

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Samo ŽITKO

**SORPCIJSKE LASTNOSTI TERMIČNO
MODIFICIRANEGA LESA OBDELANEGA Z
METILMETAKRILATOM**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2017

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Samo ŽITKO

**SORPCIJSKE LASTNOSTI TERMIČNO MODIFICIRANEGA LESA
OBDELANEGA Z METILMETAKRILATOM**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

**SORPTION PROPERTIES OF THERMALLY MODIFIED WOOD
TREATED WITH METHYL METHACRYLATE**

B. SC. THESIS
Professional Study Programmes

Ljubljana, 2017

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija Tehnologije lesa in vlaknatih kompozitov – 1. stopnja. Eksperimentalni del je bil opravljen na Oddelku za lesarstvo v delavni skupini za patologijo in zaščito lesa.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval doc. dr. Boštjana Lesarja in za recenzentko doc. prof. dr. Ido Poljanšek.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Samo Žitko

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dv1
DK	UDK 630*841
KG	zaščita lesa/termično modificiran les/MMA
AV	ŽITKO, Samo
SA	LESAR, Boštjan (mentor)/POLJANŠEK, Ida (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina c. CIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2017
IN	SORPCIJSKE LASTNOSTI TERMIČNO MODIFICIRANEGA LESA OBDELANEGA Z METILMETAKRLITOM
TD	Diplomsko delo (Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja)
OP	IV, 30 str., 7 pregl., 21 sl., 31 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Naravni material, kot je les se v današnjem času vse bolj uporablja v gradbene namene. Zaradi njegove splošne uporabnosti, njegovih lastnosti in vse bolj ekološke osveščenosti, lesu raste popularnost. Žal vse vrste niso dovolj odporne, zato je potrebno manj odporne vrste dodatno zaščititi. V našem eksperimentu smo uporabili manj odporno drevesno vrsto in sicer smrekovino. Smrekovino smo najprej termično modificirali, postopek modifikacije je potekal pri temperaturah 210 °C in 230 °C. Nato smo termo modificirano smrekovino dodatno obdelali z metilmetakrilatom (MMA). Obdelali smo jih po treh različnih postopkih, z različnimi koncentracijami MMA z in brez dodanega inhibitorja. Spremenljivke v postopkih obdelave so bile čas, temperatura, tlak in podtlak. Preučevali smo vpliv termične modifikacije, način impregnacije in koncentracijo MMA na navzem vode, vodne pare in sorpcijske lastnosti lesa. Znano je, da termična modifikacija v večji meri vpliva na izgubo mase vzorcev in s tem poslabšanje mehanskih lastnosti lesa. Vendar pa pozitivno vpliva na odpornost proti glivam, insektom in vremenskim vplivom. Obdelava z MMA nekoliko zniža navzemanje vode in povečuje hidrofobnost obdelanega lesa, med tem ko na navzem vodne pare MMA nima vpliva.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Dv1
 DC UDC 630*841
 CX wood protection/modification wood/MMA
 AU ŽITKO, Samo
 AA LESAR, Boštjan (supervisor)/POLJANŠEK Ida (reviewer)
 PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina c. CIII/34
 PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
 PY 2017
 TY SORPTION PROPERTIES OF THERMALLY MODIFIED WOOD TREATED WITH METHYL METHACRYLATE
 DT B. Sc. Thesis (Professional Study Programmes)
 NO IV, 30 p., 7 tab., 21 fig., 31 ref.
 LA sl
 Al sl/en
 AB Natural material such as wood is today increasingly used in structural applications. Because of its general applicability, its properties and more ecological awareness, the popularity of timber is growing. Unfortunately, all the wood species are not sufficiently resistant, and therefore less resistant species require additional protection. In our experiment we use less resistant spruce. Samples were first thermally modified, the process of modification was held at temperatures of 210 °C and 230 °C. Than samples were treated with the methyl methacrylate (MMA). We impregnated after three different procedures, with different concentrations of MMA with and without inhibitor. The variables in the procedures of impregnation were time, temperature and pressure. The influence of thermal modification, the method of impregnation and concentration of MMA on the water absorption, water vapour and sorption properties of treated wood were studied. It is known that thermal modification has a greater degree of influence on the mass loss of the samples and thus the deterioration of the mechanical properties of wood. However, it has got a positive effect on the resistance against fungi, insects and weather influence. The treatment with MMA slightly reduces absorption of water and increase the hydrophobicity of the treated wood, while it has no influence on the absorption of water vapour.

KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija	III
Key words documentation	IV
Kazalo preglednic	VIII
Kazalo slik	VII
Okrajšave in simboli	IX
1 UVOD	1
1. 1 CILJI.....	2
1. 2 DELOVNE HIPOTEZE	2
2 PREGLED OBJAV	3
2. 1 ZAŠČITA LESA	3
2. 1. 1 Nebioidna zaščita lesa.....	3
2. 1. 2 Trendi Zaščite.....	4
2. 2 NARAVNA ODPORNOST	4
2. 3 TRAJNOST LESA	4
2. 3. 1 Estetska in funkcionalna življenjska doba	4
2. 4 MODIFIKACIJA LESA.....	5
2. 4. 1 Načini modifikacije:	5
2. 4. 2 Termična modifikacija lesa	5
2. 5 SORPCIJSKE LASTNOSTI LESA	6
2. 5. 1 Sorpcijske lastnosti TM lesa.....	6
2. 6 UPORABLJENI MATERIALI	7
2. 6. 1 Smreka (Picea abies).....	7
2. 6. 2 Lastnosti lesa.....	7
2. 6. 3 Obdelava lesa	7
2. 6. 4 Uporaba lesa	7
2.7 TEORETIČNE OSNOVE UPORABLJENIH METOD	8
2. 7. 1 Kontaktni kot.....	8
2. 8 MMA- metilmetakrilat	9
2. 8. 2 Uporaba MMA in PMMA	9
2. 8. 3 Inhibitorji.....	9
2. 9 VIWOOD - TRANSPARENTNA POLIMERNA MASA ZA ZALIVANJE RAZPOK V LESU	10
3 MATERIAL IN METODE	11

3. 1 PRIPRAVA VZORCEV	11
3. 1. 2 Vzorci	12
3. 2 PRIPRAVA IMPREGNACIJSKEGA SREDSTVA	13
3. 3 DOLOČANJE NAVZEMA.....	13
3. 4 IMPREGNACIJA	13
3. 5 UPORABLJENE METODE	14
3. 5. 1 Kontaktni kot	14
3. 5. 2 Kratkotrajni navzem vode	15
3. 5. 3 Dolgotrajni navzem vode	15
3. 5. 4 Uravnovešanje vzorcev pri visoki vlagi	16
3. 5. 5 Sušenje nad silikagelom	17
4 REZULTATI IN RAZPRAVA	18
4. 1 NAVZEM	18
4. 2 KONTAKTNI KOT	20
4. 3 KRATKOTRAJNI NAVZEM VODE	21
4. 4 DOLGOTRAJNI NAVZEM VODE	22
4. 5 NAVZEM VODNE PARE.....	26
5 SKLEPI	27
6 POVZETEK	28
7 VIRI	29

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz kontaktnega kota, levo (hidrofobna) in desno (hidrofilna) površina (Raméhart, 2015).....	8
Slika 2: Polimerizacija (MMA, 2017)	9
Slika 3: VIWOOD, dvokomponentna nizkoviskozna zalivna masa (foto: Samo Žitko, 2017).....	10
Slika 4: Obrat Silva- produkta na Igu (foto: arhiv Silvaproduct d.o.o.).....	11
Slika 5: Komore za termo modifikacijo (foto: arhiv Silvaproduct d.o.o.))	11
Slika 6: Razrez vzorcev (foto: Samo Žitko, 2017)	12
Slika 7: Pripravljeni vzorci (foto: Samo Žitko, 2017)	12
Slika 8: Vzorci po impregnaciji levo in desno (foto: Samo Žitko)	14
Slika 9: Theta optični tenziometer (levo) in kapljica (desno) (foto: Samo Žitko)	14
Slika 10: Tenziometer (levo) in priprava vzorcev za meritev (desno) (foto: Samo Žitko) .	15
Slika 11: Vzorci med dolgotrajnim potopljenjem -floating test (foto: Samo Žitko).....	15
Slika 12: Sušilnik Kambič (foto: Samo Žitko)	16
Slika 13: Komora s silikagelom in vzorci (foto Samo Žitko)	17
Slika 14: Povprečni suhi navzem v odstotkih in v kg/m^3 za vzorce ($4 \text{ cm} \times 4 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm}$) po obdelavi z MMA.....	19
Slika 15: Povprečni suhi navzem v odstotkih in v kg/m^3 za vzorce ($1,5 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$) po obdelavi z MMA	19
Slika 16: Povprečni kontaktni kot v stopinjah po 10, 30 in 60 sekundah	20
Slika 17: Povprečni kratkotrajni navzem vode v g/cm^2 določen s tenziometrom po 99 in 200 sekundah	22
Slika 18: Povprečni navzem kapljične vode v procesu navlaževanja med dolgotrajnim namakanjem po standardu pr EN 16818.	24
Slika 19: : Povprečni navzem kapljične vode v procesu navlaževanja med dolgotrajnim namakanjem po standardu pr EN 16818.	24
Slika 20: Povprečni navzem kapljične vode v procesu sušenja med dolgotrajnim namakanjem – floating test po standardu pr EN 16818.....	25
Slika 21: Povprečni navzem kapljične vode v procesu sušenja med dolgotrajnim namakanjem – floating test po standardu pr EN 16818.....	25

