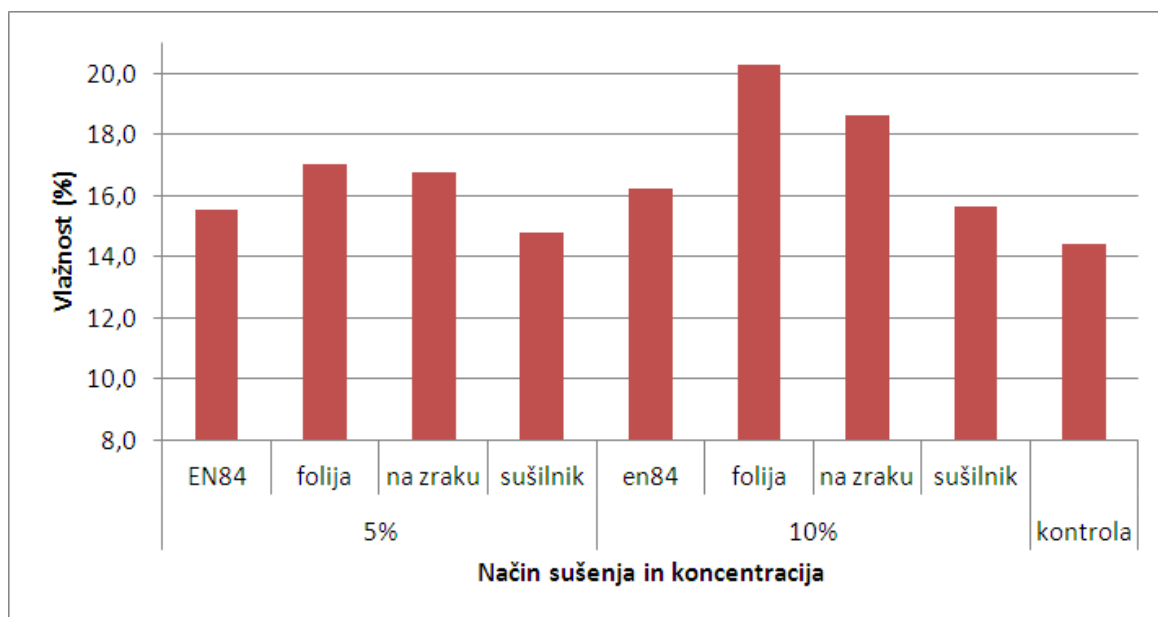
4.6 URAVNOVEŠANJE BUKOVIH VZORCEV PRI 87 % RELATIVNI ZRAČNI VLAŽNOSTI

Uravnovešanje vzorcev na 87 % relativni zračni vlažnosti smo izvajali v stekleni komori, v atmosferi nad nasičeno raztopino soli, s katero smo vzpostavili ustrezno relativno zračno vlažnost. Prikazani podatki so bili izmerjeni na 42 dan.

Bukovi vzorci ki smo jih uravnovešali pri 87 % RZV, so dosegli vlažnosti med 14,8 % in 20,3 % (Slika 13). Podobno kot pri vzporednih vzorcih so bili najmanj vlažni kontrolni vzorci (13,3 %). Ne glede na koncentracijo in postopek po impregnaciji, so bili z etanolaminom impregnirani vzorci bolj vlažni kot kontrolni vzorci. Podobno kot pri smrekovih vzorcih so bili najbolj vlažni vzorci prepojeni s pripravkom najvišje koncentracije, ki so bili med sušenjem zaviti v folijo (20,3 %), sledili pa so vzorci impregnirani z 10 % vodno raztopino etanolamina in sušeni na zraku (18,6 %).

Preglednica 10: Statistični prikaz vlažnosti smrekovih vzorcev prepojenih z vodno raztopino etanolamina po uravnovešanju v komori s 65 % RVZ

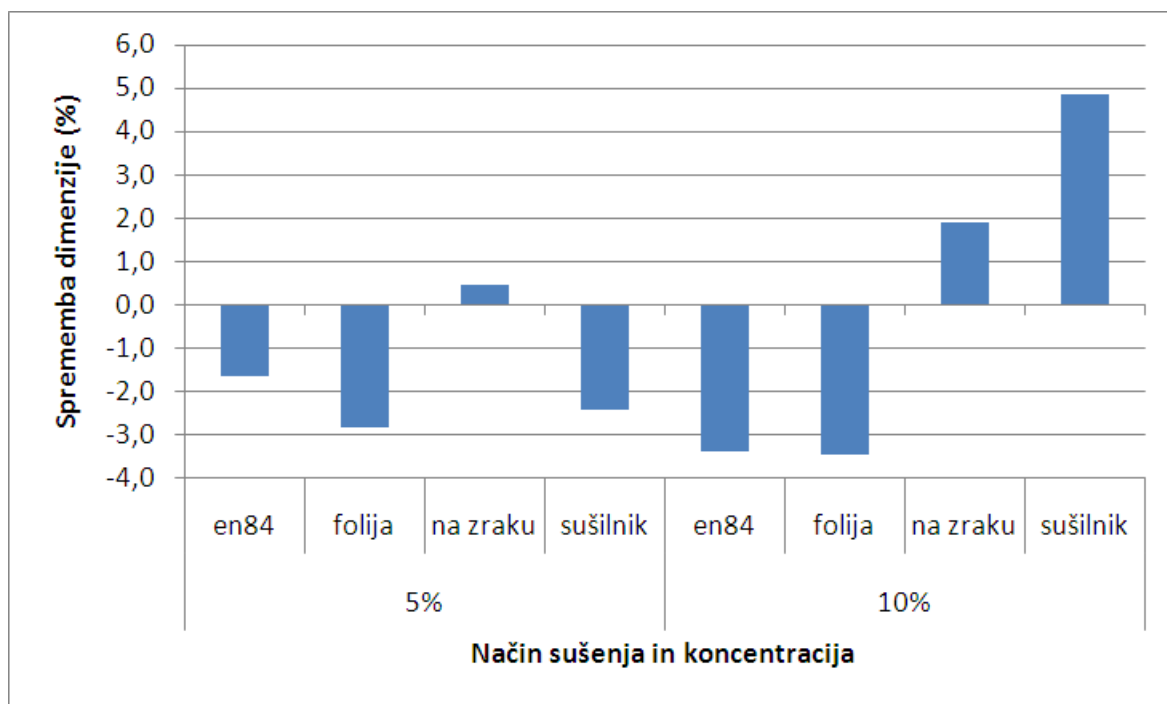
	5 % koncentracija				10 % koncentracija				kont.
	EN84	folija	na zraku	sušilnik	EN84	folija	na zraku	sušilnik	
Št. vzorca	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Arit. sred.	15,5%	17,0%	16,8%	14,8%	16,2%	20,3%	18,6%	15,6%	14,4%
St. odklon	0,26%	0,59%	0,40%	0,39%	0,35%	0,50%	0,53%	0,54%	0,29%
K.V.	1,6%	3,4%	2,4%	2,6%	2,2%	2,5%	2,8%	3,5%	2,0%
min	15,1%	15,9%	16,4%	14,1%	15,6%	19,4%	18,0%	15,0%	14,2%
max	16,0%	17,6%	17,8%	15,3%	16,8%	21,1%	19,7%	16,5%	14,9%



