

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Andrej PROTIĆ

**VPLIV UMETNEGA POSPEŠENEGA STARANJA
NA IZBRANE LASTNOSTI DOMAČIH LESNIH
VRST**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Andrej PROTIĆ

**VPLIV UMETNEGA POSPEŠENEGA STARANJA NA IZBRANE
LASTNOSTI DOMAČIH LESNIH VRST**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**IMPACT OF ACCELERATED ARTIFICIAL AGEING ON
SELECTED PROPERTIES OF DOMESTIC WOOD SPECIES**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je bilo opravljeno ob koncu visokošolskega strokovnega študija na Biotehniški fakulteti, na Oddelku za lesarstvo. Delo je bilo opravljeno na Katedri za tehnologijo lesa.

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

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Andrej Protić

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*852.2
KG	umetno pospešeno staranje/dimenzijska stabilnost/napake/obarvanja/domače lesne vrste
AV	PROTIĆ Andrej
SA	GORIŠEK, Željko (mentor) / STRAŽE, Aleš (somentor) / LESAR, Boštjan (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2016
IN	VPLIV UMETNEGA POSPEŠENEGA STARANJA NA IZBRANE LASTNOSTI DOMAČIH LESNIH VRST
TD	Diplomsko delo (Visokošolski strokovni študij)
OP	VIII, 31 str., 6 pregl., 31 sl., 16 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Proučevali smo vpliv nihajočih klimatskih razmer na staranje lesa. Pri tem smo uporabili dva predstavnika iglavcev (smrekovina, macesnovina), ter tri predstavnike listavcev (hrastovina, jesenovina, bukovina). Spremenljive klimatske razmere smo simulirali v napravi za umetno pospešeno staranje (UPS) v 500 ciklih obremenjevanja. Med cikličnimi spremembami smo spremljali maso, dimenzijske spremembe radialnih in tangencialnih preizkušancev, dinamiko barvnih sprememb ter čas pojavljanja in razširjenost razpok in veženja. Hrastovina in macesnovina sta imeli najboljšo oceno. Pri smrekovini je kot pomembna izstopala orientacija z velikimi razpokami tangencialnih preizkušancev. Dimenzijsko najmanj stabilna je bila bukovina, tudi z izrazito koritavostjo. Barvne in dimenzijske spremembe so bile najintenzivnejše po prvem intervalu izpostavitve.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs

DC UDC 630*852.2

CX accelerated artificial ageing/dimensional stability/defect/discolouration/domestic wood species

AU Protić Andrej

AA GORIŠEK, Željko (supervisor) / STRAŽE, Aleš (co-advisor) / LESAR, Boštjan (reviewer)

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

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

PY 2016

TY IMPACT OF ACCELERATED ARTIFICIAL AGEING ON SELECTED PROPERTIES OF DOMESTIC WOOD SPECIES

DT Graduation thesis (Higher professional studies)

NO VIII, 31 pag., 6 tab., 31 fig., 16 ref.

LA sl

Al sl/en

AB We studied the effects of changing climatic conditions, which have influence on the aging process of wood. We used two representatives of softwoods (spruce wood, larch wood), and three representatives of hardwoods (oak wood, ash wood, beech wood). Variable climatic conditions were simulated in a device for artificial accelerated aging (QUV weathering tester) over the course of 500 cycles. During the cycles, we measured the mass, dimensional changes in radial and tangential direction, the dynamics of color variation, and the time of occurrence and prevalence of cracks and warping. Oak wood and larch wood had the best overall assessment. On spruce samples it stood out large cracks that have e on tangential oriented samples. As expected, beech wood was the least dimensionally stable, also with distinct cupping. The color changes and dimensional changes, have been the most noticeable after the first phase of exposure.

KAZALO VSEBINE

	Str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VI
KAZALO SLIK	VII
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	2
1.2 CILJI	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 ZGRADBA LESA	3
2.2 GOSTOTA LESA	4
2.3 RAVNOVESNA VLAŽNOST LESA- NIHANJE RAVNOVESNE VLAŽNOSTI LESA V OKOLJU IN V UPORABI	6
2.4 KRČENJE IN NABREKANJE LESA	7
2.5 PREČNA KRČITVENA ANIZOTROPIJA	8
2.6 BARVA LESA	8
2.6.1 Sončna svetloba	8
2.7 TRAJNOST LESA	9
3 MATERIALI IN METODE	10
3.1 MATERIALI	10
3.2 METODE	10
3.2.1 Postopek umetnega pospešenega staranja (UPS)	10
3.2.2 Ugotavljanje dimenzij in mase	11
3.2.3 Merjenje barve	12
3.2.4 Ugotavljanje poškodb	13
4 REZULTATI	14
4.1 SPREMEMBA MASE	14
4.2 SPREMEMBA DIMENZIJ	16
4.3 SPREMEMBA BARVE	18
4.3.1 Celotna sprememba barve	20
4.4 SPREMEMBA GEOMETRIJE PREIZKUŠANCEV (VEŽENJA)	22
4.5 VIZUALNO OCENJEVANJE POVRŠINSKIH RAZPOK	24
5 RAZPRAVA	26
6 SKLEPI	30
7 VIRI	31
ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Razvrstitev nekaterih lesnih vrst po gostotnih razredih(Gorišek)	5
Preglednica 2: Uporabnost lesnih vrst po gostotnih razredih (Gorišek)	5
Preglednica 3: Razredi ogroženosti glede na mesto uporabe, vlažnosti lesa in možnosti bioloških okužb z insekti ali glivami (SIST EN 335-2)	6
Preglednica 4: Gostota r_{12} pri lesni vlažnosti $u = 12\%$, volumenski β_V , radialni β_R in tangencialni β_T skrček za nekatere domače iglavce in listavce	7
Preglednica 5: Primerjava absolutnih vrednosti (ΔE^*) z vizualno oceno barvnih razlik (DIN 5033)	12
Preglednica 6: Tabela primerjav proučevanih lesnih vrst glede sprememb mase, gostote (ρ), ter razlike sprememb mase med različnima orientacijama v zadnjem obdobju (R, T)	27

KAZALO SLIK

Slika 1:	Preizkušanci pred drugo fazo postopka UPS, tj. fazo UV in IR sevanja	11
Slika 2:	LAB SYSTEM določa svetlost in barvo v tridimenzionalnem koordinatnem sistemu	13
Slika 3:	Preizkušanci pripravljeni za vizualno ocenjevanje	13
Slika 4:	Sprememba mase Δm (%) in trend – macesnovine med postopkom UPS	14
Slika 5:	Sprememba mase Δm (%) in trend – smrekovine med postopkom UPS	15
Slika 6:	Sprememba mase Δm (%) in trend – hrastovine med postopkom UPS	15
Slika 7:	Sprememba mase Δm (%) in trend – jesenovine med postopkom UPS	15
Slika 8:	Sprememba mase Δm (%) in trend – bukovine med postopkom UPS	16
Slika 9:	Nabrekanje macesnovine v radialni (α_R) smeri (%) po 500 urah UPS.	16
Slika 10:	abrekanje smrekovine v radialni (α_R) in tangencialni (α_T) smeri (%) po 500 urah UPS	17
Slika 11:	Nabrekanje hrastovine v radialni (α_R) in tangencialni (α_T) smeri (%) po 500 urah UPS	17
Slika 12:	Nabrekanje jesenovine v radialni (α_R) smeri (%) po 500 urah UPS	17
Slika 13:	Nabrekanje bukovine v radialni (α_R) in tangencialni (α_T) smeri (%) po 500 urah UPS	18
Slika 14:	Povprečne barvne spremembe macesnovine v postopku UPS	18
Slika 15:	Povprečne barvne spremembe smrekovine v postopku UPS	19
Slika 16:	Povprečne barvne spremembe hrastovine v postopku UPS	19
Slika 17:	Povprečne barvne spremembe jesenovine v postopku UPS	19
Slika 18:	Povprečne barvne spremembe bukovine v postopku UPS	20
Slika 19:	Celotna sprememba barve (ΔE) – macesnovine med postopkom UPS	20
Slika 20:	Celotna sprememba barve (ΔE) – smrekovine med postopkom UPS	21
Slika 21:	Celotna sprememba barve (ΔE) – hrastovine med postopkom UPS	21
Slika 22:	Celotna sprememba barve (ΔE) – jesenovine med postopkom UPS	21
Slika 23:	Celotna sprememba barve (ΔE) – bukovine med postopkom UPS	22
Slika 24:	Vizualna ocena barvnih sprememb preizkušancev po 100 in 500 urah obremenjevanja z UPS	22
Slika 25:	Sprememba geometrije preizkušancev po posameznih intervalih izpostavitve UPS- u za iglavce	23
Slika 26:	Sprememba geometrije preizkušancev po posameznih intervalih izpostavitve UPS- u za listavce	23
Slika 27:	Značilne poškodbe različnih lesnih vrst in različnih orientacij po 100 urah obremenjevanja z UPS	24
Slika 28:	Značilne poškodbe različnih lesnih vrst in različnih orientacij po 500 urah obremenjevanja z UPS	24
Slika 29:	Primerjava spremembe mase (Δm) za proučevane lesne vrste	26

Slika 30: Primerjava nabrekov (αR) za proučevane lesne vrste	28
Slika 31: Primerjava celotne barvne razlike ΔE za proučevane lesne vrste	29

1 UVOD

Les kot gradbeni material se je uporabljal že v pradavnih časih. Njegova bistvena prednost je, da se nahaja povsod okoli nas, v skoraj vseh okoljih, kjer se je človek naselil. Druga bistvena prednost pred ostalimi materiali je relativno enostavna obdelava. Danes pa je zelo pomembna prednost majhna poraba energije pri njegovi predelavi, če ga primerjamo z izdelki iz drugih surovin. Če pogledamo še ekološko plat, lesni izdelki v obdobju uporabe podaljšajo skladiščenje CO₂.

Les v primerjavi z drugimi materiali združuje več fizikalnih lastnosti v celoto in sicer: nosilnost, elastičnost, žilavost, gostoto, togost, toplotno izolativnost, zvočno izolativnost, akustičnost in električno neprevodnost.

Človek se je skozi stoletja uporabe lesa naučil, da se za različne namene vgradnje uporablja lesna vrsta, ki je ne samo ekonomsko bolj primerna, temveč tudi odpornostno bolj primerna mestu vgradnje oziroma namenu vgradnje.

Marsikomu so znani sakralni objekti, ki stojijo tudi 1000 let, pa kljub temu še kljubujejo zobu časa. Pri tem mislim predvsem na ostrešja, katera nosijo težko kritino. Ker so lastniki skrbeli, da streha ni zamakala, se ostrešje ni navlažilo. Največji sovražnik vgrajenega lesa je vlaga, ki povzroči, da se les prekomerno navlaži, posledica tega pa je večja verjetnost okužb z glivami in razkroja. Trajnost lesenih mostov in drugih objektov, ki niso bili ustrezno grajeni in so bili izpostavljeni dolgotrajnim vremenskim vplivom je zato relativno kratka. Po drugi strani pa so lep primer pravilne in dolgotrajne uporabe lesa, ki je že stoletja stalno potopljen v morju, piloti v Benetkah, za temelje palač in vil, oziroma kar skoraj celotnega mestnega jedra. Seveda je v tem primeru uporabljena lesna vrsta, ki je odporna na zahtevne klimatske pogoje, to pa so borovina, les jelše, macesnovina in hrastovina iz Dalmacije, Istre ter Krasa (Torelli, 1998). Najtežjim pogojem je izpostavljen les, ki ga uporabljamo za stebre pomolov, ki so zabiti v morsko ali drugo vodno dno, obenem pa so delno potopljeni v vodi, delno se navlažujejo s plimo ali drugim povečanjem vodostaja, delno pa je les izpostavljen običajnim klimatskim razmeram. Največje poškodbe lesa se zgodijo ravno na mejnem območju voda-zrak ali na stiku z zemljo.

Na intenzivnejše staranje lesa vpliva tudi UV žarčenje, ki ga povzročajo sončni žarki direktno ali indirektno. Ta proces je seveda bistveno daljši, vendar pa ni zanemarljiv.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Lesni izdelki se vgrajujejo v objekte kot nosilni, dekorativni, zvočno ali toplotno izolativni izdelki. Glede na namen uporabe, je pomemben dejavnik klima v okolju, v katerem je lesni izdelek vgrajen. Bolj kot je v nekem okolju klima konstantna, lažje izberemo primerno lesno vrsto. Poseben primer pa predstavljajo mejna območja spremenjenih klimatskih pogojev, kjer se pokaže prava naravna odpornost in trajnost lesa. Intenzivne klimatske razmere (kot na primer dež z vetrom in prehodi sončnega in deževnega obdobja) zmanjšujejo kakovost vgrajenega lesa in pospešujejo njegovo staranje.

Les je porozen, higroskopen material, kar pomeni, da je sposoben sprejemati in oddajati vlago zaradi spreminjajoče se klime. Zaradi vlažnostnega gradienta in anizotropne narave lesa prihaja v procesu sušenja in navlaževanja do napetosti, ki ob prekoračitvi trdnosti lesa povzročajo nastanek razpok in distorzij (Gorišek in sod., 1994). Razpoke pospešijo proces poškodovanja lesa in s tem zmanjšajo trajnost lesa.

Prevodnost oziroma permeabilnost lesa za masni pretok fluida je povezana s poroznostjo lesa, zato je pomembno, kako in koliko so izpostavljena čela lesnih elementov, oziroma kolikšna je njihova direktna izpostavljenost proti prehitremu izsuševanju in navlaževanju.

V območjih, kjer je les direktno izpostavljen atmosferilijam, se pojavi še problem UV-sevanja. Barvne spremembe so prvi znak staranja lesa, zaradi sprememb vlažnosti pa se pojavlja krčenje in nabrekanje, ki lahko povzroči razpoke in veženje.