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Priprava in potek impregnacijskih postopkov	13
Preglednica 2: Povprečni suhi navzem MMA po impregnaciji.....	18
Preglednica 3: Povprečni kontaktni kot v različnih časovnih obdobjih	20
Preglednica 4: : Povprečni kratkotrajni navzem vode določen s tenziometrom v različnih časovnih obdobjih.....	21
Preglednica 5: Povprečni navzem kapljične vode glede na čas potopitve po 1, 4, 8, 24, 48, 72 in 144 ur potopitve. Preglednica za absorpcijo oziroma navlaževanje.	23
Preglednica 6: Povprečni navzem kapljične vode glede na čas potopitve po 1, 4, 8, 24, 48, 72 in 144 ur potopitve. Preglednica za desorpcijo oziroma sušenje.....	23
Preglednica 7: Povprečna adsorpcija in desorpcija vodne pare po 24 urah in treh tednih, ravnovesna vlažnost in vlažnost po 24 urah sušenja nad silikagelom.	26

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

TM - termično modificiran

MMA - metilmetakrilat

O - okna

F - fasada

1 UVOD

Les je naravni material, ki se ga uporablja že od prazgodovine naprej. Z njim so izdelovali različne uporabne predmete, gradili hiše, ladjeve itd. Les je od nekdaj ena izmed najpomembnejših in najbolj iskanih surovin. Zaradi ustreznega razmerja med gostoto in mehanskimi lastnostmi se zato najpogosteje uporablja v gradbeništvu. K njegovi popularnosti prav tako pripomore relativno lahka dostopnost, njegova cena in obdelava. Sedaj pa je najpogosteje obravnavan kot ekološko nesporen material.

Smrekovino, ki smo jo uporabljali pri eksperimentu ima nekaj pomanjkljivosti. Ena takšnih je slaba odpornost na abiotične in biotične dejavnike razkroja. Abiotični dejavniki so dež, sneg, veter, mraz, vlaga, korozija in UV sevanje. Slednja poskrbi za razkroj lignina na površini in spremembo površinskih lastnosti. Posledično to pomeni spremembo barve, razne razpoke, ki omogočijo nadaljnjo razkrajanje. Biotični vplivi med katere spada delovanje insektov, gliv in raznih bakterij so pogosto težko vidni, saj potekajo v notranjosti lesa. Hkrati pa povzročajo hitrejši in intenzivnejši razkroj. Vendar se jim je moč izogniti, če preprečimo njihov razvoj (Pohleven 2014).

To nam omogoča zaščita lesa, les slabše kakovosti zaščitimo in mu s tem izboljšamo odpornost in podaljšamo življenjsko dobo. Hkrati pa se tako izognemo poseku redkih tropskih vrst, ki so naravno bolj odporne. Prav tako je potrebno na tropske lesne vrste bolj paziti, kajti prihajajo iz največjih ekosistemov na zemlji. Mnogo znanstvenikov opozarja, da rdečenje pragozdov ni prava pot in ima velik vpliv na spremembe v okolju. Kljub ogrožanju ekosistemov, visokih transportnih stroškov in velikega ogljičnega odtisa, se redčenje in posek tropskih gozdov nadaljuje. Zato si prizadevamo in želimo z novimi pripravki in inovativnimi rešitvami izboljšati zaščito lesa, kar omogoča uporabo domačih vrst lesa tudi v najzahtevnejših pogojih izpostavitve.

V preteklosti je pojem naravna zaščita označeval le konstrukcijsko zaščito lesa (pravilna vgradnja lesa) in pravilno izbiro lesa za posamezno rabo. Danes ta pojem vključuje še številne druge tehnike, ki jih bolje opisuje pojem nebiocidna zaščita lesa. Nebiocidna zaščita poleg naštetega zajema še obdelavo lesa s hidrofobnimi sistemi (olji, vodnimi emulzijami voskov ...) in modifikacijo lesa,« pojasnjuje dr. Miha Humar (Zorko 2014).

Pri našem eksperimentu smo smrekovino termično modificirali v podjetju Silvaproduct. Modificiran les smo nato obdelali z MMA s katerim smo želeli izboljšati sorpcijske lastnosti lesa. Modifikacijo lesa preučujejo že vrsto let, sodoben in aktualen način zaščite pa je postal pred nekaj leti. S termično obdelavo dosežemo večjo trajnost in dimenzijsko stabilnost lesa. Tako postane les bolj odporen na škodljivce, in vremenske vplive. Žal pa se hkrati poslabšajo mehanske lastnosti, prav tako se les drugače obarva. V nekaterih primerih je to zaželeno, v drugih spet ne. Saj s termično obdelavo vplivamo na kemično strukturo lesa. Parametri kot sta temperatura in čas vplivata na lastnosti lesa.

1. 1 CILJI

- Določiti vpliv različnih vrst stopnje modifikacije ter stopnje polimerizacije termično modificiranega lesa z MMA na kratkotrajno in dolgotrajno navzemanje vode.
- Določiti vpliv polimerizacije MMA v termično modificiranem lesu na vodo-odbojno učinkovitost.

1. 2 DELOVNE HIPOTEZE

- Termično modificiran les obdelan z MMA navzema manj vode kot neobdelan les.
- Na navzem vode vpliva stopnja termične modifikacije ter konverzije MMA.
- Na vodo-odbojno učinkovitost termično modificiranega lesa, obdelanega z MMA vpliva izguba mase med termično modifikacijo ter konverzija MMA.

2 PREGLED OBJAV

2.1 ZAŠČITA LESA

Že pred davnimi časi, so se ljudje ukvarjali z zaščito lesa. Začetki zaščite segajo na Kitajsko kjer so les namakali v morsko vodo. Ugotovili so, da s tem izboljšajo odpornost lesa. Med tem, ko so se Stari Grki in Rimljani bolj zanašali na zaščito lesa z različnimi olji. Pričeli so uporabljati najstarejše organsko zaščitno sredstvo in sicer, katran (Hughes, 1999).

V 19. Stoletju se je pričelo govoriti o kemični zaščiti lesa z uporabo anorganskih soli. Okoli leta 1838 je Boucherie patentiral zaščito z vodno raztopino bakrovega sulfata (modre galice), impregniral je beljavo hloda. Bethell je istega leta stopil korak naprej z impregnacijo železniških pragov s kreozotnim oljem. Ravno takrat se je po širši Evropi gradilo železniško omrežje (Kervina- Hamovič, 1990). Tudi danes ponekod še uporabljajo kreozotno olje. Vendar pa se uporaba po EU zmanjšuje. In sicer zaradi prepovedanih strupenih snovi, ki jih vsebuje (Pohleven, 1998).

Večji preskok z impregnacijo predstavlja Bruning, leta 1913. Normalno topne bakrove spojine z dodajanjem kromovih (VI) spojin, se dobro vežejo v les in se ne izpirajo. Kljub temu pa njegova ugotovitev, ni povsem nudila popolne zaščite lesa. Kajti les so vseeno napadali insekti. Indijski raziskovalec Sonti Kames, je odkril, da kromovi ioni ne izboljšujejo samo fiksacije bakrovih spojin, temveč tudi arzenove. AsCu se je poimenovalo zaščitno sredstvo po glavnih sestavinah (bakrov sulfat in arzenov oksid) (Humar, 2004). Vendar so danes nam bolj znani zaščitni pripravek CCA, dokončno prepovedali. Zaradi arzena, ki je škodljiv okolju in ljudem. Zato so poizkušali z borovimi spojinami nadomestiti arzenove. Vendar so v zadnjem obdobju pod drobnogled vzeli tudi borove spojine, zato se počasi ukinjajo tudi te (Humar 2004). Z amonijakom, so poizkušali rešiti izpiranje bakrovih ionov. Vendar je delo z amonijakom težavno zaradi specifičnega vonja, prav tako se les nezaželeno obarva (Hartford, 1972).

2.1.1 Nebioidna zaščita lesa

Nebioidno zaščito izvajamo že na samem začetku lesne proizvodnje in sicer v gozdu, skladiščih in na končnih izdelkih kot so stavbe, lesni izdelki in podobno.

Med nebioidno zaščito spada tudi konstrukcijska zaščita lesa, ki je ena bolj pomembnih dejavnikov, ki vpliva na življenjsko dobo lesa. Kajti z ustrezno konstrukcijsko zaščito se lahko izognemo, marsikateri nevšečnosti. Pod konstrukcijsko zaščito spada ustrezna zaščita pred povišano vlago torej, les odmaknemo od tal, pokrijemo stebre, pravilni spoji, odkapne letve, obloge itd..

Nebioidni ukrepi imajo prednost pred bioidnimi. Saj so veliko bolj prijazni okolju in samemu produktu (Pohleven, 2014).

2. 1. 2 Trendi Zaščite

V zadnjih letih skušajo raziskovalci najti rešitev, ki ne bo temeljila na osnovi biocidov, temveč na snoveh, ki so okolju prijazne. Kajti les je naravna in obnovljiva surovina. Rastline v sebi kopičijo ogljikov dioksid (CO_2) in na ta način prispevajo k zmanjšanju vpliva na segrevanje ozračja. Temu je pripomogla tudi osveščenost uporabnikov in proizvajalcev. Kajti les je edini cenovno ugoden obnovljivi material, njegova vloga se bo v gradbeništvu kmalu še povečala. Kar pomeni, da bo tudi zaščita lesa pridobila na pomenu (Humar, 2004).

K temu strmijo tudi angleški in ameriški znanstveniki, ki dokazujejo, da je zaščiten les z okoliškega pogleda eden najbolj primernih gradbenih materialov (Hiller in Murphy, 2000; Preston, 2000).