Slika 13: Povprečna vlažnost bukavih vzorcev prepojenih z vodno raztopino etanolamina po uravnovešanju v komori s 87 % RZV

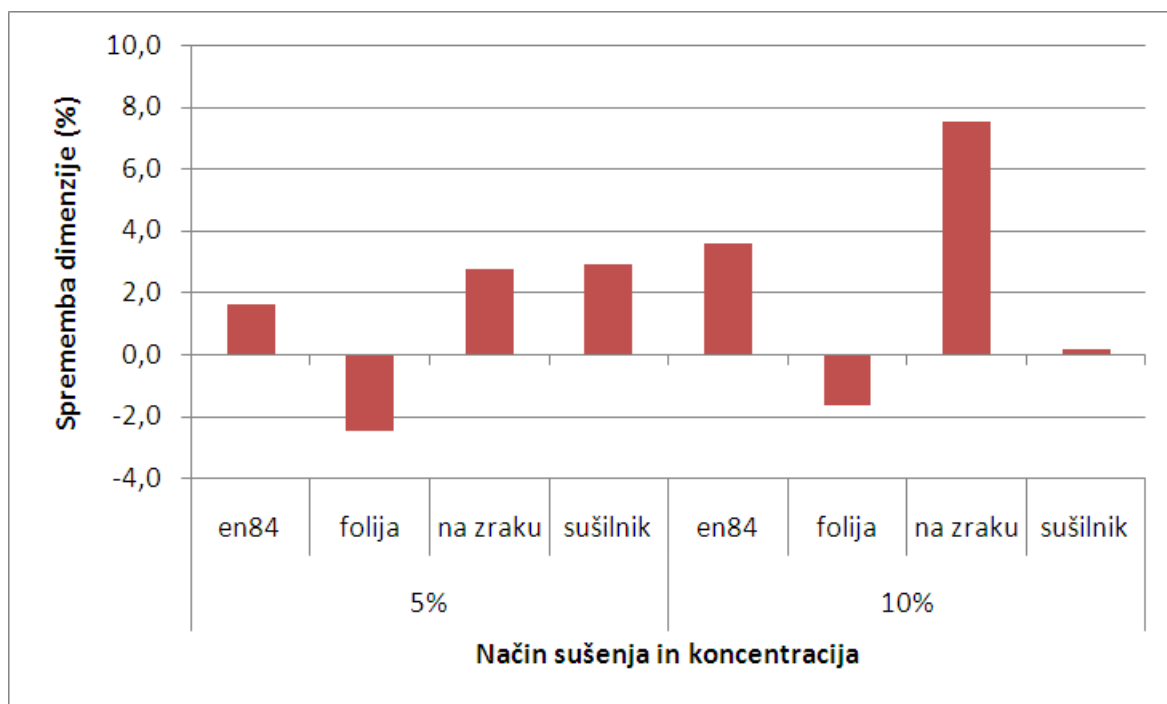
4.7 SPREMEMBA DIMENZIJ PO IMPREGNACIJI VZORCEV

Iz slike 14 je razvidno, da je večina smrekovih vzorcev po impregnaciji imela manjši volumen, kot vzorci pred impregnacijo, z izjemo vzorcev sušenih na zraku in vzorcev, ki smo jih sušili v sušilniku. Ta podatek nakazuje, da je po impregnaciji lesa z vodno raztopino etanolamina, prišlo do delne depolimerizacije lignina in hemiceluloz, zato se je po impregnaciji les lahko bolj skrčil.



Slika 14: Sprememba dimenzije smrekovine pred in po impregnacije z vodno raztopino etanolamina

Pri bukovini, smo negativen nabrek izmerili le pri vzorcih zavitih v folijo. Ostali so imeli večji volumen kot pred impregnacijo vendar skorajda zanemarljiv (od 0,2 do 3,6 %), kot je razvidno iz slike 15. Najvišji nabrek so imeli vzorci kondicionirani na zraku pri višji koncentraciji (7,5 %).