1.2 CILJI

Pri poplavi ponudbe tako domačih, kot tudi tujih lesnih vrst, smo postavljeni v dilemo o pravilni izbiri surovine. Poleg pravilne izbire lesne vrste, je potrebno pred vgradnjo poznati klimatske pogoje in mesto vgradnje lesnih izdelkov. Poznavanje klimatskih pogojev nam bo omogočilo, da bomo lesne izdelke osušili na primerno vlažnost. S tem se bomo izognili nevarnosti delovanja lesa, oziroma bomo delovanje omilili. Izognili pa se bomo tudi poškodbam, napakam in ne nazadnje reklamacijam. Posledicam delovanja lesa zaradi klimatskih pogojev, se lahko izognemo tudi z upoštevanjem zakonitosti delovanja lesa v različnih prerezi (radialna in tangencialna orientacija lesa). V kolikor je le mogoče, se izogibamo vgradnje reakcijskega, ter juvenilnega lesa na mestih, kjer pričakujemo povečano delovanje atmosferilij. Ob vsem tem pa je potrebno tudi poznavanje konstrukcijskih zakonitosti in pravilne vgradnje.

Cilj raziskave je ugotoviti vpliv nihajočih klimatskih razmer na različne lesne vrste in različne orientacije preizkušancev. Ugotavljati želimo eventualne spremembe vlažnosti lesa, spremembe dimenzij po preseku, velikost in obseg napak (poškodb), ter dinamiko spremembe barve. Na osnovi predvidevanj in opazovanih posledic umetno pospešenega staranja (UPS), pa se primerno odločiti za zagotovitev primerne vlažnosti lesa glede na namen in mesto uporabe, obenem pa tudi na pravilno izbiro lesne vrste, z namenom podaljšati trajnost izdelkom, ki jih vgrajujemo.

2 PREGLED OBJAV

2.1 ZGRADBA LESA

Les je heterogen, anizotropen material. Les je heterogen, ker ga sestavlja več različnih specializiranih tkiv, heterogenost pa še povečujejo razlike med ranim in kasnim lesom, mladostnim in zrelim lesom, beljavo in jedrovino ter pojav reakcijskega lesa in najrazličnejših anomalij (grče itd.). Les je anizotropen predvsem zaradi različne usmerjenosti tkiv, ki ga gradijo: - osnovno vlaknato tkivo in trahejno omrežje potekata longitudinalno oz. aksialno, trakovno tkivo pa radialno. Anizotropnost je tudi posledica značilnega priraščanja v plasteh (Čufar, 2002). Zaradi takšne zgradbe lahko les obravnavamo kot ortotropen material, s svojskimi in neodvisnimi lastnostmi v smeri treh medsebojno bolj ali manj pravokotnih osi (vzdolžna, radialna, tangencialna).

Les je kapilarna, porozna snov, zgrajena iz različnih celic. K poroznosti poleg lumnov prispevajo še manjše odprtine v celični steni, povezovalni pikenjski sistem ter intercelularni prostori (Gorišek, 2009).

Zaradi svoje specifične kemične zgradbe in velike notranje površine, ki jo oblikujejo makro in mikro kapilare v celični steni, je les higroskopen ter zato vsebuje več ali manj vode. Zaradi spreminjajočih se klimatskih razmer niha tudi lesna vlažnost (Gorišek, 2009). Od stenskih sestavin so najbolj higroskopske polioze (hemiceluloze), sledijo celuloza in lignin ter nekateri ekstraktivi.

Osnovna kemijska zgradba olesenele celične stene, kot navajata Fengel in Wegener, 1989 je naslednja:

- Celuloza: v normalnem, zrelem lesu iglavcev in listavcev, je delež celuloze dokaj stalen (42 ± 2 %). Zaradi kemičnih in fizikalnih lastnosti, kakor tudi makromolekularne zgradbe predstavlja glavno sestavino celičnih sten lesa. Vloga celuloze v lesu je predvsem mehanska. Na morfološkem nivoju predstavlja celuloza visokoorganiziran fibrilaren sistem. Celulozna mikrofibrila je dolga in tanka kristalinična entiteta z visokoanizotropnimi mehanskimi lastnostmi. Celuloza prispeva zaradi higroskopsnosti k sorpciji 47 %; kristaliti celuloznega skeleta vežejo vodo le na površini, amorfni del pa je bolj higroskopen (Gorišek, 1994).
- Polioze – hemiceluloze so necelulozni polisaharidi. Za razliko od celuloze jih sestavljajo različne sladkorne enote (pentoze, heksoze, uronske kisline in deoksi heksoze) (Fengel in Wegener, 1989). V splošnem jih les vsebuje med 20 – 30 %. Listavci in iglavci se razlikujejo po vsebnosti polioz in po zastopanosti posameznih tipov hemiceluloz. Funkcija hemiceluloz v oleseneli celični steni je posledica njihove fizikalne kot tudi kemične zgradbe. V primerjavi s celulozo imajo manjšo molekulsko maso, ne tvorijo kristalnih struktur, proste hidroksilne skupine pa se z vodikovimi vezmi lahko povežejo z vodo. Hemiceluloze so zaradi številnih

razpoložljivih hidroksilnih skupin najbolj higroskopne snovi olesenele celične stene in prispevajo k skupni sorpciji 37 % (Gorišek, 1994).

- Lignin je mešan polimer iz treh osnovnih gradnikov (delež v lesu je 20 – 35 %). Lignin ni kemična spojina v klasičnem smislu, ker nima enotne strukture niti določljive relativne molekulske mase (Čufar, 2002). Normalni zreli les iglavcev vsebuje 30 ± 4 % lignina. Lignin se pojavlja v celičnih stenah tkiv, ki imajo oporno in / ali prevodno funkcijo. Z vgradnjo lignina v celično steno, le ta pridobi trdnost, trdoto, gostoto in hidrofobnost. Lignin prispeva k skupni sorpciji 16 % (Gorišek, 1994).
- Lesni ekstraktivi se pretežno nahajajo v lumnih in celičnih stenah, ter predstavljajo zelo širok spekter kemičnih spojin (delež 1 – 4 %). Ekstraktivi nekoliko zmanjšujejo poroznost in zvišujejo gostoto. Vsebnost ekstraktivov, ki se vrinejo v celično steno pa vpliva na ravnovesno vlažnost lesa in na dimenzijsko stabilnost (Čufar, 2002).
- Pektin in pepel (delež od 0,1 – 0,5 %; med elementi prevladuje kalcij, kalij, magnezij)

Potem, ko so se odložili celuloza in hemiceluloza, lignin prepoji medcelične prostore in prostore v celični steni. Normalni zreli les iglavcev vsebuje 30 ± 4 % lignina.

V lesu se nahajajo tudi druge snovi, ki jih je bistveno manj in zato ne vplivajo toliko na fizikalno kemijske lastnosti lesa (npr. tanini, lignani,...).

Celuloza določa v lesu natezno in upogibno trdnost, lignin pa tlačno trdnost. Spremenljiva vsebnost ali razporeditev obeh polimerov v celični steni vpliva na mehanske lastnosti lesa (Oven, 2011)

2.2 GOSTOTA LESA

Gostota je v fiziki definirana kot masa na enoto volumna $\rho = dm/dV [kg/m^3]$. Na gostoto lesa vpliva zgradba lesa, tj. širina branike, delež kasnega lesa, deleži različnih anatomskih tkiv, ter vrsta in količina ekstraktivov in kemična zgradba. Na gostoto ima pomemben vpliv tudi vlažnost lesa. Zaradi variabilnosti zgradbe lesa se spreminja gostota v prečni, kakor tudi v vzdolžni smeri rasti. Velike razlike so tudi v okviru iste branike: pri iglavcih je razmerje gostot ranega in kasnega lesa od 1 : 2,3 pri jelovini, do razmerja 1 : 4,0 pri borovini, medtem ko je pri listavcih z venčasto poroznim lesom razmerje približno 1 : 2,5; pri difuzno poroznih listavcih pa je to razmerje precej manjše. Pri bukovini znaša to razmerje 1 : 1,76 (Preglednica 1).

Gostota lesa varira v zelo širokih mejah in sicer (velja za absolutno suh les) od $100 kg/m^3$ (pogojena z možnostjo nujenja še zadostne mehanske opore rastočemu drevesu), medtem ko je zgornja meja pri $1400 kg/m^3$. Pri takšni gostoti je les še sposoben zagotoviti zadosten transport vode iz koreninskega sistema v krošnjo drevesa. Gostota lesa se spreminja v nihajočih se klimatskih razmerah, saj se zaradi higroskopnosti lesa spreminja tudi njegova vlažnost (Gorišek, 2009).

Preglednica 1: Razvrstitev nekaterih lesnih vrst po gostotnih razredih (Gorišek, 2009)

OCENA	GOSTOTA ρ_0 (kg/m ³)	LESNA VRSTA
Izjemno nizka	< 200	balza
Zelo nizka	200 - 300	zeleni bor
Nizka	300 - 450	smreka, jelka, bor, topol, jelša
Srednja	450 - 600	macesen, kostanj, lipa, češnja
Srednje visoka	600 - 700	javor, breza, bukev, hrast, jesen
Visoka	700 - 800	robinija, gaber
Zelo visoka	800 - 1000	bangossi, palisander, evkalipt
Izjemno visoka	> 1000	gvajak, ebenovina

Velike razlike v gostoti različnih lesnih vrst ne izvirajo iz razlik v gostoti celične stene, temveč je vzrok v zelo različnem deležu celičnih sten in lumnov, ki povzročajo poroznost lesa. K variabilnosti pa prispevajo še različni deleži parenhimskega tkiva, trakov, trahej in smolnih kanalov.

Od vseh fizikalnih in mehanskih lastnosti lesa je bila najprej in najpogosteje proučevana gostota, ki je v najtesnejši zvezi z mnogimi drugimi lastnostmi, ob enem pa tudi kot enostaven pokazatelj za napoved uporabnosti lesa (Straže, 2015)(Preglednica 2).

Preglednica 2: Uporabnost lesnih vrst po gostotnih razredih (Gorišek, 2009)

OCENA	GOSTOTA ρ_0 (kg/m ³)	NAMEN UPORABE
Izjemno in zelo nizka	< 200, 200 - 300	izolacijske plošče, luščen
Nizka	300 - 450	furnir, lažji okvirji
Srednja	450 - 600	Iverne plošče, rezan in luščen furnir, pohištvo in drugi izd.
Srednje visoka	600 - 700	iverne plošče, rezan in luščen furnir, vezan les, notranje in zunanje obloge, stavbno pohištvo, talne obloge, pohištvo
Visoka in zelo visoka	700 - 800	težke konstrukcije

2.3 RAVNOVESNA VLAŽNOST LESA - Nihanje ravnovesne vlažnosti lesa v okolju in v uporabi

Pri vgradnji lesa je potrebno strogo paziti, da je lesna vlažnost enaka ravnovesni vlažnosti, ki ustreza povprečnim klimatskim razmeram na mestu vgradnje. Delovanje lesa in od njega odvisna dimenzijska stabilnost sta odvisni od inherentnih lastnosti, tj. določeni vrsti vrojenih lastnosti (ravnovesna vlažnost, uravnovesna hitrost, skrček oz. nabrek,...) in

nespecifičnih, ki veljajo za vse vrste enako (dimenzija, orientiranost, način razžagovanja, potek vlaken, konstrukcija, klima okolja,...) (Gorišek, 2009).

Ravnovesna vlažnost lesa je v tesni povezavi s temperaturo in relativno zračno vlažnostjo okolja, v katerem je les vgrajen (v normalni klimi $\phi = 65\%$, $T = 20^{\circ}\text{C}$ je približno 12%). V praksi uporabljamo za ugotavljanje ravnovesne vlažnosti nomogram, ki velja za smrekovino -*Picea Sitchensis Carr.* Ta nomogram uporabljamo z zadovoljivo natančnostjo tudi za ostale srednje goste lesne vrste (Gorišek, 2009).

Delovanja lesa v spreminjajočih klimatskih razmerah ne moremo popolnoma preprečiti, lahko pa njegovo krčenje in nabrekanje omilimo: primerna osušitev lesa mestu vgradnje, primerna izbira stabilnejše lesne vrste, ter izbira usmerjenih elementov (les v radialni orientaciji je stabilnejši od lesa v tangencialni orientaciji), izvedba pravilnega načina vgradnje.

Najvišja vlažnost, ki še zagotavlja varnost pred okužbami z glivami je okoli $18 - 20\%$ vlažnosti (Preglednica 3).

Preglednica 3: Evropski razredi izpostavitve lesa glede na povzročitelje ogroženosti (SIST EN 335-1/2, 2006)

RAZRED UPORABE	SPLOŠNE RAZMERE NA MESTU UPORABE	OPIS VLAŽNOSTI ZARADI IZPOSTAVLJENOSTI NAVLAŽEVANJU NA MESTU UPORABE	LESNI ŠKODLJIVCI	
			Insekti	Glive
1	Znotraj, pod streho	suho	+	-
2	Zunaj, pod streho	Občasno vlažen	+	+
3	3.1 Na prostem, nad zemljo z ustrezno konstrukcijsko zaščito	Občasno vlažen	+	+
	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	+	+
	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	+	+

Ravnovesna vlažnost je odvisna od geografske lokacije mesta vgradnje (že na območju Slovenije so razlike ravnovesne vlažnosti od Primorske do Gorenjske velike, na širšem geografskem območju pa še bistveno večje). Ciljna vlažnost pa je vlažnost, h kateri stremimo, oziroma se ji želimo čim bolj približati (glede na lokacijo vgradnje).

Evropski standard SIST EN 335-1/2 (Preglednica 3) zahteva za izdelke, ki se vgrajujejo za zunanjo uporabo, ravnovesno vlažnost (u_r) = 13 – 17 % (Gorišek, 2009).

2.4 KRČENJE IN NABREKANJE LESA

Volumensko krčenje in nabrekanje lesa je enako volumnu oddane ali sprejete higroskopske vode, upošteva njeno zgostitev v celični steni. Zaradi izrazite anatomske, kemične in fizikalne anizotropije na vseh nivojih, tj. makroskopskem, mikroskopskem, submikroskopskem in makromolekularnem nivoju, sta tudi krčenje in nabrekanje glede na anatomske smeri različna. Krčenje in nabrekanje sta v longitudinalni smeri zanemarljiva. V grobem je razmerje skrčkov v posameznih smereh, tj. longitudinalni, radialni ter tangencialni 1 : 10 : 20. Za pomembnejše evropske lesne vrste so vrednosti krčenja podane v preglednici 4. Poleg vlažnostnega gradienta bistveno vpliva h generiranju napetosti tudi prečna krčitvena anizotropija, ki ob prekoračitvi prečne natezne trdnosti lesa povzroča razpoke in distorzije (Gorišek, 2009) (Preglednica 4).