Pomen zaščite lesa bo v prihodnosti še naraščal, saj se bo kakovost lesa zmanjševala zaradi vse večje porabe. Zato bo na voljo vedno več in več neodpornega lesa. Ena od metod s čimer povečamo odpornost je modifikacija lesa (Kranjc, 2003).

2. 2 NARAVNA ODPORNOST

Ena izmed pomembnejših lastnosti lesa je naravna odpornost. Definiramo jo kot lastnost, ki jo ima les v naravnem zdravem stanju in označuje odpornost za škodljivce. Odvisna je od anatomske in kemijske sestave lesa. Ključne sestavine lesa, ki najbolj vplivajo na naravno odpornost so ekstraktivi (beljakovine, škrob, sladkorji, tanini, smole, barve, fenole) in akcesorne sestavine. Jedrovina, ki vsebuje večje količine smole, fenolnih spojin, je veliko bolj odporna kot beljava, ki vsebuje škrob. Zato je zelo pomembna izbira ustrezne lesne vrste ter poznavanje rastnih karakteristik posamezne vrste lesa. (Pohleven, 2008).

2. 3 TRAJNOST LESA

Trajnost je čas v katerem les ohrani svoje naravne lastnosti in je odvisna od naravne odpornosti drevesne vrste, načina ter mesta uporabe, biocidne zaščite. Izbira pravilne drevesne vrste in primerni postopek zaščite lahko močno podaljša trajnost lesa. Pri ustrezni izbiri glede postopka zaščite so strokovnjaki lesene izdelke razdelili v pet različnih razredov izpostavitve glede na njihovo ogroženost (Pohleven, 2008).

2. 3. 1 Estetska in funkcionalna življenjska doba

Življenjska doba ali obdobje, ko izdelek opravlja svojo funkcijo. Življenjsko dobo merimo v časovnih enotah, v katerem les ohranja lastnosti, ki se zahtevajo za določen namen uporabe. Dostikrat pa življenjsko dobo definirajo estetski vidiki, zaradi katerih zavržemo določen izdelek. Kljub temu, da je izdelek še funkcionalen in uporaben. Zato je pomembno pri estetski kot tudi funkcionalni življenjski dobi pravilna zaščita in mesto uporabe. (Lone R. G. in Olav A. H. 2011).

2. 4 MODIFIKACIJA LESA

Modifikacija lesa je okolju prijazna metoda, katere cilj je lesu podaljšati življenjsko dobo. Pri postopku modifikacije vplivamo na polimere v celični steni in spremimo strukturo lesa na molekularnem nivoju in s tem lastnosti lesa (Rep in Pohleven, 2002). Metode modifikacije lesa preučujejo že približno sedemdeset let. Vendar šele kakšno desetletje je modifikacija postala pravi trend zaščite lesa. Pred tem je bila veliko bolj pogosta kemična zaščita lesa. Vendar zaradi svojih stranskih učinkov, ki so bili škodljivi za ljudi in okolico, so pričeli z omejevanjem kemičnih sredstev.

2. 4. 1 Načini modifikacije:

- Modifikacija z encimi, danes najmanj raziskovano področje. Omogoča modifikacijo že na sobni temperaturi in sicer s pomočjo encimov. Spremenimo osnovno molekularno strukturo lesa (Rep in Pohleven, 2002).
- Pri kemični modifikaciji lesa poteka reakcija med kemičnim reagentom in komponentami lesnih polimerov. Postopek je zelo drag in problematičen pri drevesnih vrstah s slabo penetracijo kemičnega sredstva (Rep in Pohleven, 2002).
- S termično modifikacijo, s segrevanjem lesa, pri temperaturi med 150 in 260 °C brez prisotnosti kisika spremenimo osnovno molekularno strukturo lesa. Pri tem pride do delne depolimerizacije polimerov v celični steni in do preoblikovanja polimerov (Rep in Pohleven, 2002).

2. 4. 2 Termična modifikacija lesa

Med vodilne proizvajalce termično modificiranega lesa sodijo Finska, Francija, Nemčija in Nizozemska, vedno bolj pa tudi ZDA.

Glavne razlike med posameznimi postopki termične modifikacije lesa so predvsem v načinu zagotavljanja odsotnosti kisika, kar dobimo z:

- dušikom (Vernois, 2011),
- vodno paro (Jamsa in Viitainiemi, 2001),
- vročim oljem (Tjeerdsma in sod.,1998; Sailer in sod.,2000; Rapp in Sailer, 2001; Militz, 2002),
- vakuumom (Rapp in sod., 2001).

S termično modifikacijo dosežemo daljšo življenjsko dobo in večjo dimenzijsko stabilnost lesa, poslabšajo pa se njegove mehanske lastnosti. Lastnosti termično modificiranega lesa lahko uravnavamo s spreminjanjem različnih parametrov, kot je temperatura modifikacije in trajanje izpostavitve najvišji temperaturi. Višja kot je temperatura modifikacije, večji sta dimenzijska stabilnost in odpornost modificiranega lesa proti škodljivcem, poslabšajo pa se mehanske lastnosti (Rep in Pohleven, 2002).

2. 5 SORPCIJSKE LASTNOSTI LESA

Les je higroskopen pod točko nasičenosti lesnih vlaken. Pod to vlažnostjo les lahko iz okoliškega zraka vpije vodne hlape ali oddaja svojo vlago zraku. Les namreč prilagodi svojo vlažnost vlažnosti in temperaturi zraka v okolici. Pojav higroskopsnosti nastopi zaradi kemične zgradbe lesa in velike notranje površine celičnih sten. Zaradi teh prostorov les z veliko silo (adsorpcija) privlači vodne hlape iz zraka in se navlaži. Če pa so sile srkanja zraka večje, potem les vlago oddaja (desorpcija) in se suši. Pri izenačenih silah pa nastopi higroskopsko ravnovesje. Takrat les ne oddaja in ne sprejema vlage. Ravnovesna lesna vlažnost se spremeni, če se spremenita relativna vlažnost zraka ali temperatura zraka. Posebnost lesa je, da so ravnovesne vlažnosti v procesu sušenja (desorpcije) vselej višje od ravnovesnih vlažnosti, doseženih pri navlaževanju (adsorpciji). Ta pojav imenujmo histereza (Geršak in Velušček, 2003).

Higroskopsnost je odvisna od števila sorpcijskih mest. Le teh je največ pri razvejanih hemicelulozah, med tem ko so pri celulozi dostopne le skupine na površini kristalitov in skupine v prehodnih amorfnih področjih. Zaradi največjega deleža prispeva k celotni sorpciji še vedno največ celuloza 47 %, nato sicer najbolj higroskopsne hemiceluloze 37% in najmanj lignin 16% (Christensen in Kelsey, 1959).

2. 5. 1 Sorpcijske lastnosti TM lesa

S termično obdelavo lesa se izboljšajo sorpcijske lastnosti. Kajti termo modificiran les se manj navlaži, kar pomeni manjša higroskopsnost, ki je odvisna od časa in temperature delovanja. Večja kot je bila temperatura in daljši čas pri termo modificiranju, manjša je higroskopsnost lesa. Vendar to velja samo do neke točke kajti previsoka temperatura obdelave naredi več škode, kot dobrega. Na sorpcijske lastnosti vpliva tudi atmosferski zrak v katerem je potekal proces. Enako se spremeni oblika histerezne zanke, ki sedaj je bolj linearne oblike (Stamm, 1964).

Termo modificiranemu lesu pa se ne izboljša samo navzem vlage ampak prav tako tudi dolgotrajni in kratkotrajni navzem vode. Tako rekoč se mu izboljša vodoodbojnost, in tako postane manj dovzeten za razkroj in vdor škodljivcev. Na navzem vode prav tako vplivata čas in temperatura obdelovanja. Sorazmerno z naraščajočo temperaturo narašča vodoodbojnost. (Humar in sod. 2016)

2. 6 UPORABLJENI MATERIALI

2. 6. 1 Smreka (*Picea abies*)

Smrekovina je hitrorastoči iglavec in naša gospodarsko najpomembnejša vrsta. Njena beljava in jedrovina sta rumenkasto bele do rdečkaste barve. Star les se pogosto obarva na rumenkasto rjavo barvo. Sama meja med branikami je zelo razločna, prijeten vonj in rahel sijaj pripomore k njeni prepoznavnosti. Smolne kanale se vidi v kasnem lesu in sicer kot svetle točke. Prav tako jih opazimo tudi na prečnem in vzdolžnem prerezu. Trakovi so ozki in jih težko ali pa sploh ne vidimo s prostim očesom. Grče so v prečnem prerezu po navadi ovalne (Polanc in Leban, 2004).

2. 6. 2 Lastnosti lesa

Smrekovina je zelo mehak les in ima nizko do srednjo gostoto. Gostota absolutno suhega lesa se giblje med 300 – 490 – 860 kg/m³. Tlačna trdnost je srednja, upogibna trdnost in modul elastičnosti sta nizka. Prav tako je nizek razcepni odpor. Les je zelo slabo odporen proti glivam in insektom, na vremenske vplive je zmerno odporen, pod pogojem, da ni v stiku z zemljo. Prav tako je zmerno odporen proti šibkim kislinam in bazam. Smrekovina je po končanem sušenju dimenzijsko stabilna (Polanc in Leban, 2004).

2. 6. 3 Obdelava lesa

Les smrekovine se dobro suši, rahlo je nagnjen k veženju in pokanju. Dobro se mehansko obdeluje kot tudi struži in se zato izdelajo gladke površine. Lepi se brez večjih težav kot tudi luži, lakira vendar se zelo težko impregnira (Polanc in Leban, 2004).