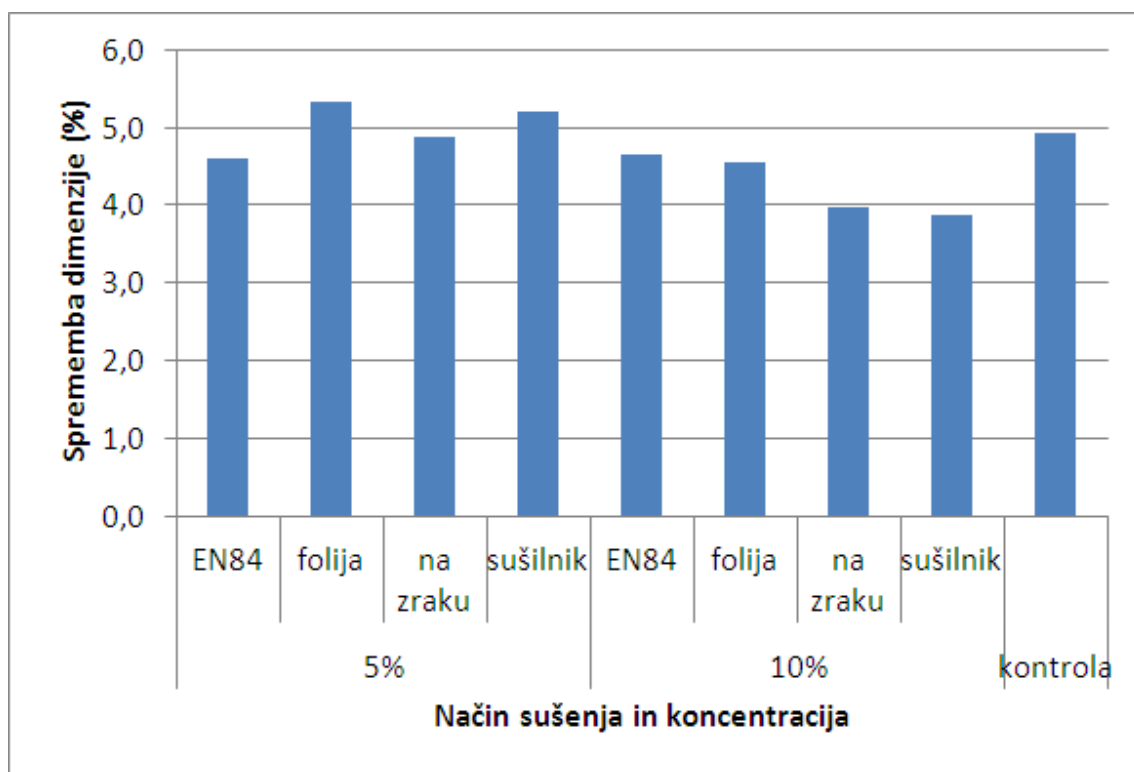
Slika 15: Sprememba dimenzije bukovine pred in po impregnacije z vodno raztopino etanolamina

Podtki o negativnem skrčku nakazujejo, da najverjetneje prišlo do kolapsa vzorcev. Lahko, da je nastal zaradi intenzivnega sušenja vzorcev. V to ne moremo biti čisto prepričani in zato so potrebne dodatne raziskave na tem področju.

4.8 SPREMEMBA DIMENZIJ SMREKOVIH VZORCEV PO URAVNOVEŠANJU PRI 65 % RELATIVNI ZRAČNI VLAŽNOSTI

Uravnotežanje vzorcev na 65 % relativni zračni vlažnosti smo izvajali v stekleni komori, v atmosferi nad nasičeno raztopino natrijevega nitrata, s katero smo vzpostavili ustrezno relativno zračno vlažnost. Prikazani podatki so bili izmerjeni na 21 dan. Izmerjene dimenzije smo primerjali z izmerami absolutno suhih vzorcev pred impregnacijo.

Kot je iz razvidno slike 16, smo največjo spremembo dimenzij opazili pri vzorcih, ki so bili kondicionirani v foliji in impregnirani s 5 % raztopino. Volumen teh vzorcev se je povečal za 5,2 %. Ta nabrek je primerljiv z nabrekom kontrolnih vzorcev. Najmanjši volumski nabrek pa smo izmeril pri vzorcih impregniranih z 10 % raztopino EA in sušenih v sušilniku pri 103 °C (3,9 %).