Preglednica 4: Gostota r_{12} pri lesni vlažnosti $u = 12$ %, volumenski β_V , radialni β_R , in tangencialni β_T skrček za nekatere domače iglavce in listavce (Gorišek, 2009)

Lesna vrsta	Gostota: r_{12} (kg/m^3)	Skrček Volumenski $\beta_V(\%)$	Skrček Radialni $\beta_R(\%)$	Skrček Tangencialni $\beta_T(\%)$
IGLAVCI				
Jelka	450	10,2 – 11,5	2,9 – 3,8	7,2 – 7,6
Macesen	590	11,4 – 15,0	3,3 – 4,3	7,8 – 10,4
Smreka	470	11,6 – 12,0	3,5 – 3,7	7,8 – 8,0
Bor, rdeči	520	11,2 – 12,4	4,0 – 3,3	7,5 – 8,0
Duglazija	510	11,5 – 12,5	4,2 – 4,8	7,0 – 7,4
Tisa	670	8,4 – 9,2	3,7	5,3
LISTAVCI				
Javor	630	11,5 – 11,8	3,0	8,0
Kostanj, divji	550	11,0	3,3	6,8
Jelša	550	12,6 – 14,2	4,4	9,3
Breza	650	13,7 – 14,2	5,3	7,8
Bukev	720	14,0 – 21,0	5,8	11,8
Hrast	690	12,2 – 15,0	3,5 – 4,7	7,7 – 10,0
Jesen	690	12,8 – 13,6	4,6 – 5,0	8,0 – 8,4

Med volumenskim, radialnim in tangencialnim nabrekom in gostoto obstaja pozitivna odvisnost. Stabilizirajoči vpliv jedrovinskih snovi je pri redkejših lesovih večji kot pri gostejših lesovih. Nabrekanje masivnega lesa je manjše od nabrekanja celičnih sten, kar je posledica vzajemnega učinka orientacije fibril, debeline posameznih slojev celičnih sten in kemične zgradbe. Zaradi pretežnega poteka mikrofibril v longitudinalni smeri, deluje

njihov zaviralni učinek v vzdolžni smeri, medtem pa se nabrekanje odraža v prečni smeri, to je radialno in tangencialno. Zaradi nehomogenosti celične stene, kar je posledica različne orientacije fibril v posameznih slojih in njihove relativne debeline, različne kemijske sestave, nabrekanja in togosti, zveza med volumenskimi in linearnimi nabrekli, ter vlažnostjo ni linearna, temveč poteka v procesu adsorpcije sigmoidno (Gorišek, 2009).

2.5 PREČNA KRČITVENA ANIZOTROPIJA

Največje dimenzijske spremembe zaradi higroskopskega krčenja se pojavijo v tangencialni smeri in sicer v celotnem higroskopskem območju od 3,5 do 15 %, v radialni smeri pa je krčenje skoraj polovico manjše in sicer od 2,4 do 9 %. Vzroke za prečno krčitveno anizotropijo lahko razdelimo v dve skupini. V prvo skupino lahko postavimo učinke kemičnih in anatomskih razlik med radialnimi in tangencialnimi stenami, v drugo skupino pa učinke anatomskih, fizikalnih in kemičnih razlik med posameznimi tkivi. V prvo skupino vzrokov spada les iglavcev s strogo orientiranimi radialnimi aksialnimi in tangencialnimi aksialnimi stenami, v drugo pa pretežno les listavcev (Gorišek, 2009).

2.6 BARVA LESA

Barva lesa je najbolj očitna vizualna lastnost lesa, ki pa ni odvisna od glavnih gradnikov celične stene, temveč od spojin, ki so v lesu v manjših količinah, to je od ekstraktivov.

Človeško oko je občutljivo na svetlobo valovnih dolžin med 400 – 700 nm. Snovi, ki absorbirajo vso ali del vidne svetlobe, se imenujejo barvne naravne snovi ali pigmenti. Atomske skupine, ki so pomembne za absorpcijo nekaterih valovnih dolžin vidne svetlobe so kromofori in auksofori (Čufar, 2002).

Ker je dojemanje barve lesa subjektivna stvar (včasih tudi stvar mode), vpliva sprememba barve na vgrajeni les in na njegovo trajnost bolj posredno (zamenjava dekorativnih oblog zaradi estetskih razlogov).

2.6.1 Sončna svetloba

Vpliv sončne energije oziroma sevanja je zelo velik na staranje lesa. Proces staranja lesa zaradi vpliva svetlobe, je odvisen od izpostavitve tako po količini, kot tudi po obsegu. UV povzroča fizikalno in kemično degradacijo, kar povzroča nastanek poškodb tudi globlje pod površino. Fotodegradacijo lesa povzroča svetloba z valovno dolžino pod 600 nm, ki prodira v les do globine 200 µm. Največji vpliv pa ima UV svetloba, ki lahko prodre v les do globine 75 µm (Hon, 1991). Od vseh glavnih sestavin lesa je najbolj občutljiv lignin, saj absorbira 80 - 95 % UV svetlobe. Degradacija lignina pa privede do tvorbe prostih radikalov in nizkomolekularnih produktov, ki se z lahkoto izpirajo s površine lesa. Posledica tega delovanja pa je barvna sprememba in kemična razgradnja lesa. Ekstraktivi

pa imajo v lesu lahko tudi lastnost antioksidanta, s tem pa zmanjšajo vpliv svetlobe (Ayadi in sod., 2003). Celuloza in hemiceluloza degradirata pri precej višjih temperaturah, kot so lahko izpostavljeni lesni izdelki na prostem, in sicer nad 280°C (Kollman in Cote, 1968). Pri dolgotrajni izpostavitvi sončnim in UV žarkom, les najprej postopoma posivi, v kasnejšem obdobju pa začne temneti. Vendar pa je ta sprememba barve le v zgornjem sloju površine in sicer 1 – 2 mm.

2.7 TRAJNOST LESA

Trajnost lesa je obdobje, v katerem les ohrani vse svoje naravne lastnosti. Odvisna je od naravne odpornosti, načina uporabe in mesta vgradnje. Trajen les je naravno bolj odporen na trohnenje in druge škodljivce. Naravna odpornost lesa je ključnega pomena za dolgo uporabo nezaščitenega lesa. Na naravno odpornost v največji meri vplivajo ekstraktivne snovi, poleg tega pa še hidrofobnost sestavin celične stene, zgradba lesa, gostota in drugo. Naravna odpornost lesa iste vrste ni vedno enaka, temveč se spreminja tako v drevesu, kot tudi med posameznimi drevesi (Pohleven, 2008). Ob primernem rokovanju, negi in pravilni vgradnji, lahko trajnost podaljšamo iz 1 – 3 let na zavidljivih 30 – 50 let. Seveda obstajajo tudi izjeme, kjer je doba uporabe preko 100 let. Na trajnost lesa najbolj vplivata dva dejavnika (v našem živlenskem okolju) in sicer ogenj in vlaga. Na vpliv ognja nimamo velikega vpliva, razen da s preventivnimi ukrepi onemogočimo neposreden kontakt z izvorom ognja.

Dejavnik vlage je bistveno večji problem z vidika trajnosti lesa. Kritična je vlažnost lesa nad cca. 20 %, kajti takrat se pričnejo ugodni pogoji za razvoj gliv (ob ustreznih temperaturnih pogojih). To pa je lahko tudi nepopravljiva škoda, še posebej, če gre za nosilne konstrukcijske elemente.

Iz vidika trajnosti lesa, spremenljiva klima (ali intenzivnost vlažnostnih in temperaturnih sprememb) vpliva na veliko lastnosti lesa. Zaradi nihanja lesne vlažnosti pod obremenitvijo, se pojavi večje lezenje obremenjenega materiala, kot v primeru konstantne vlažnosti. Posledica tega je večja deformacija.

Vpliv vlažnosti na mehanske lastnosti je na območju med 8 in 22 % vlažnosti linearna, pri višjih pa pojenjajo tako upogibna trdnost, trdota, kot tlačna trdnost (Gorišek, 2009).

Višje temperature še pospešijo slabšanje trdnostnih lastnosti (od 25 do 35 °C).

Vpliv sončne energije na trajnost ni tako velika, kot prva dva dejavnika, vendar pa ta vpliv ni zanemarljiv. Posledica sončnega sevanja ni le v povišani temperaturi, temveč v mnogo večjem vplivu UV žarčenja. Posledica UV sevanja je poškodba in razkroj lignina, dež pa ga izpere s površine. To pomeni, da je potrebno opazovati posledice delovanja UV žarkov dalj časa, da bomo opazili spremembe, tako v površini (hrapava površina), kakor tudi v spremembi barve. Les najprej posivi, v daljšem časovnem obdobju pa potemni (Gorišek, 2009).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

Vpliv spremenljivih klimatskih pogojev na staranje lesa smo proučevali na več lesnih vrstah. Kot predstavnika iglavcev smo izbrali smrekovino (*Picea abies* (L.) Karst.) in macesnovino (*Larix decidua* Mill.), od listavcev pa smo izbrali hrastovino (*Quercus rubra* L.), jesenovino (*Fraxinus excelsior* L.) ter bukovino (*Fagus silvatica* L.). Pri večini lesnih vrst smo uspeli pridobiti dve različni orientaciji preizkušancev in sicer radialno in tangencialno usmerjene. Preizkušanci so bili štiristransko poskoblani na širino 60 mm in debelino 20 mm ter pričeljeni na enotno dolžino 250 mm. Pri izbiri preizkušancev smo bili pozorni tudi na pravilni longitudinalni potek vlaken, hkrati pa smo se izognili prisotnosti rastnih posebnosti (grč, razpok, smolik ipd.).

Izbrani preizkušanci so bili posušeni na enotno vlažnost $6 \% \pm 2 \%$, le pri macesnovini smo uporabili skupino preizkušancev, ki so bili posušeni tudi na zračno vlažnost. Nato smo preizkušance uravnovesili v normalni klimi (pri temperaturi 20°C in relativni zračni vlažnosti 65 %). Vsem preizkušancem smo dva-krat premazali čela z impregnacijskim premazom, s čimer smo želeli preprečiti poškodbe lesa na čelih ob izpostavitvi postopku UPS. Zaradi verodostojnejših meritev smo izbrali od 5-7 preizkušancev po lesni vrsti in orientiranosti. Na ta način smo pripravili 57 preizkušancev.

Vse preizkušance smo primerno označili in oštevilčili, tako da smo jim lahko sledili med postopkom staranja.

3.2 METODE

Učinek klimatskih obremenitev na izbrane lesne vrste smo proučevali na napravi za umetno pospešeno staranje (UPS), ki nam je omogočila poustvariti spremenljive klimatske obremenitve v relativno kratkem času.

V času izvajanja preizkusa je bil laboratorij ustrezno klimatiziran (temperatura zraka $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, relativna zračna vlažnost $55 \% \pm 5 \%$).

3.2.1 Postopek umetnega pospešenega staranja (UPS)

UPS smo opravili na Ooddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete v Ljubljani.

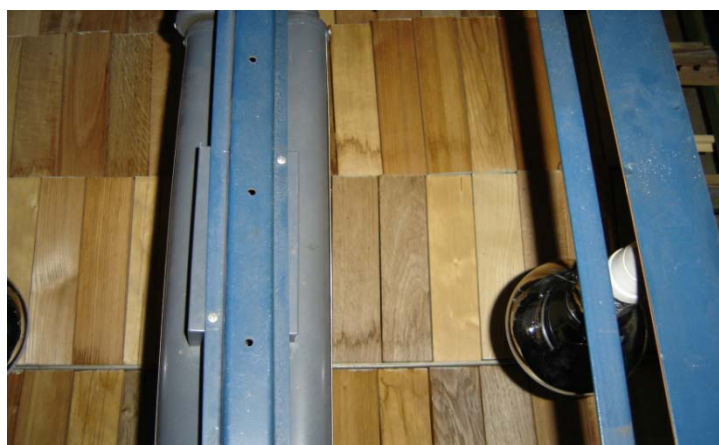
Naprava je razdeljena na dva dela: v prvem delu poteka navlaževanje oziroma močenje preizkušancev, v drugem pa so preizkušanci izpostavljeni UV in IR sevanju. Meritve preizkušancev smo opravili v prostoru za izvajanje meritev.

Namen postopka UPS je ustvariti takšne pogoje, kot se odvijajo v naravi ob normalnih klimatskih pogojih v nekajletnem časovnem obdobju, v laboratorijski napravi pa so preizkušanci izpostavljeni v kratkih časovnih intervalih in v določenem zaporedju velikim

razlikam v vlažnosti, toploti in sevanju (Kričej, 1974, Kričej, 1976). Simulacija navlaževanja z dežjem se je izvajalo s škropljenjem z destilirano vodo, toplotne obremenitve smo vršili z IR sevanjem. Učinek sončnega sevanja pa smo ponazorili z UV osvetljevanjem. Ciklična obremenitev se je ponovila vsakih 60 minut po naslednjem vrstnem redu posameznih faz:

Simulacija dežja	22 min
Mirovanje	9 min
UV in IR sevanje (maks. do 60°C)	27 min
Mirovanje	2 min
Skupaj	60 min

V napravo UPS smo na površino 1300 mm x 1000 mm istočasno namestili vse preizkušance pod naklonom 6° tako, da voda odteče s površine in hkrati naklonski kot obsevanja še vedno ostane večji od 80° (Slika 1). Preizkušanci so bili izpostavljeni obremenitvam 500 ur, medtem pa smo v približno tedenskih intervalih (100 ur obremenjevanja in 48 ur mirovanja) izvajali natančnejše meritve posledic obremenjevanja. Po vsaki meritvi smo preizkušance zamikali za določeno število mest, zato da so bili preizkušanci čim bolj enakomerno izpostavljeni.