2. 6. 4 Uporaba lesa

Smrekovina se uporablja za:

- furnir, rezani in luščeni, vezane plošče,
- pohištvo, obloge, notranjo opremo,
- stavbno pohištvo,
- gradbeni les, iverne in vlaknene plošče,
- za izdelavo glasbil (resonančni les), za embalažo, celulozo in drugo (Polanc in Leban, 2004).

2.7 TEORETIČNE OSNOVE UPORABLJENIH METOD

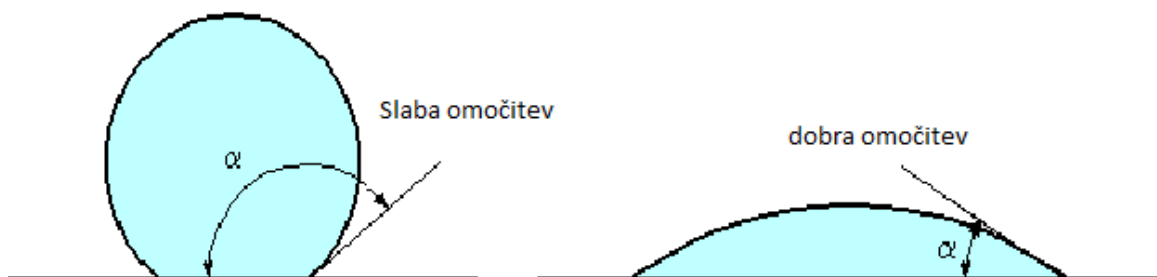
2. 7. 1 Kontaktni kot

Eden iz med pogostejših načinov za merjenje omočljivosti površine, materiala je kontaktni kot. Stični oziroma kontaktni kot nam pove obnašanje tekočine, ob nanosu na trdno površino. Omočenje, se določa z merjenjem kontaktnega kota, ki ga tvorita tekočina oziroma premaz s podlago. Večji kot je kontaktni kot, manjše je omočenje. Za površinske premaze in zaščitna sredstva želimo da je kontaktni kot čim večji. Hidrofobne površine imajo kontaktni kot med tekočino in podlago večji od 90° . Pravimo tudi, da imajo efekt lotusovega lista. Površine katere imajo kontaktni kot manjši od 90° so hidrofilne površine (Chemwiki, 2015).

Za idealno podlago velja, da je kontaktni kot tekočine na tej podlagi odvisen od površinske napetosti tekočine (γ_{lv}), površinske energije podlage (γ_{sv}) in medfazne napetosti na stiku tekočine s trdno podlago (γ_{sl}). Zvezo opisuje Youngovo enačba :

Formula za izračun kontaktnega kota (1)

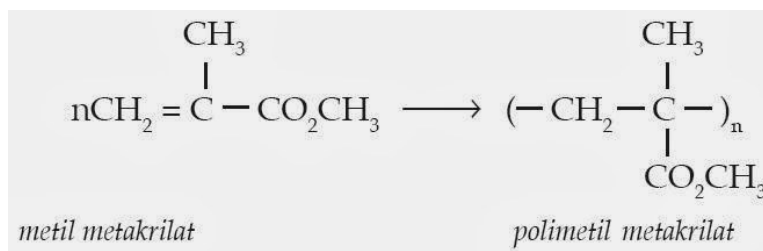
$$(\gamma_{sv}) = (\gamma_{sl}) + (\gamma_{lv}) \cos \alpha \quad \dots(1)$$



Slika 1: Prikaz kontaktnega kota, levo (hidrofobna) in desno (hidrofilna) površina (Ramé-hart, 2015)

2. 8 MMA- metilmetakrilat

Metilmetakrilat ali skrajšano MMA je organska spojina s formulo $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_3$ in je metilni ester - metakrilne kisline. Z molekulsko formulo ($\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$) in molekulsko maso 100.2g/mol je brez barvana tekočina, ki se v veliki meri uporablja za sintezo polimetil metakrilata oziroma PMMA. Pogosto so ji dodani razni inhibitorji kajti spojina je zmožna sama inicirati polimerizacijo (Wikipedija, 2017).



Slika 2: Polimerizacija (MMA, 2017)

Formula za MMA je bila določena že leta 1865 in sicer na podlagi acetona in hidrogenovega cianida. Leta 1877 je nemški znanstvenik Wilhem Rudolph Fitting polimeriziral MMA v PMMA, nam bolj znan kot pleksi steklo (Wikipedija, 2017).

2. 8. 1 Uporaba MMA in PMMA

PMMA ima dobro odpornost na vremenske razmere, in z dodatkom pigmenta ga lahko obarvamo. Zaradi tega je primeren za razne premaze in emajle. Poleg tega se uporablja v gradbeništvu, ladjedelništvu, beli tehniki in avtomobilski industriji. Prisoten pa je tudi v medicini in sicer pri obnovi kolkov in kolen, v zobozdravstvu za akrilatne zobne prevleke, zobne proteze in začasne mostičke (Wikipedija, 2017).

2. 8. 2 Inhibitorji

Inhibitor ali zaviralec je snov, ki preprečuje ali zavira kemični ali biokemični proces. Fenatiazin se uporablja kot kemijski stabilizator ali inhibitor z namenom podaljšanja roka uporabljenih produktov. (Wikipedija, 2017).

2. 9 VIWOOD - TRANSPARENTNA POLIMERNA MASA ZA ZALIVANJE RAZPOK V LESU

VIWOOD je dvokomponentna nizko viskozna zalivna masa, primerna za zalivanje razpok v lesu in izdelavo atraktivnih kompozitov lesa in smole, izdelavo nakita, pohištva, orodja in podobno. V našem primeru smo ga uporabili, za zalivanje vzorcev, ki smo jih uporabili pri floating testu.

VIWOOD je možno niansirati s transparentnimi ali kritnimi pigmenti VIVAT, lesno moko in mineralnimi polnili (Revivo, 2017).



Slika 3: VIWOOD, dvokomponentna nizkoviskozna zalivna masa (foto: Samo Žitko, 2017)

3 MATERIAL IN METODE

3.1 PRIPRAVA VZORCEV

Smrekove vzorce smo peljali v proizvodni obrat Silvaproduct na Igu. Silvaproduct d.o.o je podjetje za proizvodnjo in prodajo sredstev za zaščito materialov. Od leta 1951 skrbijo in razvijajo nove načine za zaščito lesa. Najbolj poznan njihov produkt za zaščito lesa je Silvanolin ter s programom za termično obdelavo Silvapro. Zračno suho smrekovino smo termično obdelali pri temperaturi 210 °C in 230 °C. Programa, ki sta se razlikovala po temperaturi smo poimenovali okna (210 °C) in fasada (230 °C). Saj navedeni temperaturi uporabljajo za zaščito oken oziroma fasad.



Slika 4: Obrat Silva- produkta na Igu (foto: arhiv Silvaproduct d.o.o.)



Slika 5: Komore za termo modifikacijo (foto: arhiv Silvaproduct d.o.o.)

3. 1. 2 Vzorci

Za eksperimentalni del smo uporabili termično modificirano zračno suho – uravnovešeno (8-10 %) smrekovino. Orientacija letnic je bila $45 \pm 15^\circ$. Vzorci so bili brez smolnih kanalov, grč, reakcijskega lesa in brez stržena. Dimenzije vzorcev so se med seboj razlikovale, glede na to katere standardne teste smo izvajali. Dimenzija prvih vzorcev je bila ($4\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 2,5\text{ cm}$) in drugih ($1,5\text{ cm} \times 2,5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$). Skupaj je bilo približno 400 vzorcev, nekaj dodatnih vzorcev smo porabili za nastavljanje optimalnih prametrov za obdelavo z MMA. Vzorci smo oštevilčili in označili s kratico postopka. O - okna in F – fasada.



Slika 6: Razrez vzorcev (foto: Samo Žitko, 2017)



Slika 7: Pripravljeni vzorci (foto: Samo Žitko, 2017)

3. 2 PRIPRAVA IMPREGNACIJSKEGA SREDSTVA

Za eksperiment smo pripravili 3 različne raztopine, kot je to razvidno v spodnji tabeli. Za prvi del vzorcev smo uporabili 250 g MMA in 1% Fenetiazin inhibitorja in za preostali del vzorcev smo uporabili 200 g MMA in 1% inhibitorja. Del vzorcev smo pustili ne obdelanega z MMA in so služili za kontrolo.

Preglednica 1: Priprava in potek obdelave vzorcev z MMA

LEGENDA OBDELAV	
Oznaka	Obdelava
A	15 minut vakuum nato dodamo 250 g MMA z 1% inhibitorja, dvignemo tlak na 5 barov in pustimo 4 h. Temperaturo že na začetku postopka nastavimo na 150 °C, tlak med postopkom naraste na 8,3 bar
B	15 minut vakuum nato dodamo 250 g MMA brez inhibitorja, dvignemo tlak na 6 barov in pustimo 6 h. Temperaturo že na začetku postopka nastavimo na 160 °C, tlak med postopkom naraste na 9,5 barov. Temperatura med dovajanjem MMA v komoro je bila 150 °C
C	15 min vakuum nato dodamo 200 g MMA z 1% inhibitorja, tlak dvignemo na 9 barov in pustimo 20 h. Temperaturo že takoj nastavimo na 120 °C. Tlak med postopkom naraste na 10 barov, nato je padel na 7 barov. Temperatura med dovajanjem MMA v komoro je bila 120 °C.
D	Termično obdelan na 210 °C in 230 °C
E	Smreka nemodificirana in neobdelana z MMA- kontrola

3. 3 DOLOČANJE NAVZEMA

Označene suhe vzorce smo z elektronsko tehtnico tehtali in podatke vnesli v tabelo za lažji pregled, po končani obdelavi smo vzorce postavili v eksikator ter ponovno tehtali in izračunali navzem.