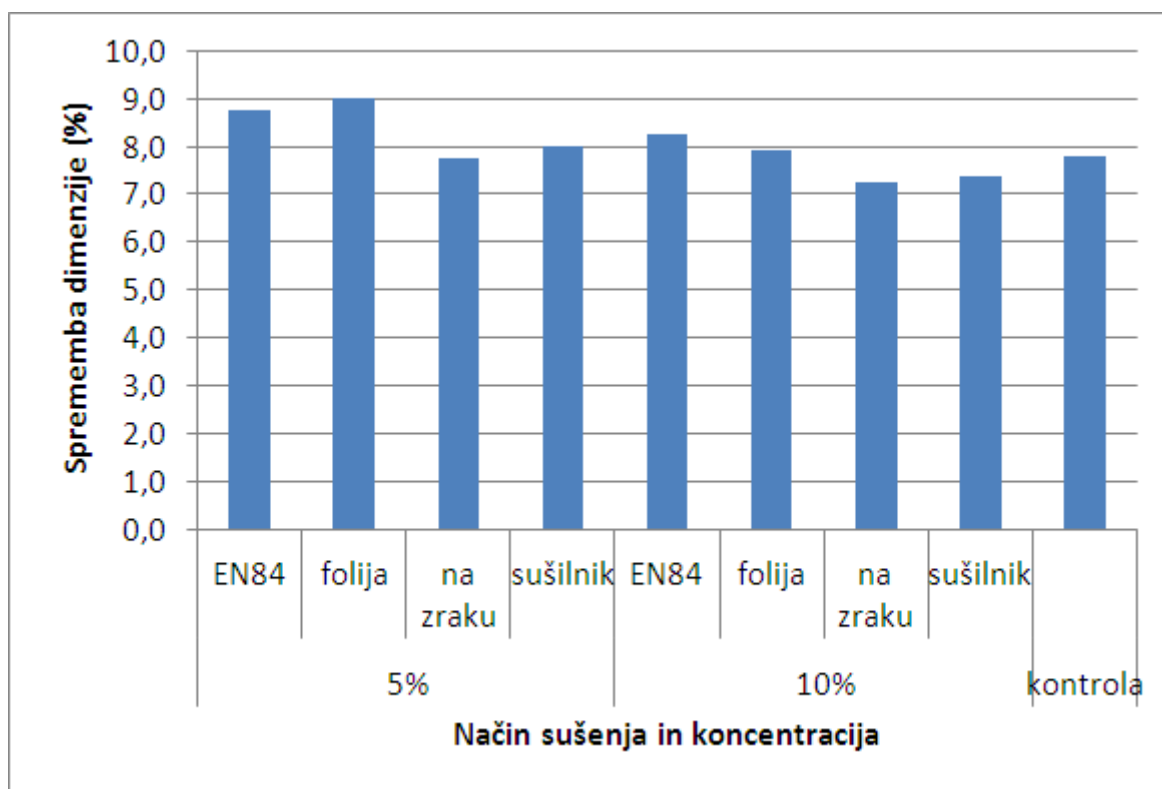


Slika 16: Volumski nabrek smrekovih vzorcev uravnoteženih pri 65 % relativni zračni vlažnosti

4.9 SPREMEMBA DIMENZIJ SMREKOVIH VZORCEV PO URAVNOVEŠANJU PRI 87% RELATIVNI ZRAČNI VLAŽNOSTI

Uravnotežanje vzorcev na 87 % relativni zračni vlažnosti smo izvajali v stekleni komori, v atmosferi nad nasičeno raztopino soli, s katero smo vzpostavili ustrezno relativno zračno vlažnost. Prikazani podatki so bili izmerjeni na 42 dan. Izmerjene dimenzije smo primerjali z izmerami absolutno suhih vzorcev pred impregnacijo.

Kot je razvidno iz slike 17, se impregnacija smrekovine z vodnimi raztopinami etanolamina odraža v višjih nabrekih, kot pri neimpregniranih kontrolnih vzorcih. Najvišje volumske nabreke smo opazili pri vzorcih impregniranih s 5 % raztopino, ki so bili po impregnaciji kondicionirani v foliji (9,6 %). Le tem so sledili vzorci impregnirani z 10 % in 5 % raztopino etanolamina, ki smo jih kondicionirali v skladu z zahtevami standarda SIST EN 84. Med impregniranimi vzorci smo najmanjši nabrek zabeležili pri vzorcih impregniranih z višjo koncentracijo raztopine sušenih na zraku (7,3 %). Med temi vzorci in kontrolnimi vzorci ni zaznati velikih razlik v volumskem nabreku.

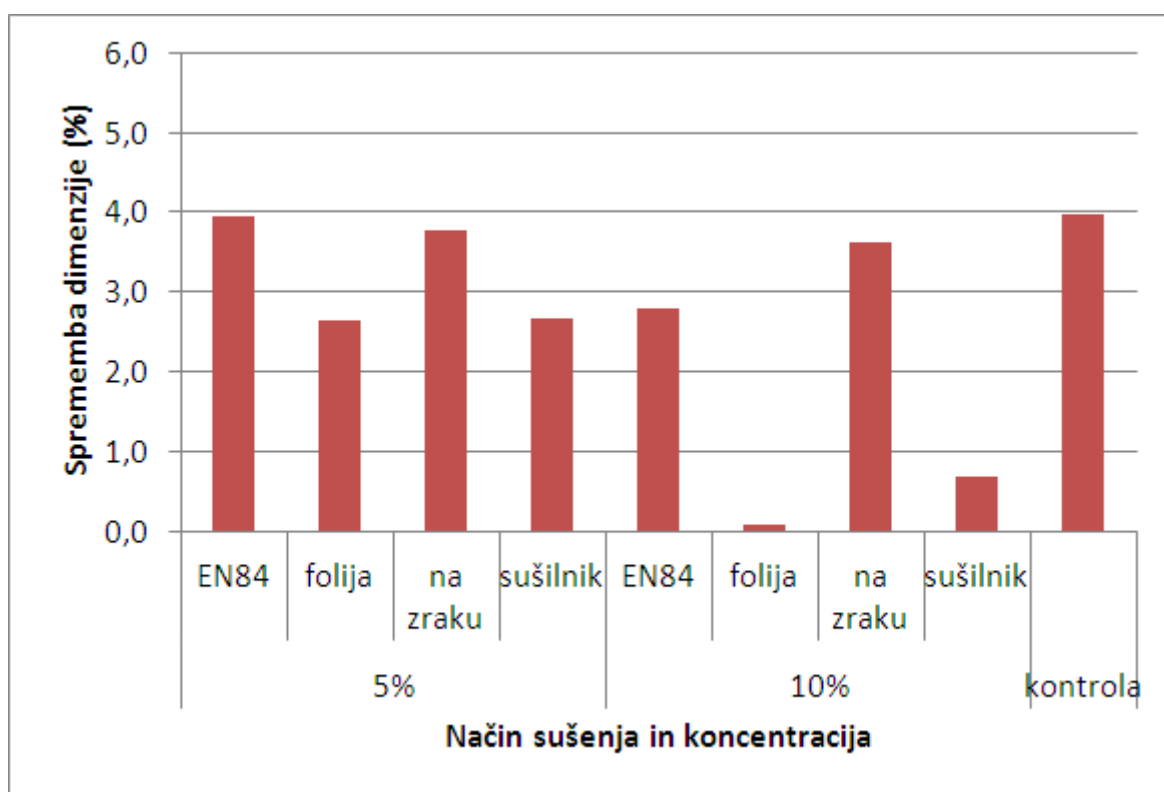


Slika 17: Volumenski nabrek smrekovih vzorcev uravnoteženih pri 87 % relativni zračni vlažnosti

4.10. SPREMEMBA DIMENZIJ BUKOVIH VZORCEV PO URAVNOVEŠANJU PRI 65 % RELATIVNI ZRAČNI VLAŽNOSTI

Uravnotežanje vzorcev na 65 % relativni zračni vlažnosti smo izvajali v stekleni komori, v atmosferi nad nasičeno raztopino natrijevega nitrata, s katero smo vzpostavili ustrezno relativno zračno vlažnost. Prikazani podatki so bili izmerjeni na 21 dan. Izmerjene dimenzije smo primerjali z izmerami absolutno suhih vzorcev pred impregnacijo.