Slika 1: Preizkušanci pred drugo fazo postopka UPS, tj. fazo UV in IR sevanja

3.2.2 Ugotavljanje dimenzij in mase

Pred izpostavitvijo smo dimenzije preizkušancev izmerili s kljunastim merilom, na 0,01 mm natančno, tako po širini, kot po debelini in sicer približno na sredini dolžine preizkušanca. To mesto smo si tudi označili, kajti vse nadaljnje meritve so bile opravljene na istem mestu. Vsak preizkušanec je bil označen in oštevilčen, tako da smo meritve sproti vnašali v računalnik. Maso smo merili na elektronski laboratorijski tehtnici, z natančnostjo

0,01 g. Spremembo mase smo izračunavali (enačba 1) iz izhodiščne mase pred začetkom UPS postopka.

$$\Delta m_i = (m_k - m_0 / m_0) * 100 [\%] \quad (1)$$

Δm_i razlika mase v merjenem ciklu [%]

m_k masa v merjenem ciklu, na dve decimalni mesti natančno [g]

m_0 začetna masa, na dve decimalni mesti natančno [g]

Dimenzije in mase smo izmerili po vsakih 100 ciklih, tako smo skupno izvedli 6 meritev.

3.2.3 Merjenje barve

Merjenje barve preizkušancev smo izvedli s spektrofotometrom (X- RITE SP 62) po numeričnem sistemu vrednotenja barve po CIE $L^* a^* b$.

Vse preizkušance smo najprej izmerili pred začetkom UPS-a, potem pa smo izvajali meritve vsak teden, po končanih 100 urnih ciklih. Namen merjenja barve je oceniti stopnjo degradacije oziroma spremembo barve v določenem časovnem obdobju.

Barvni koordinati a^* in b^* s svojimi pozitivnimi vrednostmi segata v področje rumene oziroma rdeče barve, z negativnimi pa v področje zelene oziroma modre barve. Tretja koordinata L^* je koordinata svetlosti, ki podaja odmik k beli oz. k črni barvi (Slika 2). Barvno spremembo ΔE predstavlja premik barve v tridimenzionalnem sistemu (enačba 2). Nizek ΔE ustreza majhni razliki v spremembi barve. Dovoljena toleranca za ΔE je 0,5 katere še ne zaznamo s prostim očesom (Preglednica 5).

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (2)$$

$$\Delta L^* = L^*_1 - L^*_2 \quad (3)$$

$$\Delta a^* = a^*_1 - a^*_2 \quad (4)$$

$$\Delta b^* = b^*_1 - b^*_2 \quad (5)$$

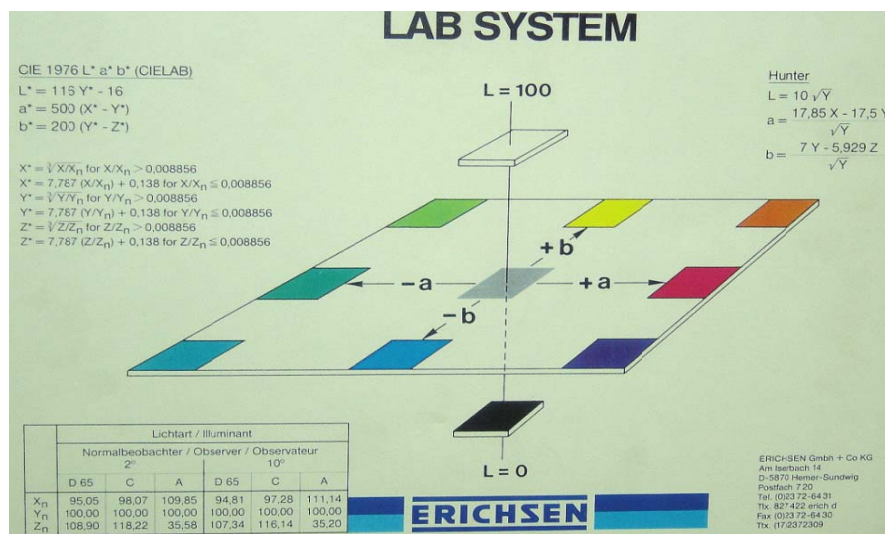
ΔE celotna sprememba barve

ΔL^* razlika svetlosti barve (podaja odmik k beli oz. črni barvi)

$\Delta a^*, \Delta b^*$ razliki rdeče- zelene in modro- rumene komponente barvne metrike

Preglednica 5: Primerjava absolutnih vrednosti barvne spremembe (ΔE^*) z vizualno oceno barvnih razlik (DIN 5033)

Celotna barvna razlika (ΔE^*)	Vizualna ocena barvne razlike
<0,2	ni opazna
0,2 - 0,5	zelo šibka
0,5 - 1,5	šibka
1,5 - 3,0	jasna
3,0 - 6,0	zelo jasna
6,0 - 12,0	močna
>12,0	zelo močna



Slika 2: LAB SYSTEM določa svetlost in barvo v tridimenzionalnem koordinatnem sistemu

3.2.4 Ugotavljanje poškodb

Prve ocene površin in kakovosti preizkušancev smo opravili že pri izboru materiala, oziroma pred premazovanjem čel preizkušancev. Nato pa smo beležili vizualne spremembe na površini glede velikosti, pozicije in števila razpok ter ocenili veženje po širini preizkušancev in podatke beležili. Vse skupaj smo tudi dokumentirali s fotografijami (Slika 3).



Slika 3: Preizkušanci pripravljeni za vizualno ocenjevanje

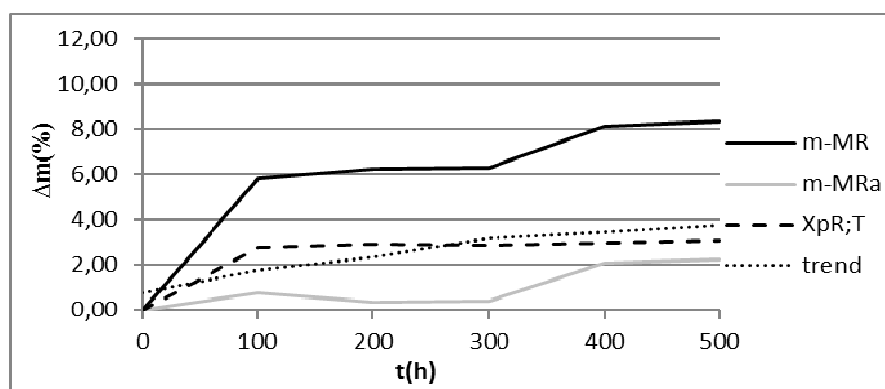
4 REZULTATI

4.1 SPREMEMBA MASE

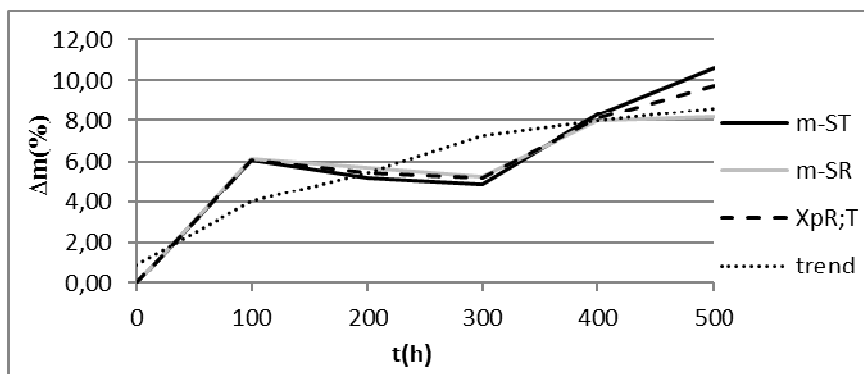
Največjo spremembo mase smo izmerili po prvem intervalu izpostavitvi UPS-u (Slika 4 do 8). Pri večini lesnih vrst je bila povprečna sprememba mase okoli 6 %, razen pri hrastovih preizkušancih (Slika 6), kjer smo zabeležili od 3 do 4 % spremembo. Nekoliko večje razlike smo zaznali pri tangencialno orientiranih preizkušancih. Bukovina je imela pričakovano največjo spremembo mase in sicer med 12 in 15 % (Slika 8). V naslednjih intervalih se je masa ustalila. Manjši odklon navzgor smo zabeležili v četrtem intervalu, verjetno zaradi nekoliko daljšega časa prekinitve med prazniki.

Specifičen primer so preizkušanci macesnovine (MRa). Nekaj preizkušancev z radialno orientacijo je bilo pred uravnovešanjem na normalni klimi le zračno suhih, zato je njihova začetna vlažnost dosežena v postopku desorpcije nekoliko višja (Slika 4).

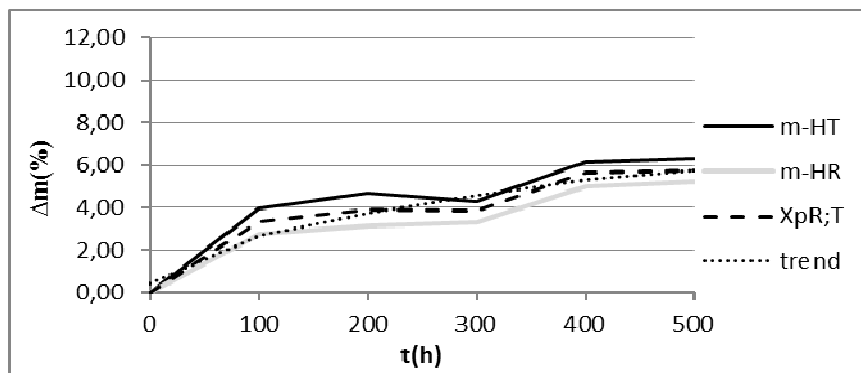
Na spodnjih slikah (Slike 4 do 8) smo ugotavljali tudi kakšen je trend spremembe mase. Pri macesnovini smo imeli na razpolago le radialno orientirane preizkušance in dvojce vstopnih vlažnosti, zato rezultati nekoliko odstopajo od ostalih. Pri tej lesni vrsti je trend nekoliko nižji, kot bi sicer bil, če bi izpostavljali vse preizkušance z identično vstopno vlažnostjo. Pri smrekovini je zaznati spremembo trenda šele po tretjem intervalu, ustali pa se šele okoli 8% povečanja mase (Slika 5). Pri hrastovini je zaznati trend umirjanja že po drugem intervalu, vendar se vseeno ustali šele okoli 5 % porasta mase. Tudi jesenovina je izkazala podoben trend kot hrastovina, saj se je trend tudi pri tej lesni vrsti začel umirjati po drugem intervalu, zaključil pa nad 8 % porasta mase. Pričakovano je trendna linija najvišja pri bukovini. Umirjati se je začela šele po tretjem intervalu, ustalila pa se je okoli 18 % (Slika 8).



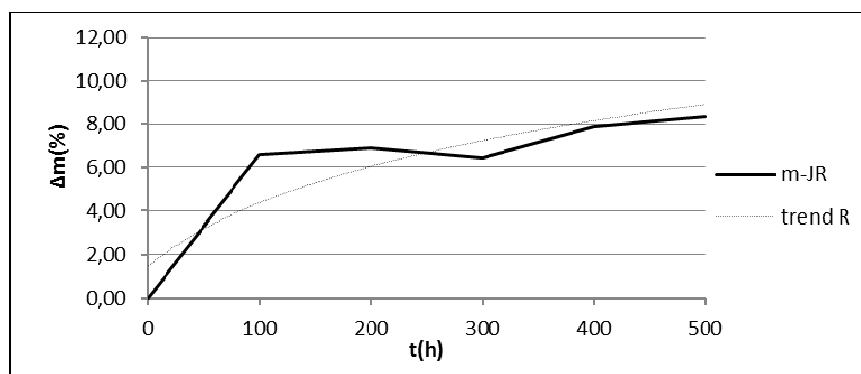
Slika 4: Sprememba mase Δm (%) in trend – macesnovina med postopkom UPS: (MR.-radialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu adsorpcije), (MRa.-radialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu desorpcije (iz naravno suhega stanja), XpR;R – povprečna vrednost radialno in tangencialno orientiranih preizkušancev



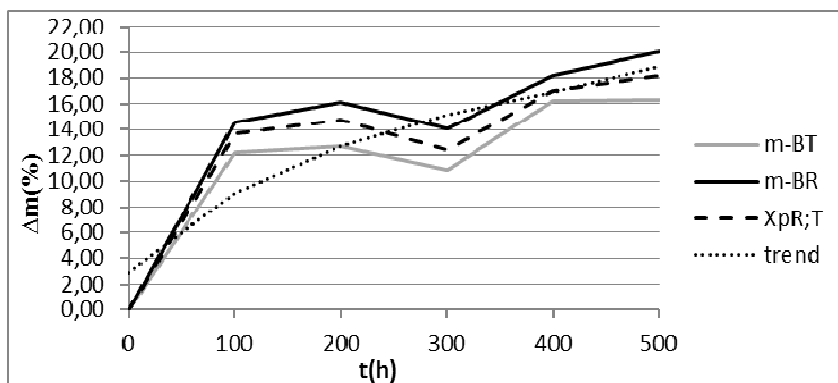
Slika 5: Sprememba mase Δm (%) in trend – smrekovina med postopkom UPS: (ST.- tangencialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu adsorpcije), SR -radialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu adsorpcije), XpR;T – povprečna vrednost radialno in tangencialno orientiranih preizkušancev



Slika 6: Sprememba mase Δm (%) in trend – hrastovina med postopkom UPS: (HT.- tangencialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu adsorpcije), HR.- radialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu adsorpcije), XpR;T – povprečna vrednost radialno in tangencialno orientiranih preizkušancev



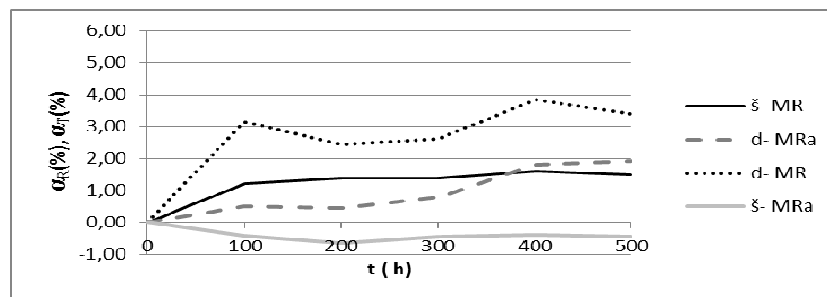
Slika 7: Sprememba mase Δm (%) in trend – jesenovina med postopkom UPS: (JR - radialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu adsorpcije).