Navzem smo izračunali po formuli (2)

$$(m_1 - m_2) / V_1 \quad \dots(2)$$

m_1 - masa pred impregnacijo

m_2 - masa po impregnaciji

V_1 - volumen preizkušanca

3. 4 IMPREGNACIJA

Označene smrekove vzorce po 10 kosov, od obeh programov in obeh dimenzij smo zložili v kovinsko posodo. Posodo tehtali in na podlagi že prej izračunane mase vzorcev, procentualno pripravili MMA raztopino. Nato smo posodo postavili v vakuumsko tlačno komoro KAMBIČ, pričeli z dovajanjem MMA. Začetnih 15 minut ustvarimo v komori nadtlak za boljše vplinjavanje. Po zaključku postopka postavimo vzorce še v sušilnik

KAMBIČ, na 103 ± 2 °C za 24 ur. Po izteku časa smo vzorce postavili še v eksikator nato stehali in izračunali navzem.

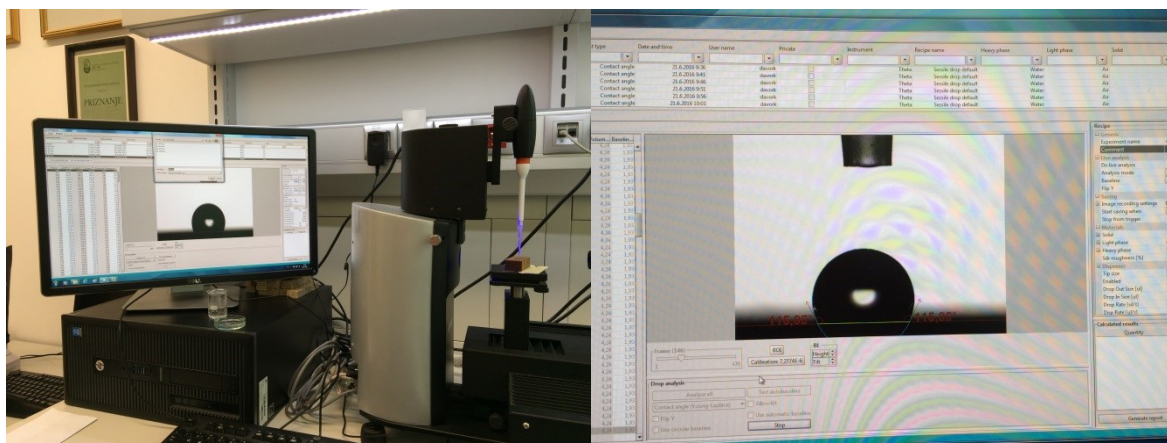


Slika 8: Vzorci po impregnaciji levo in desno (foto: Samo Žitko)

3. 5 UPORABLJENE METODE

3. 5. 1 Kontaktni kot

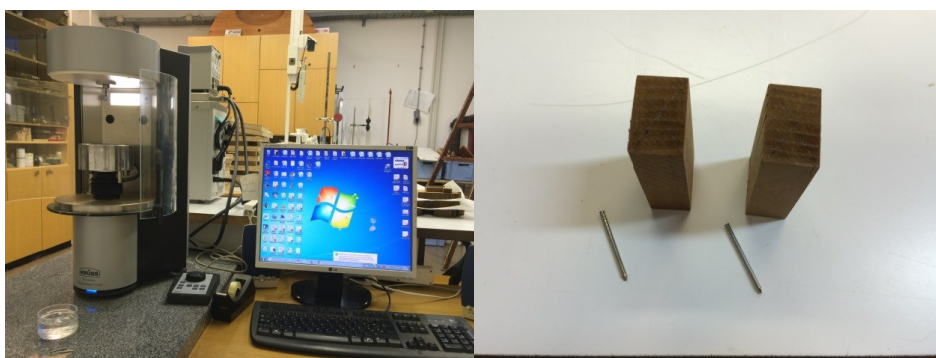
Kontaktni kot smo merili s tenziometrom znamke Theta, Optical tensiometer. Napravo je potrebno pred vsakim ponovnim zagonom kalibrirati. Po končanem kalibriranju je potrebno pipeto napolniti z destilirano vodo. Pred začetkom meritev je potrebno nastaviti program One Attension. Pri nastavitvi programa za ustrezno izmerjene podatke smo upoštevali naslednje parametre. Meritve smo izvajali na vzorcih dimenzij ($1,5 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$) in sicer (3) kapljice na posameznem vzorcu. Kapljice destilirane vode v velikosti 4uL, ki so bile med seboj v razdalji 10 mm v x in y osi. Ko se je kapljica ločila od pipete, je kamera pričela s snemanjem kontaktnega kota. Vsak kontaktni kot smo beležili 60 sekund. Merili smo desni in levi kot kapljice in na koncu izračunali povprečje obeh kotov.



Slika 9: Theta optični tenziometer (levo) in kapljica (desno) (foto: Samo Žitko)

3. 5. 2 Kratkotrajni navzem vode

Po standardu EN 1609 smo izvedli kratkotrajni navzem vode. S pomočjo Tenziometra znamke KRÜSS (Processor Tensiometer K 100). Na sredino čela vzorcev dimenzij (1,5 cm × 2,5 cm × 5 cm) smo narisali x in tako določili sredino vzorca, kamor smo kasneje zabili žebelj s pomočjo katerega smo vzorec vpeli v napravo. Pomembno pri pribijanju žebelja je bilo, da smo bili pozorni na ustrezní kot, in sicer 90 °C. Kajti le tako bo vzorec enakomerno potopljen, in temu ustrezne meritve. Vzorec smo s pomočjo žebelja vstavili v stroj in čelno stran potopili v destilirano vodo. Meritev je potekala 200 s, globina potopitve vzorca je bila 0,5 mm. Program je pričel z meritvijo in vsaki dve sekundi je zabeležil navzem vode v gramih in izrisoval krivulje v grafu.



Slika 10: Tenziometer (levo) in priprava vzorcev za meritve (desno) (foto: Samo Žitko)

3. 5. 3 Dolgotrajni navzem vode

Vzorci dimenzij (4 cm × 4 cm × 2,5 cm) je bilo potrebno posebej pripraviti za floating test oz. test potapljanja, ki smo ga izvajali po standardu (SIST EN 16818, 2015). Vzorce smo morali najprej premazati z Viwoodom dvokomponentnim nizkoviskoznim zalivnim premazom. Želeli smo narediti učinek neprepustnega plašča, ki bi preprečil vdor vode ob straneh vzorca. Tako smo premazali vzorec le ob straneh, torej čela in stranici. Spodnjo in zgornjo oziroma največji površini vzorca smo pustili nepremazani. Premazovati je bilo potrebno večkrat, postopek smo ponovili od štirikrat do petkrat. Tako se je ustvaril 1 mm debel neprepustni film. Nato smo vzeli večjo posodo in jo napolnili z destilirano vodo, destilirane vode je bilo potrebno toliko, da se vzorci niso dotikali dna. Vzorce smo položili v vodo, pri tem pazili površine nismo zmočili. Tehtanje je potekalo po standardu 1 h, 4 h, 8 h, 24 h, 48 h, 72 h in 114 h, in sicer poteka tako, da smo vzorce vzeli iz vode, nežno obrisali z brisačo, postavili na elektronsko tehtnico in odčitali maso.



Slika 11: Vzorci med dolgotrajnim potopljenjem -floating test (foto: Samo Žitko)

3. 5. 4 Uravnovešanje vzorcev pri visoki vlagi

Vzorci dimenzij (1,5 cm × 2,5 cm × 5 cm) smo stehali v absolutnem suhem stanju. Vzorce smo postavili v sušilnik Kambič na 60°C za 72 ur. Po pretečenem času smo vzorce previdno vzeli in jih postavili v eksikator. Po 15 minutah kondicioniranja v eksikatorju smo smrekove vzorce stehali z elektronsko tehtnico na 4 decimalke natančno. Po končanem tehtanju smo vzorce postavili v komoro s 100 % relativno zračno vlažnost za 24 ur. Na dnu komore je destilirana voda, nad vodo pa kovinski podstavek, ki preprečuje namakanje vzorcev. Ventilator, ki je pritrjen na vrhu komore skrbi za enakomerno cirkulacijo zraka. Po izteku 24 ur, smo vzorce ponovno vzeli ven, stehali in rezultate vnesli v tabelo. Po končanem tehtanju smo jih postavili v komoro še za tri tedne. Po izteku treh tednov, smo jih ponovno stehali in rezultate vnesli v tabelo.



Slika 12: Sušilnik Kambič (foto: Samo Žitko)



Slika 13: Komora s 100 % RZV (levo) in vzorci izpostavljeni 100 % RZV(desno) (foto: Samo Žitko)

3. 5. 5 Sušenje nad silikagelom

Pri našem eksperimentu smo z silikagelom simulirali hitro sušenje vzorcev lesa. Vzorce, ki smo jih pred tem imeli tri tedne na 100 % zračni vlagi smo zaprli v večjo neprepustno plastično posodo. Čas simuliranja je trajal 24 ur, po izteku časa smo vzorce ponovno stehali in rezultate vnesli v tabelo.