Iz sprememb dimenzij bukovih vzorcih prihaja do izrazitih razlik. Največji volumski nabrek smo zabeležili pri kontrolnih vzorcih (4 %). Pri vzorcih impregniranih s 5 % oziroma 10 % raztopino EA in kondicionirani v skladu s standardom SIST EN 84 smo zaznali podoben nabrek, med 3,3 % in 3,9 %. Najnižji nabrek pa smo zaznali pri vzorcih zavitih v folijo (0,2 %). Pri teh vzorcih, je nabrek skoraj zanemarljiv. Razloge za tako visoko dimenzijsko stabilnost teh vzorcev bi bilo smiselno osvetliti v enih prihodnjih raziskav.

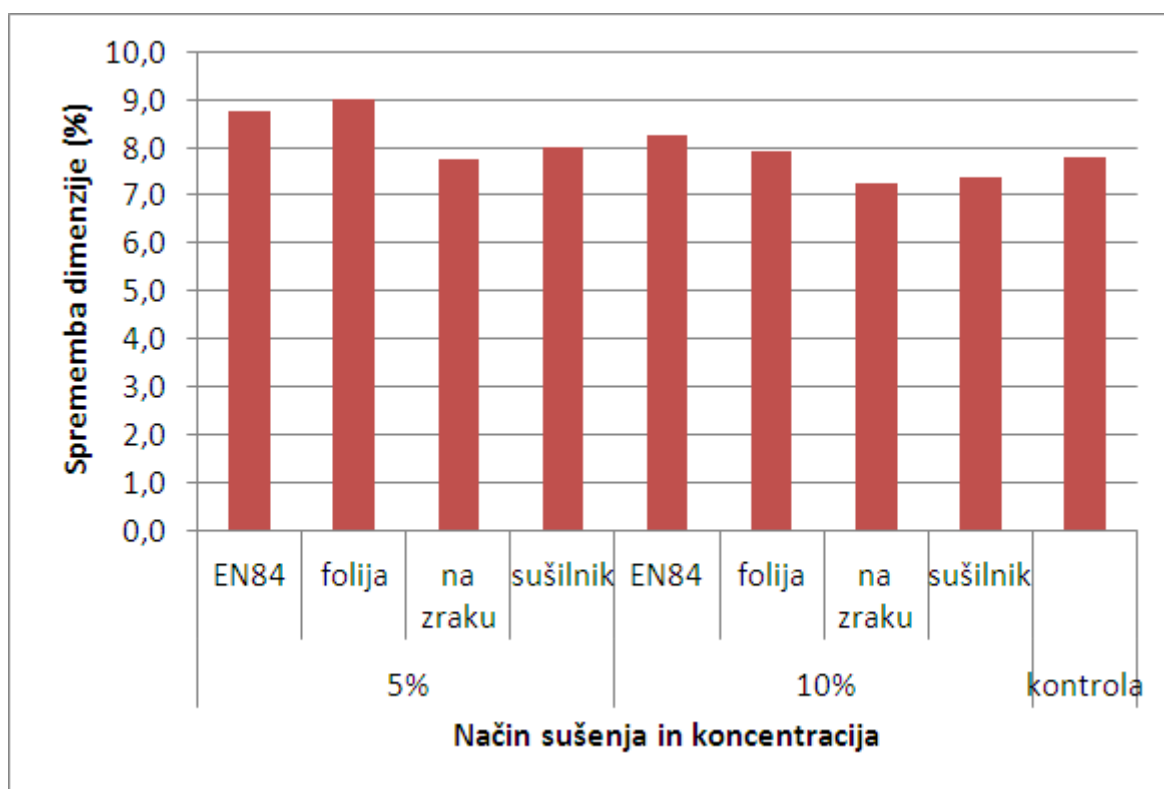


Slika 18: Volumski nabrek bukovih vzorcev uravnoteženih pri 65 % relativni zračni vlažnosti

4.11 SPREMEMBA DIMENZIJ BUKOVIH VZORCEV PO URAVNOVEŠANJU PRI 87 % RELATIVNI ZRAČNI VLAŽNOSTI

Uravnotežanje vzorcev na 87 % relativni zračni vlažnosti smo izvajali v stekleni komori, v atmosferi nad nasičeno raztopino soli, s katero smo vzpostavili ustrezno relativno zračno vlažnost. Prikazani podatki so bili izmerjeni na 42 dan. Izmerjene dimenzije smo primerjali z izmerami absolutno suhih vzorcev pred impregnacijo.

Iz slike 19 so razvidne spremembe dimenzij impregniranih in neimpregniranih bukovih vzorcev po uravnotežanju pri 87 % relativne zračne vlažnosti. Pri tem se opazi zelo enakomeren volumski nabrek pri vseh vzorcih ne glede na kondicioniranje. Kakorkoli, najnižji volumski nabrek smo zaznali pri kontrolnih vzorcih (6,9 %). Najvišji volumski nabrek pa smo zabeležili pri impregniranih vzorcih, ki smo jih po impregnaciji zavili v folijo (9,4 %) (Slika 19). Kakorkoli, med impregniranimi vzorci ni zaznati velikih razlik.