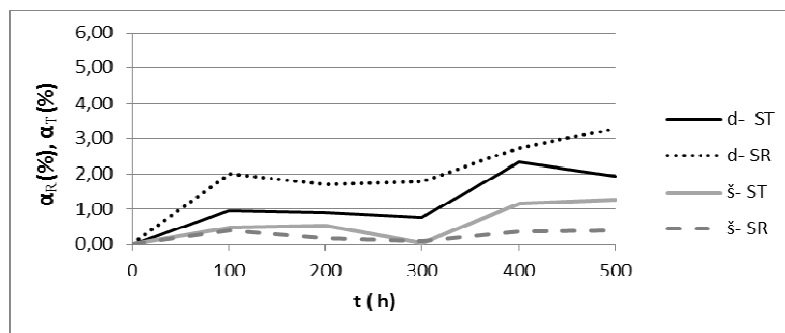
Slika 8: Sprememba mase Δm (%) in trend - bukovina med postopkom UPS: (BT - tangencialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu adsorpcije), (BR - radialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu adsorpcije), XpR;T – povprečna vrednost radialno in tangencialno orientiranih preizkušancev.

4.2 SPREMEMBA DIMENZIJ

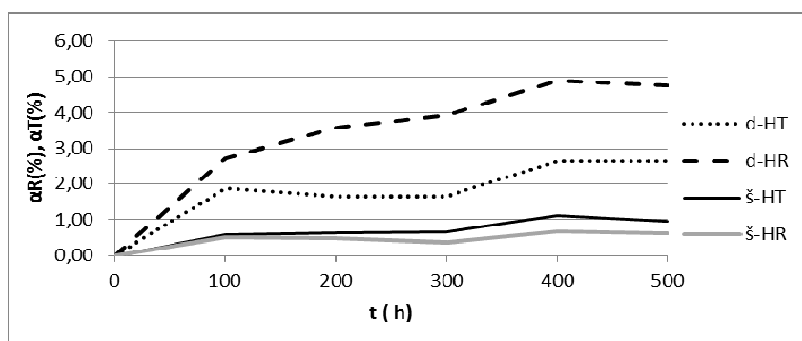
Dimenzijske spremembe preizkušancev izpostavljenih UPS postopku, so bile največje v prvem intervalu obremenjevanja (Slike 9 do 13). V nadaljevanju so se dimenzije stabilizirale. Podobne spremembe smo zaznali pri vseh lesnih vrstah in orientacijah preizkušancev. Največjo razliko (od 7 do 10 %) smo izmerili pri bukovini: Debelinski nabrek pri radialno orientiranih preizkušancih in širinski nabrek pri bukovini s tangencialno orientacijo (Slika 13). Pri preizkušancih iz macesnovine, ki so bili uravnovešani na normalni klimi v postopku desorpcije, je prišlo pri radialnih preizkušancih (d - MRa) po debelini do minimalnega nabreka (pod 1 %), pri nabreku po širini (š - MRa), pa do minimalnega skrčka (pod 1 %) (Slika 9). Smrekovi preizkušanci, tako z radialno orientacijo (š - SR) kot tudi s tangencialno orientacijo (š - ST), so imeli minimalni nabrek po širini (Slika 9). Podobne rezultate smo dobili pri hrastovini (Slika 11). Jesenovina z radialno orientacijo (Slika 12) je imela nabrek po širini le okoli 1 %, po debelini pa je imela 3 % nabreka.



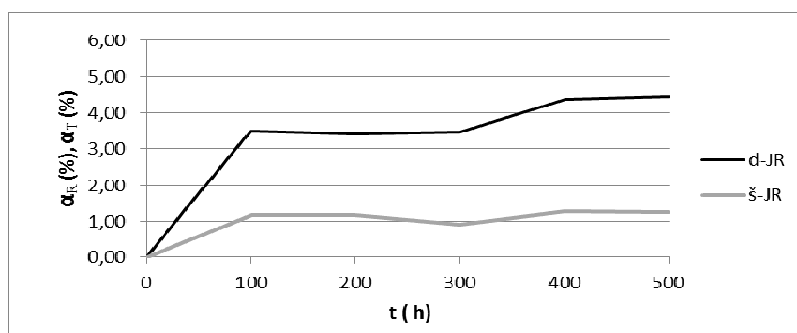
Slika 9: Nabrekanje macesnovine v radialni (α_R) smeri (%) po 500 urah UPS: (š-MR – širinski nabrek radialno orientiranih preizkušancev; d-MR – debelinski nabrek radialno orientiranih preizkušancev; š-MRa – širinski nabrek radialno orientiranih preizkušancev uravnovešanih v procesu desorpcije; d-MRa – debelinski nabrek radialno orientiranih preizkušancev uravnovešanih v procesu desorpcije).



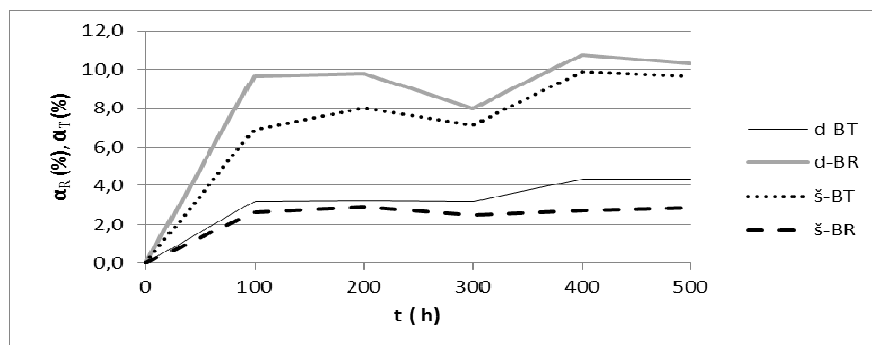
Slika 9: Nabrekanje smrekovine v radialni (α_R) in tangencialni (α_T) smeri (%) po 500 urah UPS: (d-ST – debelinski nabrek tangencialno orientiranih preizkušancev; d-SR – debelinski nabrek radialno orientiranih preizkušancev; š-ST – širinski nabrek tangencialno orientiranih preizkušancev; š-SR – širinski nabrek radialno orientiranih preizkušancev).



Slika 10: Nabrekanje hrastovine v radialni (α_R) in tangencialni (α_T) smeri (%) po 500 urah UPS: (d-HT – debelinski nabrek tangencialno orientiranih preizkušancev; d-HR – debelinski nabrek radialno orientiranih preizkušancev; š-HT – širinski nabrek tangencialno orientiranih preizkušancev; š-HR – širinski nabrek radialno orientiranih preizkušancev).



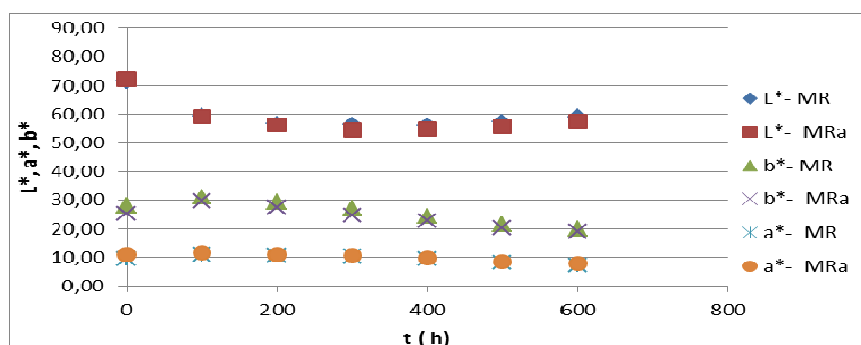
Slika 11: Nabrekanje jesenovine v radialni (α_R) smeri (%) po 500 urah UPS: (d-JR – debelinski nabrek radialno orientiranih preizkušancev; š-JR – širinski nabrek radialno orientiranih preizkušancev).



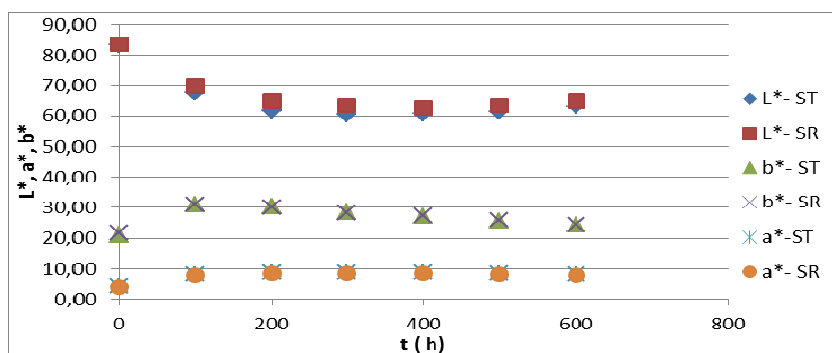
Slika 12: Nabrekanje bukovine v radialni (α_R) in tangencialni (α_T) smeri (%) po 500 urah UPS: (d-BT – debelinski nabrek tangencialno orientiranih preizkušancev; d-BR - debelinski nabrek radialno orientiranih preizkušancev; š-BT - širinski nabrek tangencialno orientiranih preizkušancev; š-BR - širinski nabrek radialno orientiranih preizkušancev).

4.3 SPREMEMBA BARVE

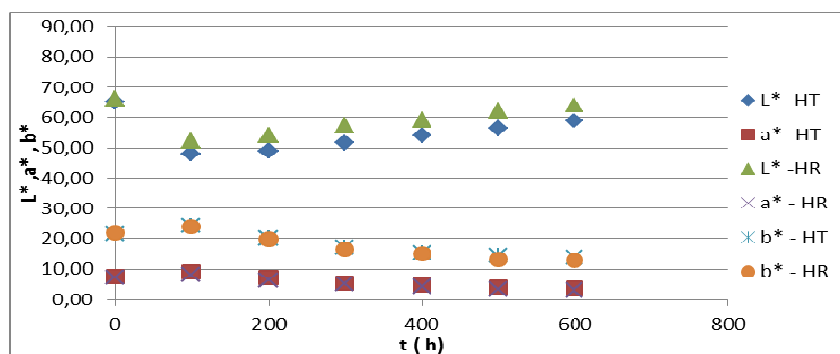
Pri izpostavitvi preizkušancev UPS je barva pri vseh lesnih vrstah potemnela (zmanjšanje komponente L) (Slike 14 do 18). Parametri barve a^* so kazali zelo majhne odmike od začetnih vrednosti, izjema so hrastovi in bukovi preizkušanci, ki so že v osnovi temnejši. Pri teh preizkušancih je bil trend po začetnem dvigu negativen, oziroma je začel padati. Proti koncu obremenjevanja se je komponenta L stabilizirala (Slika 16, 18). Večje odstopanje parametra b^* smo zaznali na začetku meritev. Prehod od rumene proti modrem področju je bil bolj izrazit. Pri vseh lesnih vrstah se je parameter L^* precej znižal in sicer okoli 20 %, proti zaključku meritev pa se je stabiliziral (Slike 14, 16, 17, 18). Izjema je smrekovina, ki je v osnovi svetlejša in je zato prišlo do večjega odklona v vrednosti tega parametra (Slika 15). Zaradi različne orientacije preizkušancev ni zaznati pomembnejših odklonov opazovanih parametrov oziroma se v večini primerov celo prekrivajo.



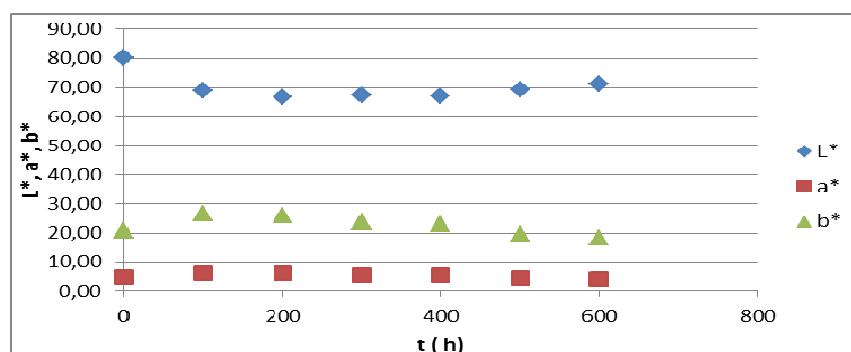
Slika 13: Povprečne barvne spremembe macesnovine v postopku UPS: (L – svetlosti, a – rdeče – zelene koordinate in b – rumeno- modre koordinate): MR.- radialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu adsorpcije), – MRa -radialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu desorpcije (iz naravno suhega stanja).



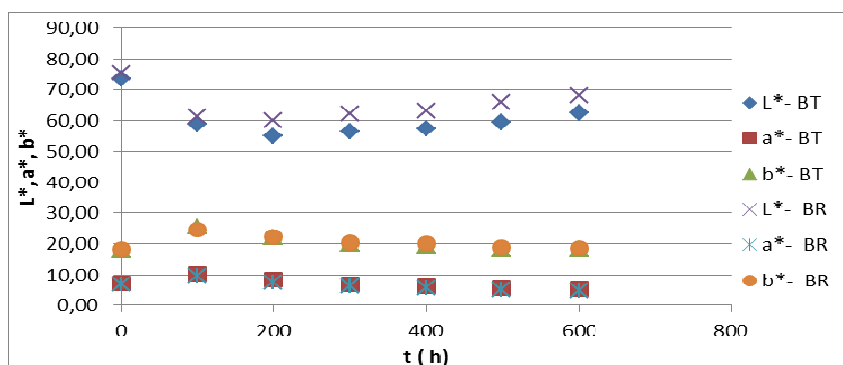
Slika 14: Povprečne barvne spremembe smrekovine v postopku UPS: (L – svetlosti, a – rdeče – zelene koordinate in b – rumeno- modre koordinate): – ST - tangencialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu adsorpcije), – SR - radialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu adsorpcije).