Slika 13: Komora s silikagelom in vzorci (foto Samo Žitko)

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 NAVZEM

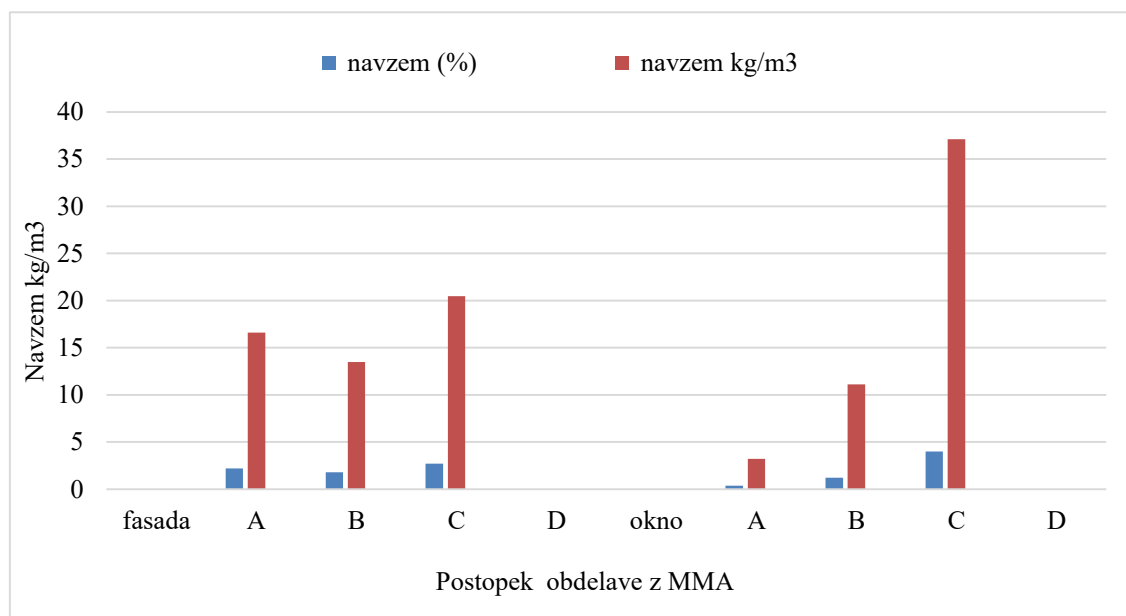
Navzem smo določali, ker nas je zanimal vpliv MMA na sorpcijske lastnosti lesa. Poleg tega nas je zanimal vpliv postopka termo modifikacije in obdelavo z MMA na sam navzem.

Največji navzem pri obeh dimenzijah in obdelavi z MMA je bil pri vzorcih (C). Omenjena obdelava se je izkazala za najboljšo in sicer pri večjih vzorcih ($4\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 2,5\text{ cm}$) z navzemom ($20,5\text{ kg/m}^3$ in $37,1\text{ kg/m}^3$). Pri vzorcih manjših dimenzij ($1,5\text{ cm} \times 2,5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$) je navzem znašal ($8,0\text{ kg/m}^3$ in $6,1\text{ kg/m}^3$). V primerjavi z ostalima obdelavama smo zmanjšali začetno temperaturo ter povečali začetni in končni tlak. Menimo, da sta povečani tlak in zmanjšana temperatura v komori učinkovala pozitivno in tako je MMA lažje in bolje penetriral v les. Predvidevamo, da pri nižji temperaturi MMA ni tako hitro polimeriziral že v komori, ampak je v plinski fazi prodrl v les in tam polimeriziral.

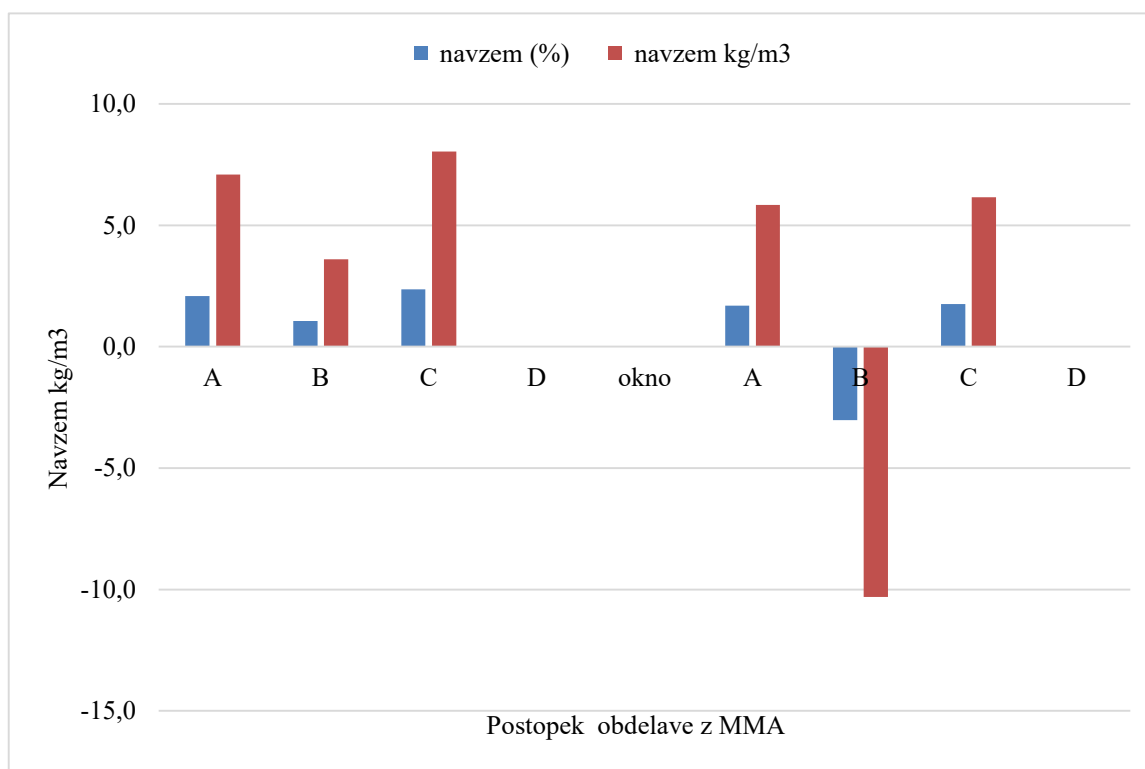
Obdelavo (B), v našem primeru ne moremo primerjati z ostalima. Kajti med obdelavo z MMA so se nam nekateri vzorci, zažgali in tako pripomogli k manjšemu in negativnemu navzemu ($-10,3\text{ kg/m}^3$). Zaradi prisotnosti kisika v komori in visoke temperature je prišlo do dodatne oksidacije in pooglenitve. Predvidevamo, da je med postopkom prišlo do dodatne termične razgradnje ob prisotnosti kisika, zato smo dobili nepričakovano visoke izgube mase. Začetna in končna temperatura sta bili visoki in sicer začetna $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ in končna $160\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Preglednica 2: Povprečni suhi navzem po obdelavi z MMA

	Obdelava	Povprečni navzem MMA (%)	Navzem v kg/m^3
Fasada $T = 230^{\circ}$ Vzorci: $4 \times 4 \times 2,5$	A	2,2	16,6
	B	1,8	13,5
	C	2,7	20,5
	D	0	0
	A	0,3	3,2
	B	1,2	11,1
	C	4,0	37,1
	D	0	0
Fasada $T = 230\text{ }^{\circ}\text{C}$ Vzorci: $1,5 \times 2,5 \times 5$	A	2,09	7,1
	B	1,06	3,6
	C	2,36	8,0
	D	0	0
Okno $T = 210\text{ }^{\circ}\text{C}$ Vzorci: $1,5 \times 2,5 \times 5$	A	1,69	5,8
	B	-3,03	-10,3
	C	1,76	6,1
	D	0	0



Slika 14: Povprečni suhi navzem v odstotkih in v kg/m³ za vzorce (4 cm x 4 cm x 2,5 cm) po obdelavi z MMA



Slika 15: Povprečni suhi navzem v odstotkih in v kg/m³ za vzorce (1,5 cm x 2,5 cm x 5 cm) po obdelavi z MMA

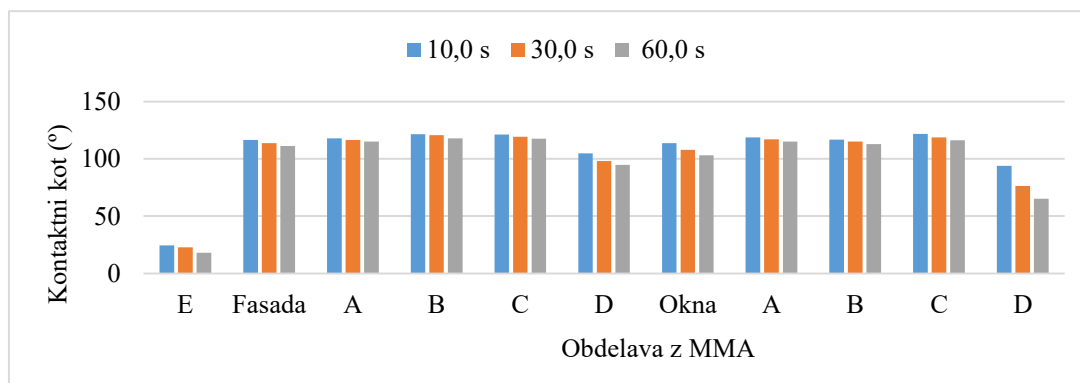
4. 2 KONTAKTNI KOT

Merjenje kontaktnega kota je potekalo 60 s. Rezultate podajamo za tri različnih časovna obdobja, ki so vidni v preglednici 3. Zanimala nas je velikost kontaktnega kota in kako se ta spreminja s časom. Kontaktni kot nam pove ali se kapljica vode odbije od površine vzorca ali vpije. Poleg vzorcev obdelanih z MMA smo uporabili še termično modificirane vzorce smrekovine (D) in kontrolne neobdelane vzorce smrekovine (E).