Slika 19: Volumenski nabrek bukovih vzorcev uravnovešenih pri 87 % relativni zračni vlažnosti

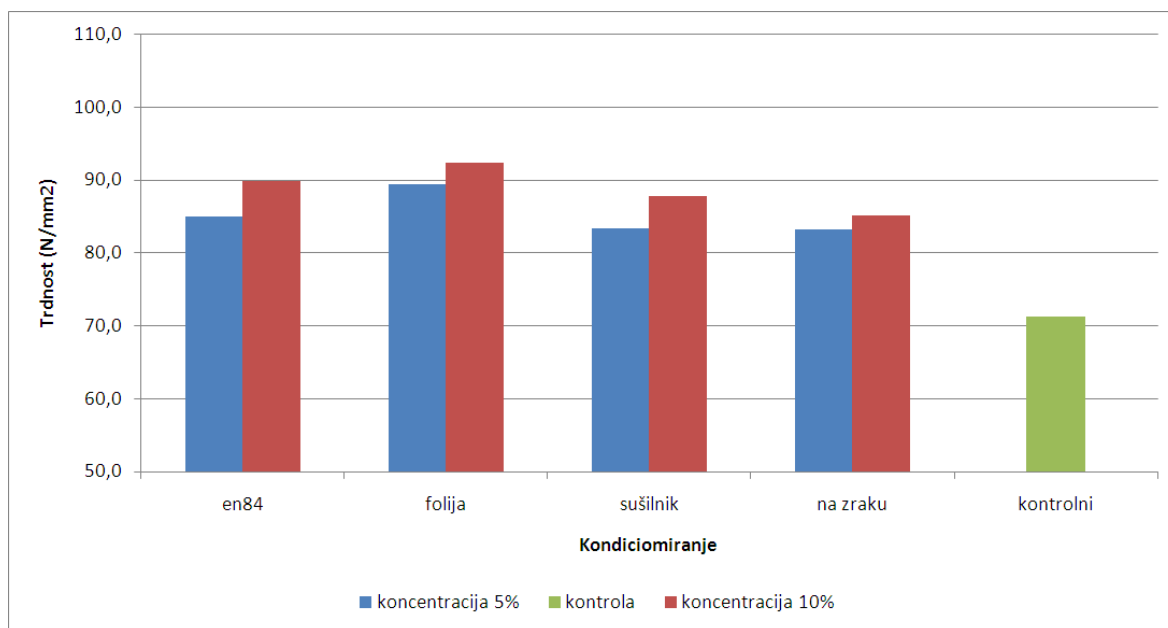
4.12 MEHANSKE LASTNOSTI VZORCEV

Za preizkus mehanskih lastnosti smo vzorce predhodno posušili do absolutno suhega stanja.

Tlačna trdnost smrekovih vzorcev je $71,2 \text{ N/mm}^2$. Ta vrednost ni primerljiva z referenčnimi vrednostmi iz podatkov navedenih v uvodnem delu, ki znašajo 43 N/mm^2 . Razlog za višjo trdnost leži v velikosti vzorcev in dejstvu, da so imeli naši vzorci relativno goste branike. Kakorkoli, ker smo uporabili primerljivo metodo, menimo da so mehanske lastnosti vzorcev med seboj primerljive. Iz slike 20 je razvidno, da se je tlačna trdnost smrekovih vzorcev izboljšala v primerjavi s kontrolnimi vzorci. Najvišjo tlačno trdnost smo določili pri vzorcih, ki smo jih impregnirali z 10 % raztopino etanolamina in jih po impregnaciji zavili v folijo. Razlog za boljše mehanske lastnosti se po vsej verjetnosti skriva v dejstvu, da etanolamin povzroči nastanek prostih radikalov v lesu, ki dodatno premrežijo lignin in s tem vplivajo na mehanske lastnosti lesa (Humar in sod., 2003).

Preglednica 11: Statistični prikaz mehanskih lastnosti smrekovih vzorcev prepojenih z vodno raztopino etanolamina

	5 % koncentracija				10 % koncentracija				kontr.
	EN84	folija	na zraku	sušilnik	EN84	folija	na zraku	sušilnik	
Št. vzorca	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Arit. sred.	84,9	89,4	83,3	83,4	89,9	92,3	85,1	87,8	71,2
St. odklon	10,0	7,4	7,5	5,3	3,4	6,0	8,4	4,2	8,5
K.V.	11,8%	8,3%	9,0%	6,3%	3,8%	6,5%	9,9%	4,8%	11,9%
min	60,5	71,4	65,7	76,5	81,8	79,6	71,2	81,0	60,6
max	100,7	102,3	102,7	102,8	102,9	108,2	110,0	110,9	86,7