Slika 15: Povprečne barvne spremembe hrastovine v postopku UPS: (L – svetlosti, a – rdeče – zelene koordinate in b – rumeno- modre koordinate): -HT -tangencialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu adsorpcije), - HR -radialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu adsorpcije).



Slika 16: Povprečne barvne spremembe jesenovine v postopku UPS: (L – svetlosti, a – rdeče – zelene koordinate in b – rumeno- modre koordinate): -JR -radialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu adsorpcije).

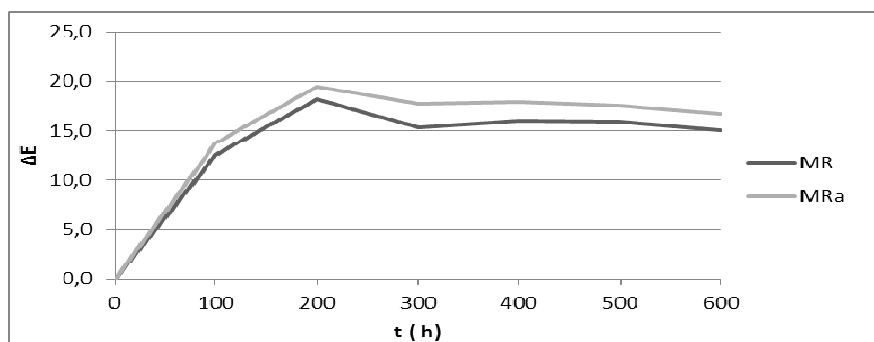


Slika 17: Povprečne barvne spremembe bukovine v postopku UPS: (L – svetlosti, a – rdeče – zelene koordinate in b – rumeno- modre koordinate): - BT -.tangencialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu adsorpcije), -BR -.radialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu adsorpcije).

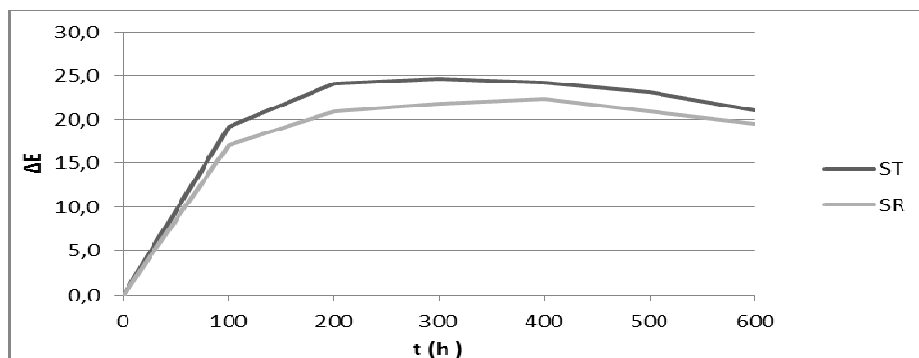
4.3.1 Celotna sprememba barve

Rezultati celotne spremembe barve (ΔE) so potrdili največje spremembe po prvem intervalu UPS-a, oziroma po 100 urah obremenjevanja. Nekoliko večji ΔE je pri preizkušancih smrekovine (Slika 20). Do konca drugega intervala je ΔE še naraščala, v naslednjih meritvah pa se je stabilizirala. Pri bukovini (Slika 23) je padec celotne spremembe barve najbolj očiten.

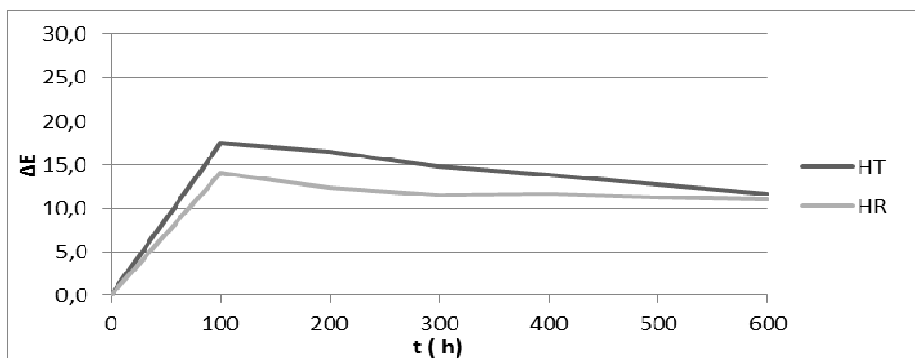
Tudi vizualna ocena barvnih razlik (po DIN 5033 –Preglednica 5) s prostim očesom dokazuje spremembe v barvi, ki so se dogajale tekom procesa staranja. Na sliki 24 je lepo videti, kako je les začel izgubljati svojo naravno barvo in sicer najprej rdečo, ki je najmanj obstojna na soncu. Tudi po primerjavi med različnima orientacijama preizkušancev ni bistvenih razlik v spremembi svetlosti in barvi (Slike 19. do 23).



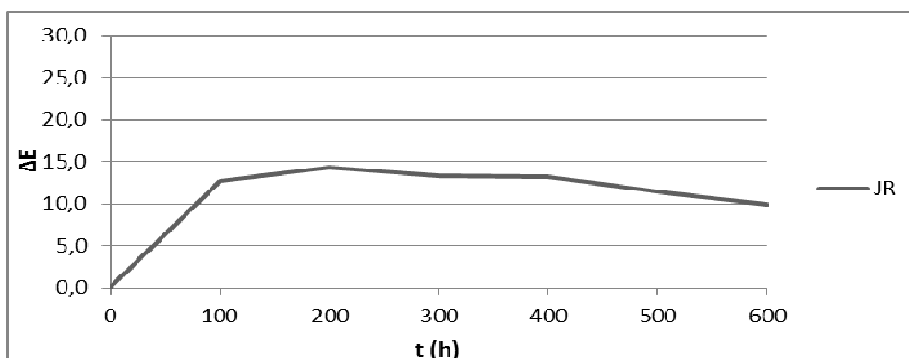
Slika 18: Celotna sprememba barve (ΔE) – macesnovine med postopkom UPS: (MR - radialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu adsorpcije), MRa - radialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu desorpcije (iz naravno suhega stanja).



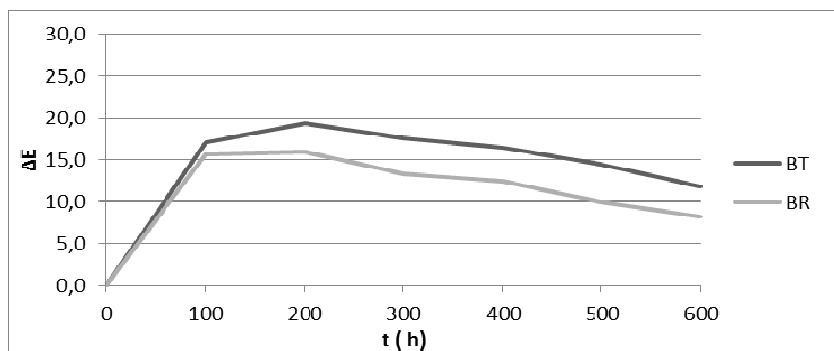
Slika 19: Celotna sprememba barve (ΔE) – smrekovine med postopkom UPS: (ST - tangencialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu desorpcije); SR - radialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu desorpcije).



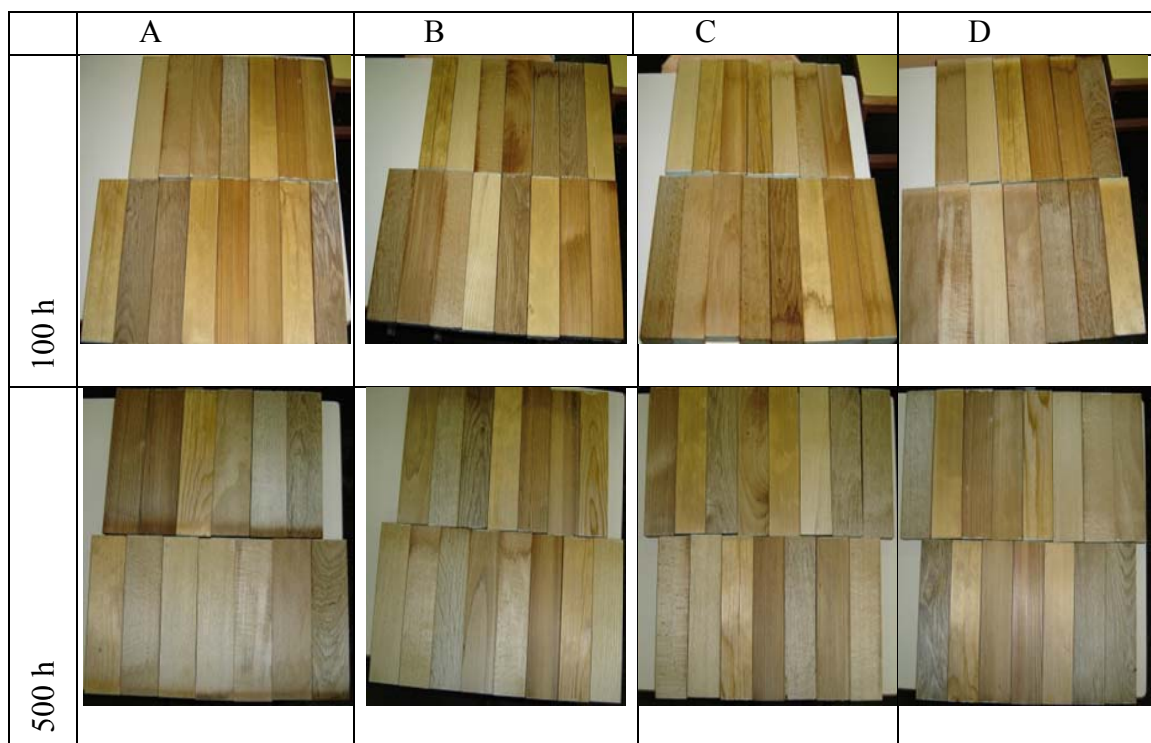
Slika 20: Celotna sprememba barve (ΔE) – hrastovine med postopkom UPS: (HT - tangencialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu desorpcije), HR - radialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu desorpcije).



Slika 21: Celotna sprememba barve (ΔE) – jesenovine med postopkom UPS: (m –JR - radialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu desorpcije).



Slika 22: Celotna sprememba barve (ΔE) – bukovine med postopkom UPS (BT - tangencialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu desorpcije), BR - radialno orientirani preizkušanci uravnovešeni v normalni klimi v procesu desorpcije).



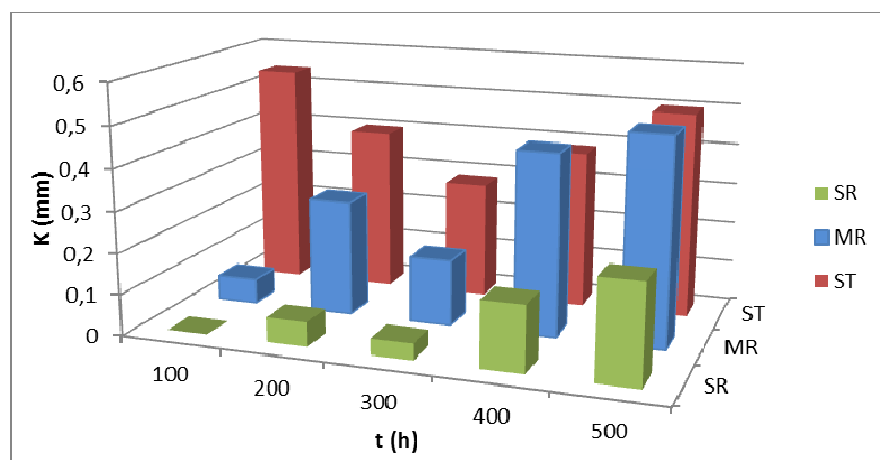
Slika 24. Vizualna ocena barvnih sprememb preizkušancev po 100 in 500 urah obremenjevanja z UPS. A, B, C, D so skupine preizkušancev različnih orientacij in lesnih vrst, kot so vzete iz prostora za UPS

4.4 SPREMEMBA GEOMETRIJE PREIZKUŠANCEV (VEŽENJA)

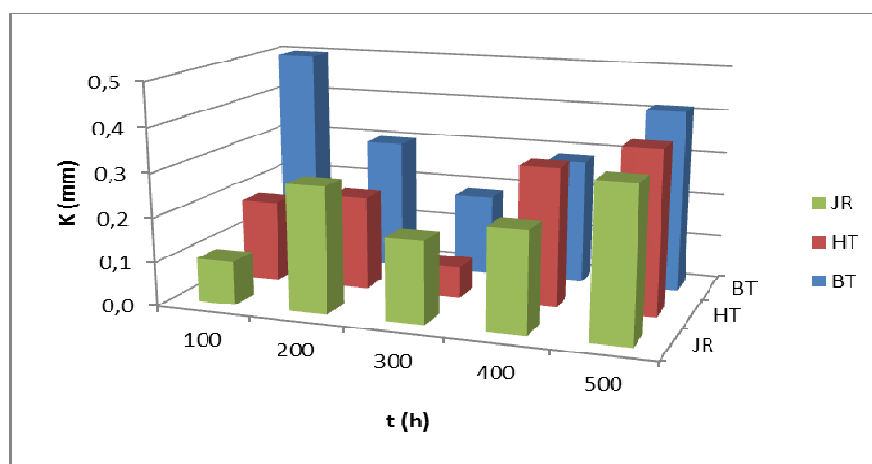
Geometrijska sprememba lesa ali veženje, oziroma koritavost (K), je ena od neljubih sprememb po izpostavitvi nihajoči klimi. Rezultati meritev pri iglavcih (Slika 25) so pokazali, da se je pričakovano slabo izkazala smrekovina s tangencialno orientacijo (ST), še posebno po prvem intervalu. Smrekovi preizkušanci z radialno orientacijo so se izkazali bistveno bolje (geometrijsko spremembo lahko skoraj zanemarimo). Macesnovina z

radialno orientacijo se je izkazala za zelo solidno, saj ni imela hitrega preskoka, temveč se je sprememba geometrije stopnjevala zelo počasi. Največje veženje (približno 1 %) smo izmerili po prvem intervalu obremenjevanja na preizkušancih smrekovine (ST).