Kontrolni vzorci so pričakovano dosegli najnižje kontaktne kote. Očitne razlike se opazijo tudi že med navadno in termično obdelano smrekovino. In sicer povprečni kot navadne smrekovine je po 60 sekundah znašal (18 °) in termično obdelane smrekovine med (69 ° okno in 95 ° fasada). Med vzorci obdelanimi po postopku MMA, ni očitnih razlik, in sicer povprečni kot pri obeh temperaturah termične modifikacije znaša (115 °). Za najbolj optimalno obdelavo, se je glede na rezultate izkazala (C) obdelava. Rezultati so pokazali, da obdelava lesa z MMA poveča kontaktni kot vode na površini. Vsi vzorci obdelani z MMA so postali hidrofobn medtem ko so termično modificirani in vzorci naravne smrekovine hidrofilni.

Preglednica 3: Povprečni kontaktni kot v različnih časovnih obdobjih

	Obdelava	po 10 s (°)	po 30 s (°)	po 60 s (°)
Fasada T = 230 °C	A	118	117	115
	B	121	121	118
	C	121	119	115
	D	105	98	95
Okno T = 210 °C	A	119	117	115
	B	117	115	113
	C	122	119	116
	D	94	76	69
Smreka kontrola	E	25	23	18



Slika 16: Povprečni kontaktni kot v stopinjah po 10, 30 in 60 sekundah

4. 3 KRATKOTRAJNI NAVZEM VODE

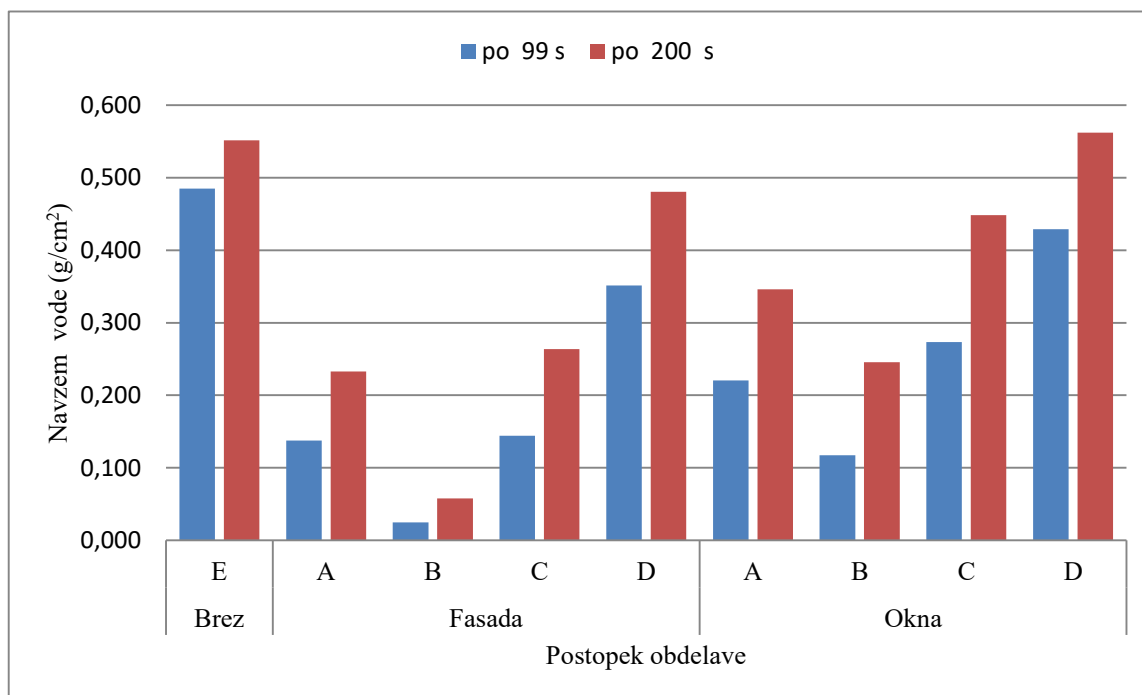
S kratkotrajnim navzemom vode smo preverjali koliko vode vpijejo vzorci preko čelnih površin. Kajti čela nam pomenijo kritično točko. Na nek način najbolj izpostavljena, hkrati pa predstavljajo lahek dostop vode in insektov v les. Iz spodnje preglednice lahko razberemo, da je bil povprečni kratkotrajni navzem vode največji pri nemodificirani smreki. Oziroma kontrolnih vzorcih in sicer po 200 s je navzem znašal ($0,552 \text{ g/cm}^2$). Opazijo se očitne razlike že med navzemom navadne in termično modificirane smrekovine. Termično modificirana smrekovina brez dodanega MMA, pri obeh obdelavah ima manjši navzem vode. In sicer najnižji navzem vzorcev obdelanih po (D) postopku in po 200 s fasada je ($0,481 \text{ g/cm}^2$). Hkrati opazimo tudi razlike med obdelavama termične modifikacije. Kajti obdelava z višjo temperaturo termične modifikacije (230°C) ima v povprečju manjše navzeme. Za primerjavo obeh obdelav, smo vzeli najmanjši navzem vode pri oznaki (B). Pri postopku fasad oznaka (B) ima kratkotrajni navzem vode po 200 s ($0,058 \text{ g/cm}^2$) in obdelavi okna, ima ($0,246 \text{ g/cm}^2$).

Kar lahko sklepamo, da na navzem vode vpliva povečana temperatura termične modifikacije. Pri višji temperaturi termične modifikacije dosežemo manjše navzeme.

V vzorce oznak (A), (B), (C) obeh postopkov termične modifikacije smo vplinjevali MMA. Vsebnost MMA je bila pri vseh treh postopkih enaka le postopek obdelave (tlak in temperatura) se je razlikoval. Na splošno, če vse tri obdelave primerjamo s kontrolnimi in termično modificiranimi vzorci, opazimo očitne razlike navzema. V vseh primerih smo dosegli pozitivni rezultat, vse vrednosti so manjše od kontrolnih. Najmanjši navzem smo dosegli pri termično modificiranih vzorcih 230°C in obdelanih z MMA po (B) obdelavi. Sklepamo, da je pri tej obdelavi prišlo do dodatne termične modifikacije in je les zato še bolj hidrofoben.

Preglednica 4: : Povprečni kratkotrajni navzem vode določen s tenziometrom v različnih časovnih obdobjih

		Navzem vode (g/cm^2)	
		Obdelava	
		po 99 s	po 200 s
Fasada $T = 230^\circ$	A	0,137	0,233
	B	0,024	0,058
	C	0,144	0,264
	D	0,351	0,481
Okno $T = 210^\circ$	A	0,220	0,346
	B	0,117	0,246
	C	0,274	0,448
	D	0,429	0,562
		E	0,485
			0,552

Slika 17: Povprečni kratkotrajni navzem vode v g/cm² določen s tenziometrom po 99 in 200 sekundah

4. 4 DOLGOTRAJNI NAVZEM VODE

Dolgotrajni navzem vode smo ugotavljali po postopku, ki ga predpisuje standard pr EN 16818:2015. Standard je v osnovi namenjen izpiranju aktivnih učinkovin iz lesa. Postopek smo malo prilagodili in uporabili za definiranje režimov namakanja lesa v vodo. Rezultati so pokazali, da imajo vzorci z višjo vsebnostjo MMA nižje vlažnosti med dolgotrajnim namakanjem. Podatki v tabeli, so izraženi kot vlažnost lesa po določenem času namakanja. Izrazili bi jih lahko tudi drugače, v gramih vode, ki jih je vpil posamezni vzorec. Menimo, da je izbrana oblika preglednejša, saj imajo vzorci med seboj primerljivo gostoto.