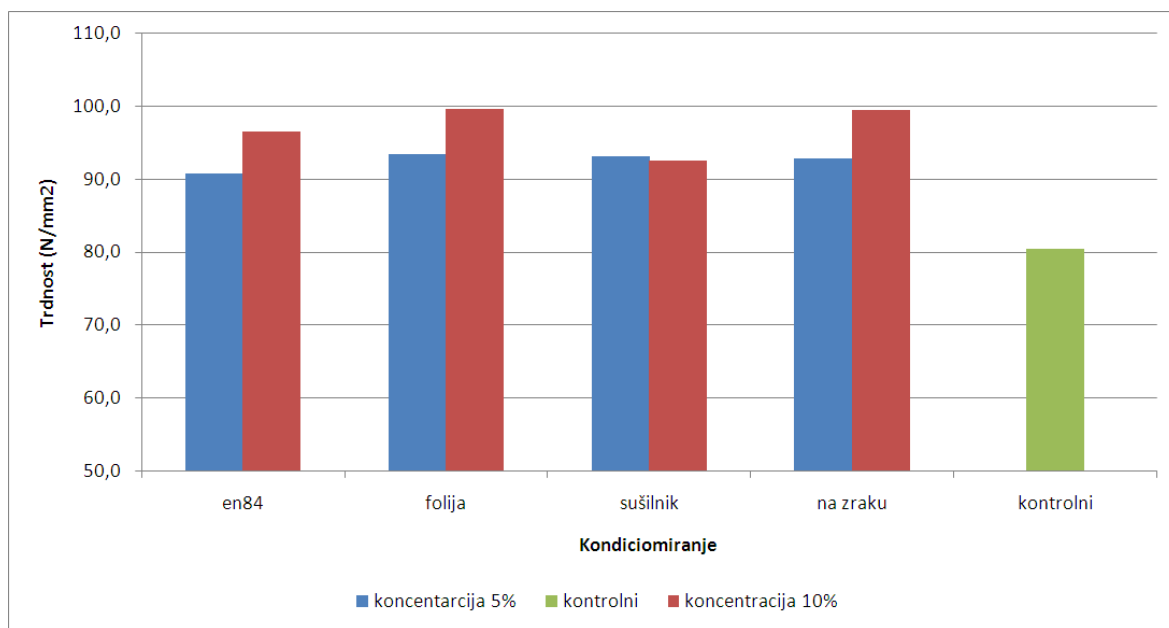


Slika 20: Tlačna trdnost smrekovih vzorcev impregniranih s pripravki na osnovi etanolamina v odvisnosti od postopka kondicioniranja

Iz slike 21 so razvidne mehanske lastnosti bukovih vzorcev. Mehanske lastnosti bukovine so nekoliko višje ($80,5 \text{ N/mm}^2$) od smrekovine ($71,2 \text{ N/mm}^2$), kar je v skladu s podatki literature (Grosser in Teetz, 1985). Iz slike 21 je razvidno, da se je tlačna trdnost z etanolaminom impregniranih bukovih vzorcev izboljšala v primerjavi s kontrolnimi vzorci. Najvišjo tlačno trdnost smo določili pri vzorcih z višjo koncentracijo zaviti v foliji ($99,7 \text{ N/mm}^2$), čeprav so z podobnimi lastnostmi bili vzorci prav tako z višjo koncentracijo sušeni na zraku ($99,5 \text{ N/mm}^2$).

Preglednica 12: Statistični prikaz mehanskih lastnosti smrekovih vzorcev prepojenih z vodno raztopino etanolamina

	5 % koncentracija				10 % koncentracija				kontr.
	EN84	folija	na zraku	sušilnik	EN84	folija	na zraku	sušilnik	
Št. vzorca	9	9	9	9	9	9	9	9	8
Arit. sred.	90,8	93,5	92,9	93,2	96,6	99,7	99,5	92,6	80,5
St. odklon	6,0	7,8	7,1	5,4	4,0	6,3	7,1	15,4	4,8
K.V.	6,6%	8,3%	7,7%	5,8%	4,2%	6,3%	7,1%	16,6%	6,0%
min	81,7	82,4	82,0	83,4	89,2	89,7	86,1	65,1	73,4
max	92,2	94,4	90,4	93,2	92,5	99,1	96,2	94,8	81,6



Slika 21: Tlačna trdnost bukovih vzorcev impregniranih s pripravki na osnovi etanolamina v odvisnosti od postopka kondicioniranja

5 SKLEPI

Koncentracija etanolaminskega impregnacijskega pripravka ne vpliva statistično značilno na mokri navzem. Po drugi strani, pa smo višje mokre navzeme določili pri smrekovih vzorcih, nekoliko nižje mokre navzeme pa pri bukovih vzorcih.

Na suhi navzem etanolamina v les imajo vpliv naslednji dejavniki: koncentracija etanolaminske raztopine, lesna vrste in postopke kondicioniranja lesa po impregnaciji.

Ne glede na postopek uravnovešanja je ravnovesna vlažnost z etanolaminom impregniranega lesa v večini primerov višja od ravnovesne vlažnosti kontrolnih vzorcev.

6 POVZETEK

Les, kot gradbeni material je eden najpomembnejših, ki še pridobiva na pomenu. Ima veliko možnosti uporabe, a ga njegova obstojnost omejuje. Obstojnost lesa lahko učinkovito podaljšamo z ustreznimi konstrukcijskimi rešitvami ali s kemično zaščito lesa. Eden najpomembnejših biocidov za zaščito lesa je baker. Bakrove učinkovine se brez dodatkov žal močno izpirajo iz lesa. Sprva so mu zato dodajali kromove spojine, danes pa smo jih zamenjali z amini in karboksilnimi kislinami, ki so najmanj škodljiva človeku in naravi.

V tem raziskovalnem delu smo želeli ugotoviti spremembo mehanskih lastnost, spremembe dimenzije in ravnovesno vlažnost lesa, impregniranega z dvema različnima koncentracijama vodne raztopine etanolamina. Uporabili smo vakuumski postopek impregnacije in gravimetrično določili njihov navzem. Vzorce bukve in smreke smo kondicionirali (sušili) s štirimi različnimi metodami (en84, v foliji, na zraku in v sušilniku).

Ugotovili smo, da nižja kot je koncentracija raztopine, večji je navzem impregniranih vzorcev.

Pri uravnovešanju vzorcev, so imeli najvišjo ravnovesno vlažnost vzorci impregirani z 10 % raztopino in kondicionirani v foliji. Najmanj pa vzorci sušenih v sušilniku pri obeh koncentracijah. Celo nižjo kot kontrolni vzorci, vendar samo pri 65 % relativni zračni vlažnosti. Pri 87 % relativni zračni vlažnosti so imeli pa kontrolni vzorci nižjo.

Ugotovili smo tudi, da sprememba dimenzije zelo varira od vrste lesa, koncentracije in ravnovesne vlažnosti. Pri smrekovini se najbolj nabreknejo vzorci sušeni v sušilniku pri 10 % koncentraciji in na zraku pri obeh koncentracijah, najmanj kontrolni, sledijo njim vzorci zaviti v folijo in kondicionirani po standardu EN84. Pri bukovini so imeli največji nabrek vzorci kondicionirani na zraku, najnižjo, celo negativno pa vzorci kondicionirani v foliji pri obeh koncentracijah. Pri višji relativni zračni vlažnosti pa približno enako kot kontrolni vzorci.