Podoben odziv smo imeli tudi z bukovimi preizkušanci s tangencialno orientacijo (Slika 26). Tudi tu so bila nihanja iz intervala v interval očitna. Veliko bolje se je izkazala hrastovina s tangencialno orientacijo. Občutljivost jesenovine z radialno orientacijo je podobna hrastovini s tangencialno orientacijo. Pri preizkušancih hrastovine in bukovine z radialno orientacijo pa ni bilo zaznati veženja, ali pa je bilo zanemarljivo.



Slika 25: Sprememba geometrije po posameznih intervalih izpostavitve UPS- u za iglavce: (MR – radialno orientirani macesnovi preizkušanci, ST – smrekovina tangencialno orientirani preizkušanci; SR – smrekovina radialno orientirani preizkušanci).



Slika 236: Sprememba geometrije po posameznih intervalih izpostavitve UPS- u za listavce: (BT – bukovina tangencialno orientirani preizkušanci.; HT – hrastovina tangencialno orientirani preizkušanci, JR – jesenovina radialno orientirani preizkušanci).

4.5 VIZUALNO OCENJEVANJE POVRŠINSKIH RAZPOK

Po izpostavitvi preizkušancev UPS postopku so se začele pojavljati tudi površinske poškodbe v obliki razpok. Le te so bile za vsako lesno vrsto značilne. Kot smo tudi predvidevali, so bile poškodbe bistveno večje in v večjem obsegu na preizkušancih s tangencialno orientacijo, saj je pri takšni orientaciji delovanje lesa največje. Po prvem intervalu so se razpoke najprej pokazale na preizkušancih smrekovine in bukovine s tangencialno orientacijo (Slika 27).



Slika 27: Značilne poškodbe različnih lesnih vrst in različnih orientacij po 100 urah obremenjevanja z UPS: Zgoraj od leve proti desni: hrastovina radialno, bukovina tangencialno, hrastovina tangencialno, hrastovina radialno, smrekovina tangencialno orientirana. Spodaj od leve proti desni: jesenovina radialno, smrekovina tangencialno, bukovina radialno, jesenovina radialno orientirana.



Slika 28: Značilne poškodbe različnih lesnih vrst in različnih orientacij po 500 urah obremenjevanja z UPS: Zgoraj od leve proti desni: bukovina radialno, bukovina tangencialno, hrastovina tangencialno, hrastovina radialno, bukovina tangencialno, hrastovina tangencialno orientirana. Spodaj od leve proti desni: macesnovina radialno, macesnovina radialno, smrekovina tangencialno, macesnovina radialno, smrekovina tangencialno, ter jesenovina radialno orientirana.

Pri smrekovini so se pojavile razpoke dolžine do $\frac{1}{2}$ dolžine, pri bukovini pa trakovne pokline dolžine do 1 cm pri 70 % preizkušancev s tangencialno orientacijo. Pokline so potekale po trakovih, kar potrjuje znano izkušnjo iz sušenja lesa. Po drugi in tretji meritvi se je obseg razpok in poklin povečeval tako po velikosti, kot tudi po številu oziroma obsegu. Tako so se nam začele pojavljati pokline tudi pri tangencialnih preizkušancih hrasta, ki so imele dolžino do 4 cm.

Po četrtem intervalu so bili vsi preizkušanci s tangencialno orientacijo smrekovine, bukovine ter hrastovine razpokani, ali pa so imeli pokline po celotni površini. Pri radialnih preizkušancih pa se je zgodila ena reža pri smrekovini, ena pri macesnovini tik po letnici, ter nekaj poklin pri hrastovini. Po zadnjem intervalu so se (nekaj tudi po četrtem intervalu) obstoječe razpoke daljšale, kakor tudi širile. Tako so bile razpoke pri jelovini široke tudi do pribl. 1,5 mm. Pri preizkušancih iz jesenovine ter macesnovine se ni pojavila niti ena razpoka, medtem ko se je pri hrastovini to pojavilo le pri dveh preizkušancih (Slika 27 in 28).

Na sliki 27 je skupina preizkušancev, kot je vzeta iz UPS postopka, različnih orientacij in lesnih vrst. Lepo so vidne številne pokline in napoke pri bukovini s tangencialno orientacijo, medtem ko so razpoke pri radialnih presekih bolj izjema, kot pravilo. Razpoke v tangencialnem prerezu so dolge tudi več centimetrov.

Pri hrastovini z radialno orientacijo so se pojavile posamezne pokline dolžine do 1,5 cm, medtem ko pri tangencialni orientaciji prihaja do poklin na 50 % površine.

Jesenovina z radialno orientacijo se je izkazala z odliko. Pojavila se ni niti ena sama razpoka ali poklina.

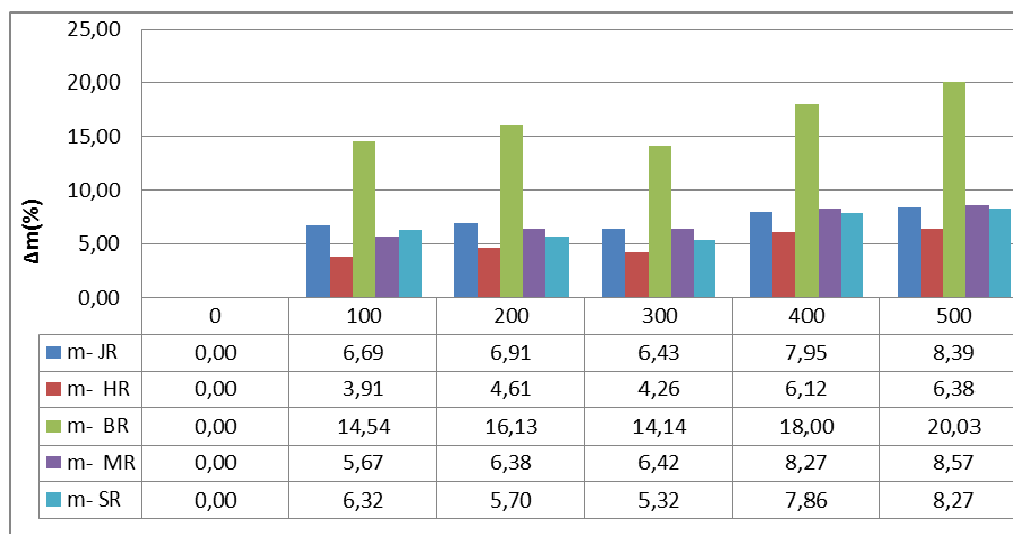
Macesnovina se je obnašala podobno, saj se je pojavila pri vseh izpostavljenih preizkušancih le ena razpoka, in sicer na letnici, kar je sicer tudi značilnost macesnovega lesa, da se pojavijo razpoke na tem območju, če seveda imamo les s takšnimi lastnostmi.

Smrekovina z radialno orientacijo se je obnašala tako kot macesnovina z enako orientacijo. Tudi v tem primeru smo imeli samo en preizkušanec, ki je imel napoko dolžine cca 1,5 cm dolžine. Smrekovina s tangencialno orientacijo pa je pravo nasprotje preizkušancem z radialno orientacijo. Od vseh proučevanih lesnih vrst se je smrekovina s tangencialno orientacijo izkazala kot najslabši preizkušanec. Razpoke so segale skoraj po celotni dolžini preizkušancev, ob enem pa so bile široke tudi do 1,5 mm. Razpoke so bile dokaj gosto posejane po celotni površini preizkušancev.

Na fotografiji so dobro vidne tudi barvne razlike zaradi zastajanja odtekajoče vode tokom poteka poizkusa na bukovih preizkušancih (Slika 28).

5 RAZPRAVA

Opravili smo primerjavo odziva proučevanih lesnih vrst z radialno orientacijo na ciklično klimatsko obremenjevanje v (UPS). Jesenovina, smrekovina in macesnovina so se skozi vse cikle UPS postopka izkazali s primerljivimi a vendar različnimi spremembami mase oz. lesne vlažnosti (Slika 29).



Slika 249: Primerjava spremembe mase (Δm) za vse proučevane lesne vrste: (jesenovina (JR), hrastovina (HR), bukovina (BR), macesnovina (MR), smrekovina (SR) z radialno orientiranimi preizkušanci)

Razlike v odzivu preizkušancev, z vidika spreminjanja mase med UPS postopkom, lahko pripišemo heterogeni anatomski zgradbi in variabilni kemični sestavi med proučevanimi lesnimi vrstami (Slika 29). Hrastovina in jesenovina sta srednje gosti lesni vrsti, venčasto porozni, vendar z različno kemijsko zgradbo. Poleg tega pa hrastovina vsebuje še nekatere ekstraktive, ki so inkrustrirani v celične stene in delujejo vodoodbojno in tako preprečujejo hitro navlaževanje in s tem na spremembo mase. Bukovina spada tudi med srednje goste lesne vrste, difuzno porozne listavce, ki imajo razmerje gostot ranega in kasnega lesa 1: 1,76. Visok delež hemiceluloze v lesu bukovine tudi veliko pripomore k visokemu dvigu spremembe mase. Nezaščiten bukovina je podvržena okužbam z glivami in insekti (Čufar, 2002), zato v surovem stanju ni primerna za zunanjo uporabo. Macesnovina spada med srednje goste lesne vrste, iglavce, ki imajo tudi velik delež smole, katera upočasnjuje navlaževanje in s tem večjo spremembo mase. Smrekovina spada med lažje lesne vrste, iglavce, z večjim deležem celuloze, ki pripomore k večji spremembi mase tekom obremenjevanja z UPS postopkom. Vendar pa je stabilizirajoči vpliv jedrovinskih snovi pri redkejših lesovih večji kot pri gostejših lesovih (Čufar, 2002).

Med lesnimi vrstami smo si ogledali tudi razlike med spremembami mas ($\Delta m/m_z$) po prvem intervalu, ter razlike sprememb mas ($\Delta m/m_k$) na zaključku postopka (Preglednica

6). Najmanjše odstopanje ima na začetku hrastovina (3,9%), takoj za njim pa je macesnovina s 5,7 % razliko. Jesenovina in smrekovina imata spremembo pri 6,3 oziroma 6,7 %. Bukovina močno odstopa s 14,5 %. Podobne so razmere na zaključku izpostavitve. Kot je lepo vidno tudi iz slik (Slika 4 in Slika 8) so se največje spremembe dogodile po prvem intervalu, v drugem intervalu so še nekoliko naraščale, kasneje pa so se začele bolj ali manj stabilizirati.

Preglednica 6. Tabela primerjav proučevanih lesnih vrst glede sprememb mase, gostote (ρ), ter razlike sprememb mase med različnima orientacijama v zadnjem obdobju (R, T).

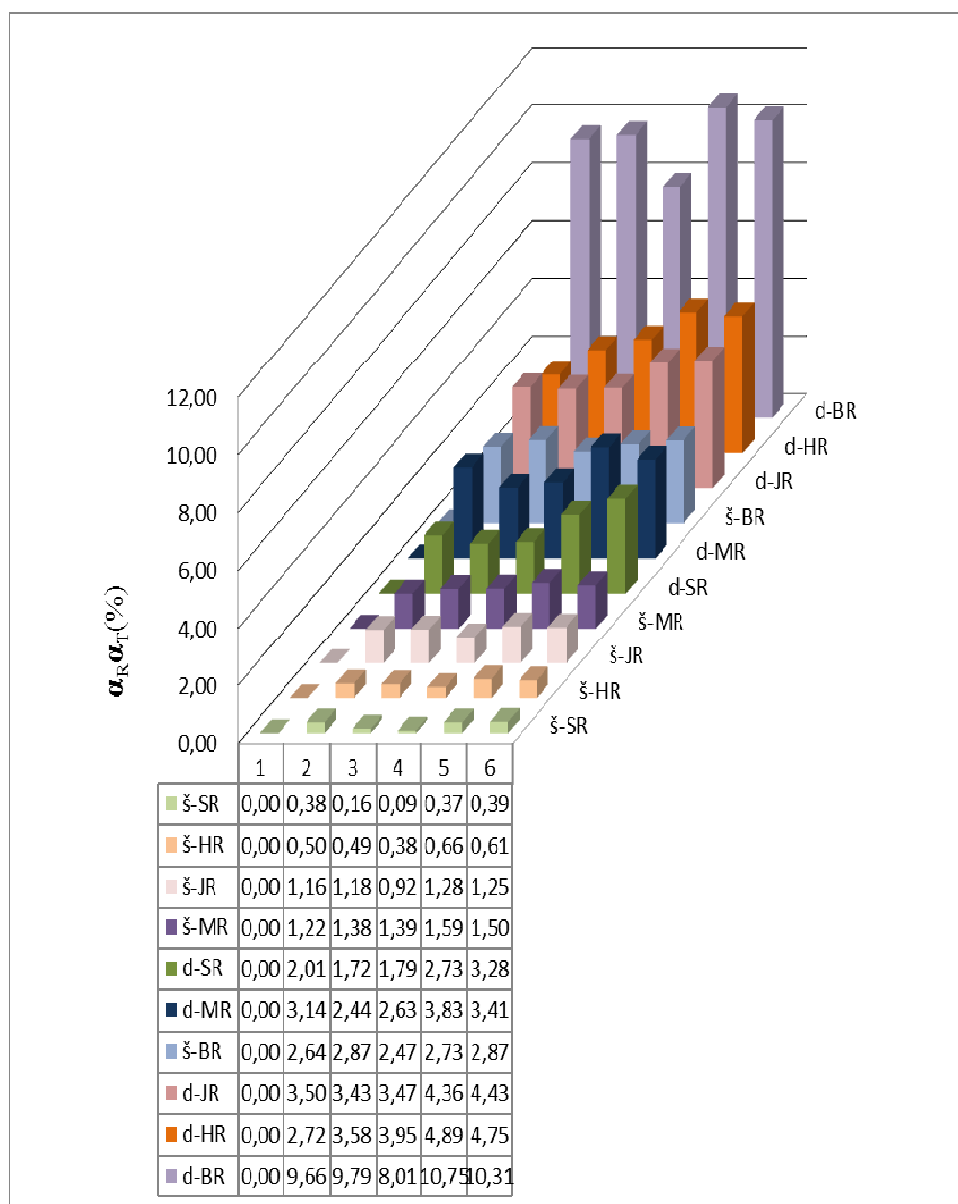
	$\Delta m/m_z(\%)$	$\Delta m/m_k(\%)$	$\rho_{uz} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\rho_{uk} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\Delta m_k \text{ (R,T)}$
jesen	6,7	8,4	702,7	719,9	1,7
hrast	3,9	6,4	672,1	677,6	1,2
bukev	14,5	20,0	764,8	808,9	3,5
macesen	5,7	8,6	677,5	667,4	2,9
smreka	6,3	8,3	495,2	518,3	2,2

Ugotavljali smo tudi gostoto lesov pri dejanski vlažnosti (ρ_{uz} in ρ_{uk}) (Preglednica 6). Gostoto smo izračunali pri vstopni vlažnosti pribl. $6 \pm 2 \%$, ter na zaključku opazovanja. Jesenovina je imela začetno gostoto povprečno 703 kg/m^3 , na zaključku pa nekaj višjo in sicer 720 kg/m^3 . Hrastovina je imela začetno gostoto pri 672 kg/m^3 končno pa le 5 kg/m^3 več. Macesnovina je imela začetno gostoto $677,5 \text{ kg/m}^3$, končno pa 678 kg/m^3 . Les bukovih preizkušancev je imel povprečno vstopno gostoto $764,8 \text{ kg/m}^3$, končno gostoto pa 809 kg/m^3 . Smrekovina je imela vstopno gostoto 495 kg/m^3 , končno gostoto pa $518,3 \text{ kg/m}^3$.