Pri mehanskih lastnostih so imeli vsi boljše lastnosti kot kontrolni vzorci. Približno so imeli vsi enako, najboljše si se odnesli vzorci kondicionirani v foliji in pri bukovini še na zraku.

7 VIRI

- Allen R., Braybrook L., Glenham S., Skull A., Smith Z., Wood G. 1992. Chemical safety data sheets. Vol. 5: Flammable Chemicals. Cambridge, The Royal Society of Chemistry: 33–96
- Benko R., Kervina H. L., Gruden M. 1987. Patologija lesa. Lesna fitopatologija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 122 str.
- Claus I., Kordsachia O., Schröder N., Karstens T. 2004. Monoethanolamine (MEA) pulping of beech and spruce wood for production of dissolving pulp. *Holzforschung*, 58: 573–580
- Čufar K. 2006. Anatomija lesa: univerzitetni učbenik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.
- Dinwoodie J. M. 2000. Timber : its nature and behaviour. London, E & FN Spon: 257 str.
- Gerardin P. 2004. Contribution of gums to natural durability of *Prosopis africana* heartwood. *Holzforschung*, 58: 39–44
- Grosser D., Teetz W. 1985. Einheimische Nutzhölzer (Loseblattsammlung). Vorkommen, Baum und Stammform, Holzbeschreibung, Eigenschaften, verwendung. Bonn, Central Marketinggesellschaft der deutschen Agrarwirtschaft m.b.H und Arbeitsgemeinschaft Holz e.V.: 84 str.
- Hartford W.H. 1972. Chemical and physical properties of wood preservatives and wood preservative system. V: Wood deterioration and its prevention by preservative treatments. Vol. 2. Preservative and preservative systems. Syracuse, Syracuse University Press: 154 str.
- Hillier B., Murphy R. 2000. Life Cycle Assessment Benefits of Preserved Wood. *Journal of the Institute of Wood Science*, 16: 170–175
- Humar M., Petrič M. 2000a. Determination of ethanolamine in impregnated wood. The internacional Research Group on WoodPreservation. Document IRG/WP 00-2098: 10 str.
- Humar M., Petrič M. 2000b. Ethanolamine in impregnated wood. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 61: 143–159
- Humar M., Petrič M., Pohleven F., Despot R. 2003. Upgrading of spruce wood with ethanolamine treatment. *Holz Roh- Werkst.*, 61, 1: 29–34

Humar M. 2004. Zaščita lesa danes-jutri. Les, 56, 6: 184–185

Humar M. 2006. Sorpcijske lastnosti lesa zaščenega s pripravki na osnovi bakra in etanolamina. Les, 58, 11/12: 348–352

Humar M. 2008. Zaščita lesa - Kam gremo? V: Gradnja z lesom - izziv in priložnost za Slovenijo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 102–107

Hughes A.S. 1999. Studies on the fixation mechanisms, distribution and biological performance of copper based timber preservatives. – Doktorska disertacija. London, Imperial College of Science, Tehnollogy and Medicine: 313 str.

Kervina – Hamović L. 1990. Zaščita lesa. Ljubljana, BF – Oddelek za lesarstvo: 125–126

Kranjc K. 2003. Nova evropska kemijska zakonodaja-REACH. Standardizacija, 9: 11–13

Lesar B., Humar M., Zupančič M. 2008. Mikroskopska analiza lesa, impregniranega z vodno emulzijo montana voska. Les, 60, 9: 320–326

Loconto P.R., Pan Y. Kamdem D.P. 1998. Isolation and recovery of 2-aminoethanol, N-methyl-2-aminoethanol and N,N-Dimethyl-2-aminoethanol from a copper amine aqueous matrix and from amine treated sawdust using liquid-liquid extraction and liquid-solid extraction combined with capillary gas chromatography-ion-trap mass spectrometry. Journal of Chromatographic Science 36: 29–305

Lewis R.J. 1992. Sax's dangerous properties of industrial materials. Vol. 1, Vol. 2, Vol. 3. New York, Van Nostrand Reinhold: 4339 str.

Panshin A.J., De Zeeuw C. 1980. Textbook of wood technology. Vol. 1. Structure, identification, properties and uses of the commercial wood of the United States and Canada. 4th edition. New York, McGraw – Hill Book Company: 722 str.

Pohleven, F. 1998. The current status of use of wood preservatives in some European countries – summary of the answers to the questionnaire – the last correction in February 1998. Bruselj, COST E2, 2 str.

Preston A. 2000. Wood preservation-Trends of today that will influence the industry tomorrow. Forest Products Journal, 50: 12–19

SIST EN 335-1/2. Trajnost lesa in lesnih materialov – Definicija razredov ogroženosti pred biološkim napadom 1. del: Splošno. 2006: 23 str.

SIST EN 350-2. Durability of wood and wood-based products, Natural durability of solid wood – part2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe: 42 str.

SIST EN 84. Wood preservatives: Accelerated ageing of treated wood prior to biological testing. 1994. 16 str.

Vavkman M. 2006. Sorpcijske lastnosti lesa zaščitenega z bakrovimi pripravki ali termično modifikacijo v vakuumu : diplomsko delo (visokošolski strokovni študij) . Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 58 str.

Voh B. 2001. Izpiranje spojine borove kisline in etanolamina iz lesa, premazanega z lazurami. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 60 str.

Zhang J., Kamdem D.P. 2000. FTIR characterization of copper ethanolamine – wood interaction for wood preservation. *Holzforschung* 54: 119–122

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Mihi Humarju za pomoč in usmerjanje pri pisanju diplomskega projekta, ter mlademu raziskovalcu Boštjanu Lesarju za pomoč pri eksperimentalnem delu diplomskega projekta.

Hvala tudi prof. Dr. Željku Gorišku za strokovno recenzijo diplomskega projekta in za vse nasvete, ki sem jih uporabil pri pisanju projekta.

V veliki meri pa se zahvaljujem domačim in puncu Valeriji, ki so mi ves čas stali ob strani in verjeli vame.