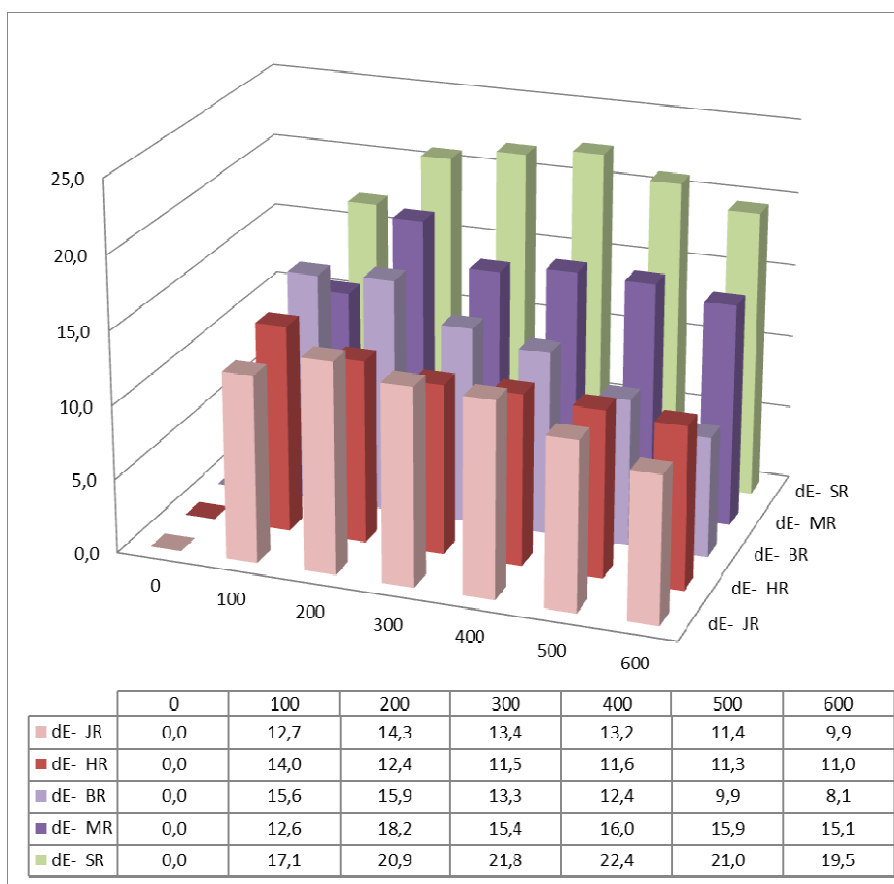
Radialno orientirani preizkušanci (Slika 30) so dimenzijsko veliko bolj stabilni kot tisti s tangencialno orientacijo (razmerje 1:2). Če ocenjujemo preizkušance po velikosti radialnega (α_R) nabreka, bi lahko rekli, da se smrekovina (SR-š), hrastovina (HR-š), jesenovina (JR-š) in macesnovina (MR-š) obnašajo odlično, saj nabreki ne presežejo 1, 5%. V drugo skupino bi lahko razvrstili lesove, ki imajo nabrek od 1,5 % do 3 %. Sem spadajo smrekovina (SR-d) in macesnovina (MR-d) s tangencialnim nabrekom (α_T), ter bukovina (BR-š) z radialnim nabrekom.

V tretjo skupino pa lahko umestimo jesenovino (JR-d) s tangencialnim nabrekom, kakor tudi hrastovino (HR-d). Ti dve vrsti nabrekata v območju od 2,7 do 5 %.

Zelo velik nabrek ima bukovina (BR-d) -okoli 10 %.

Slika 30: Primerjava nabrekov (α_R) za proučevane lesne vrste

Primerjava celotne barvne razlike (ΔE) (Slika 31) za proučevane lesne vrste nam pokaže, da se največja sprememba zgodi po prvem intervalu za vse lesne vrste s spremembo od 12,7 do 17,1. Največja sprememba je nastala pri najbolj svetli lesni vrsti, t.j. smrekovini. Macenovina in jesenovina sta imeli najmanjšo spremembo barve (12,6), medtem ko sta lesova temnejših lesnih vrst doživela celotno barvno razliko za 14,0 (hrastovina, oziroma 15,6 – pri bukovini). V kasnejših intervalih je (ΔE) še vedno zaznavna tudi s prostim očesom, vendar se po tretjem intervalu začne stabilizirati. Barve prehajajo iz naravnih živih odtenkov in tonov proti sivi in črni barvi.



Slika 31: Primerjava celotne barvne razlike ΔE za proučevane lesne vrste: (jesenovina (JR), hrasovina (HR), bukovina (BR), macesnovina (MR), smrekovina (SR) z radialno orientacijo)

Barvna stabilnost lesa, ki je bil predhodno toplotno obdelan pri 240 °C, lesnih vrst jesenovine, bukovine, obmorskega bora ter topolovine, obsevan z UV svetlobo 835 ur, je pokazala, da tudi toplotno obdelani les pod vplivom UV žarčenja postopoma spremeni barvo in posivi, vendar veliko manj kot naši preizkušanci (Ayadi in sod., 2003).

Ravno tako je manjša razlika pri razbarvanju temnejših lesnih vrst (bukovine in obmorske borovine) od svetlejših lesnih vrst (topolovine in jesenovine). Predvidevamo, da je UV svetlobno inducirana degradacija lesa v veliki meri posledica fotokemičnih reakcij, ki se pojavijo v ligninu. Degradacija se pojavi skozi reakcije z radikali. Absorpcija svetlobe s skupinami lignina vodi do formacij radikalnih vrst z dolgo življensko dobo. Ti prosti radikali reagirajo s kisikom, pri tem pa nastanejo kromoforične skupine, kot karbonilne in karboksilne skupine. Tudi kisik igra vlogo v fotodegradacijskem procesu (Ayadi in sod., 2003).

Raziskava, ki so jo opravili Venäläinen s sodelavci (2001) na Finskem z juvenilnim lesom sibirske macesnovine, ki jo je okužil s tremi vrstami gliv, da bi ugotovil njihov vpliv na spremembo mase in s tem razkroj, je pokazala, da je juvenilni les zelo dovzeten, ob primerni klimi, za razvoj gliv. Vzrok za raziskavo je verjetno bila uporaba macesnovine za stene savn, kjer sta visoka vlaga in temperatura stalnica.

6 SKLEPI

Primerjava proučevanih lesnih vrst nas je pripeljala do sledečih zaključkov:

Smrekovina je le delno primerna za uporabo z intenzivno spreminjajočimi se klimatskimi razmerami. V kolikor uporabljamo les z radialno orientacijo, bo vpliv klimatskih razmer na staranje bistveno upočasnen. Razlog tiči v dejstvu, da se les z radialno orientacijo bistveno manj krči in nabreka, ob prekoračitvi prečne natezne trdnosti lesa pa ima za posledico manj, ali pa kasnejše pojavljanje površinskih poškodb v obliki razpok. Le te so povzročitelj zastajanja vode in zato hitrejša degradacije. Vpliv UV in IR žarkov, ki jih povzroča sončna svetloba je destruktiven, saj žarčenje najbolj poškoduje lignin, ki se kasneje izpira iz površine z dežjem. S tem dobi les, ki je izpostavljen klimatskim vplivom t.i. patino, t.j. postaran izgled. V kolikor pa se les vgrajuje v pokritem okolju, kjer se navlažuje le z vodno paro iz okolice, bo staranje skoraj onemogočeno oz.zelo počasno.

Macesnovina je bistveno bolj primerna za uporabo v intenzivno spreminjajoči se klimi. Zaradi kemične zgradbe in višje gostote lesa se veliko bolj upira staranju in s tem podaljša njegovo obstojnost. Površinske poškodbe se pojavijo po bistveno daljšem obdobju, medtem ko barvne spremembe zaradi staranja potekajo približno v enaki intenziteti kot pri smrekovini.

Hrastovina je s svojo visoko gostoto in značilno kemijsko zgradbo zelo odporna lesna vrsta. Zelo dobro se obnaša v dokaj konstantnih klimatskih pogojih, pa naj bo to visoka vlaga ali pa bolj suha klima. Hrastovina se ne spreminja barvno tako hitro kot smrekovina ali macesnovina, ker je že v osnovi temnejša. Pri hrastovini se lokalno pojavljajo temne lise, predvsem tam, kjer zastaja voda, zaradi izpiranja taninov. Vseeno pa tudi ta lesna vrsta začne siveti, v kasnejšem obdobju pa tudi potemni.

Jesenovina spada v isti gostotni razred kot hrastovina, zato ima precej podobne fizikalne karakteristike kot hrastovina. Njena kemijska zgradba pa ne vsebuje čreslovin in drugih akcesornih snovi, ki bi povečevale naravno trajnost, kot jo ima hrastovina. V stabilnem klimatskem okolju je zelo obstojna lesna vrsta, ki dobro kljubuje staranju. Sprememba barve zaradi vpliva UV žarčenja je podobna kot pri macesnovini.

Bukovina je naša najbolj razširjena lesna vrsta listavcev. Tudi bukovina spada po gostoti v srednji gostotni razred kot hrastovina in jesenovina. Dimenzijska stabilnost bukovine je slaba, saj je zelo nagnjena k krčenju in nabrekanju. Poleg tega je neodporna na glive, če bi želeli les uporabljati v zunanjem okolju, ki je izpostavljeno intenzivnim klimatskim razmeram. Barvna obstojnost je podobna kot pri hrastovini, ker spada med temnejše lesove.

7 VIRI

- Ayadi N., Lejeune F., Charrier F., Charrier B., Merlin A. 2003. Color stability of heat-treated wood during artificial weathering. *Holz als roh- und Werkstoff* 61: 221 – 226
- Čufar K. 2002. Anatomija lesa. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.
- Fengel D., Wegener G. 1989. Wood-chemistry, ultrastructure reactions. Berlin, New York, Walter de Gruyter: 613 str.
- Gorišek Ž., 2009. Les. Zgradba in lastnosti, njegova variabilnost in heterogenost. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 178 str.
- Gorišek Ž., Geršak M., Velušček V., Čop T., Mrak C. 1994. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska založba: 235 str.
- Hon D.N.S., Shiraishi N. 1991. Wood and celulosic chemistry. New York, Basel, Marcel Dekker: 1020 str.
- Kollmann F., Cote W. 1968. Principles of Wood Science and Technology. Vol.I: Solid Wood. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag: 592 str.
- Kričej B. 1974. Postopki umetnega – pospešenega staranja premazov, namenjenih za površinsko obdelavo lesnih konstrukcij, izpostavljenih na prostem. *Les*, 4: 131 – 146
- Kričej B. 1976. Umetno pospešeno staranje lazurnih in impregnacijskih premazov. *Les*, 9 10: 179 – 184
- Oven P. 2011. Kemična zgradba lesa: Študijsko gradivo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 147 str.
- Pohleven F. 2008. Konstrukcijska zaščita lesa pred škodljivci. V: Gradnja z lesom – izziv in priložnost za Slovenijo. Kuzman M. K. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 96 – 100
- Straže A. 2015. Sušenje lesa; Gradivo za vaje pri predmetu za sušenje lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 47 str.
- Venäläinen M., Harju A.N., Terziev N., Laakso T., Saranpää P. 2001. Decay resistance of Siberian larch : correlates with flavonoid concentration in heartwood. *Holzforshung*, 60: 99 – 103
- Torelli N. 1998. Benetke- mesto na vodi in lesu. *Les*, 50, 6:174 – 176
- SIST EN 335-1/2 Evropski razredi izpostavitve lesa glede na povzročitelje ogroženosti. 2006

DIN 5033 Colorimetry-Part 7: Measuring conditions for object colours. 2014

DIN 6174. Farbmétrische Bestimmung von Farbständen bei Körperfarben nach der CIELab Formel. 1979: 2 str.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju g. prof. dr. Željku Gorišku za sprejem mentorstva ter vodenju, in vzpodbujanju pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se g. doc. dr. Alešu Stražetu za veliko pomoč v laboratoriju in kasneje pri izdelavi in pregledu diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi ga. Darji Vranjek in ga. Maji Valič za recenzijo diplomskega dela.

Zahvaljujem se vsemu osebju oddelka za lesarstvo na Biotehniški fakulteti v Ljubljani.

Nenazadnje se zahvaljujem ženi in sinovom ter mami za nenehno vspodbudo pri dokončanju diplomske naloge.

Diplomsko nalogo posvečam pokojnemu očetu.

Najlepša hvala vsem