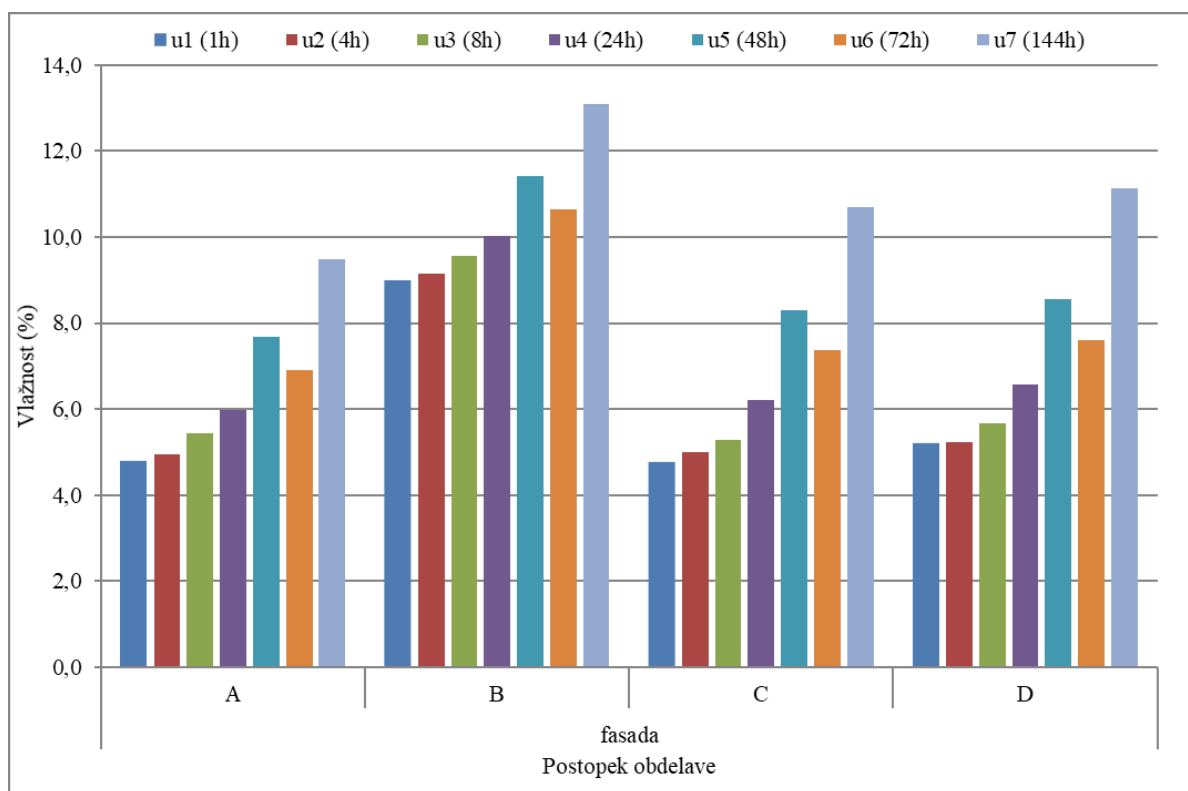
Maso smo vzorcem določevali po različnih obdobjih (po 1, 4, 8, 24, 48, 72 in 144 ur potopitve). Vlažnost je v vseh primerih naraščala sorazmerno. Obdelava (B) izstopa, kateri ima največji navzem vode. V tem primeru, kaže v prav nasprotno smer od kratkotrajnega navzema vode in sicer so se od vseh programov najbolj navlaževali prav vzorci (B). Ti vzorci so med obdelavo z MMA pridobili najmanj mase oziroma je v nekaterih primerih prišlo celo do izgube mase. Rezultati so pričakovani bolj, ko je les modificiran (višja temperatura modifikacije) bolj je permeabilen. (Humar in sod., 2016)

Preglednica 5: Povprečni navzem kapljične vode v procesu navlaževanja med dolgotrajnim namakanjem - floating test po standardu pr EN 16818.

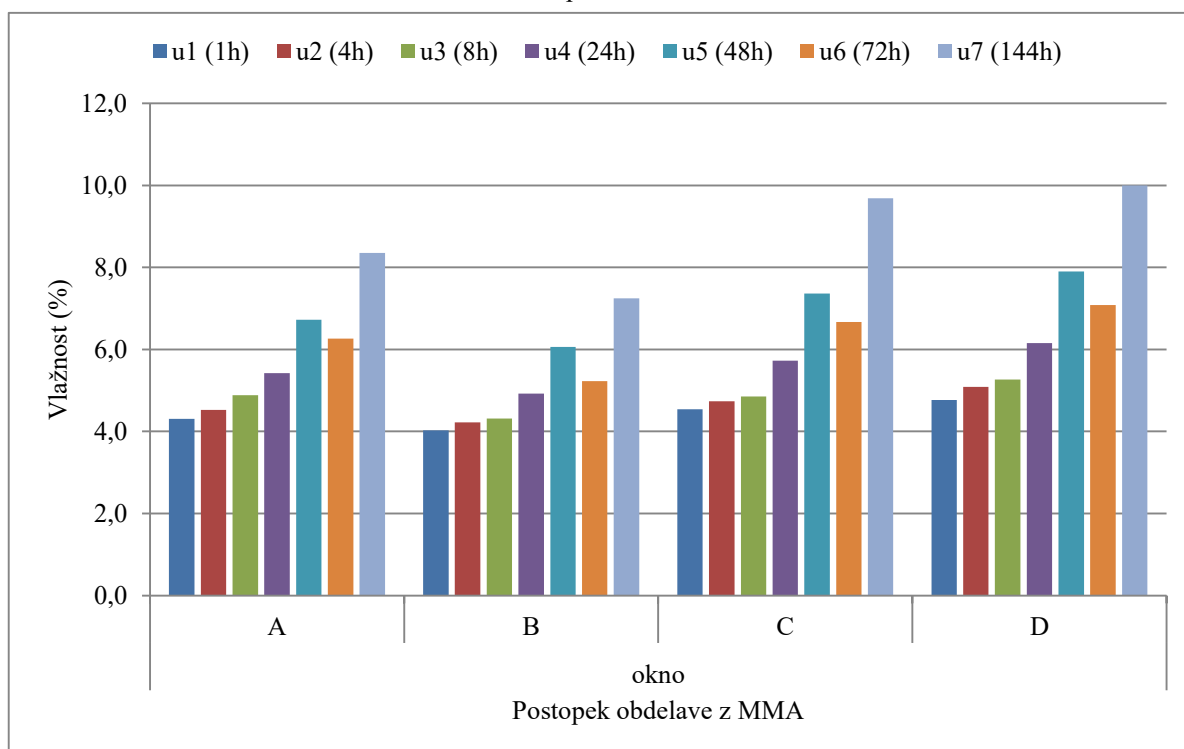
	Obdelava	1 h (%)	4 h (%)	8 h (%)	24 h (%)	48 h (%)	72 h (%)	144 h (%)
Fasada T = 230 °	A	4,8	4,9	5,4	6,0	6,9	7,7	9,5
	B	9,0	9,1	9,6	10,0	10,6	11,4	13,1
	C	4,8	5,0	5,3	6,2	7,4	8,3	10,7
	D	5,2	5,2	5,7	6,6	7,6	8,5	11,1
Okno T = 210 °	A	4,3	4,5	4,9	5,4	6,3	6,7	8,4
	B	4,0	4,2	4,3	4,9	5,2	6,1	7,2
	C	4,5	4,7	4,9	5,7	6,7	7,4	9,7
	D	4,8	5,1	5,3	6,2	7,1	7,9	10,0

Preglednica 6: Povprečna vlažnost vzorcev v procesu sušenja med dolgotrajnim namakanjem – floating test po standardu pr EN 16818.

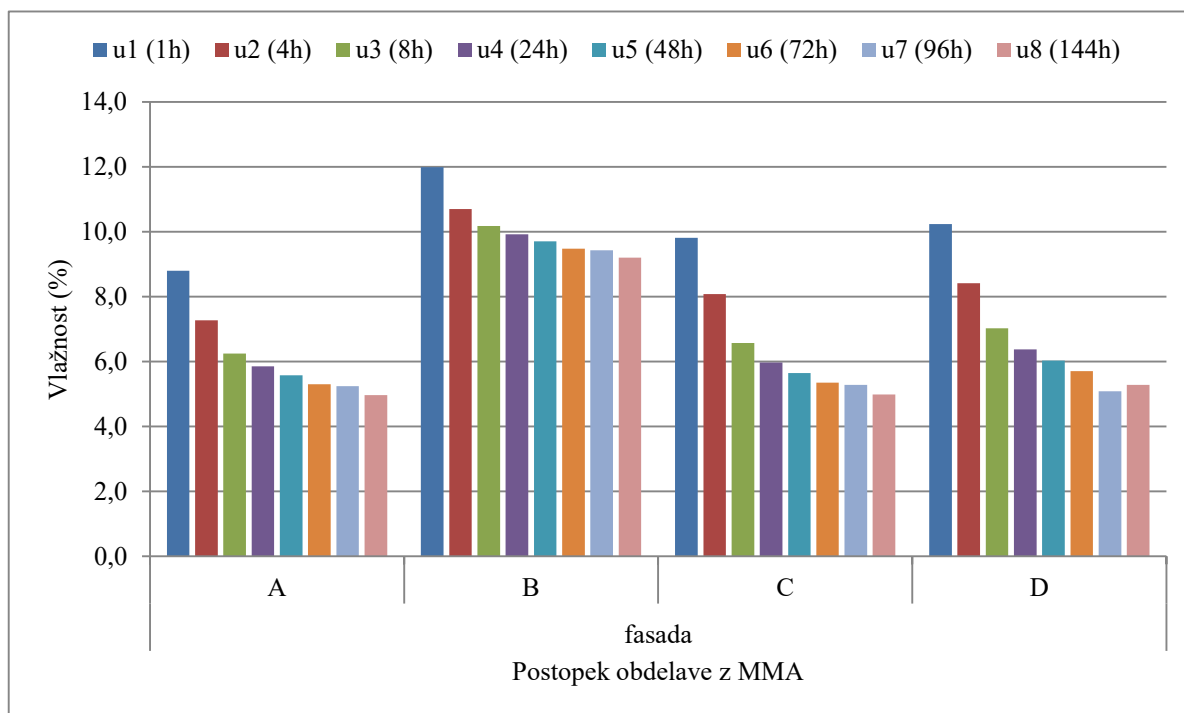
	Obdelava	1 h (%)	4 h (%)	8 h (%)	24 h (%)	48 h (%)	72 h (%)	144 h (%)
Fasada T = 230 °	A	8,8	7,3	6,2	5,8	5,6	5,3	5,0
	B	12,0	10,7	10,2	,9	9,7	9,5	9,2
	C	9,8	8,1	6,6	6,0	5,6	5,4	5,0
	D	10,2	8,4	7,0	6,4	6,0	5,7	5,3
Okno T = 210 °	A	7,7	6,2	5,4	5,1	4,8	4,6	4,4
	B	6,4	5,4	4,9	4,6	4,5	4,3	4,1
	C	8,7	7,1	6,1	5,6	5,3	5,0	4,7
	D	9,3	7,8	6,6	6,0	5,7	5,4	5,0



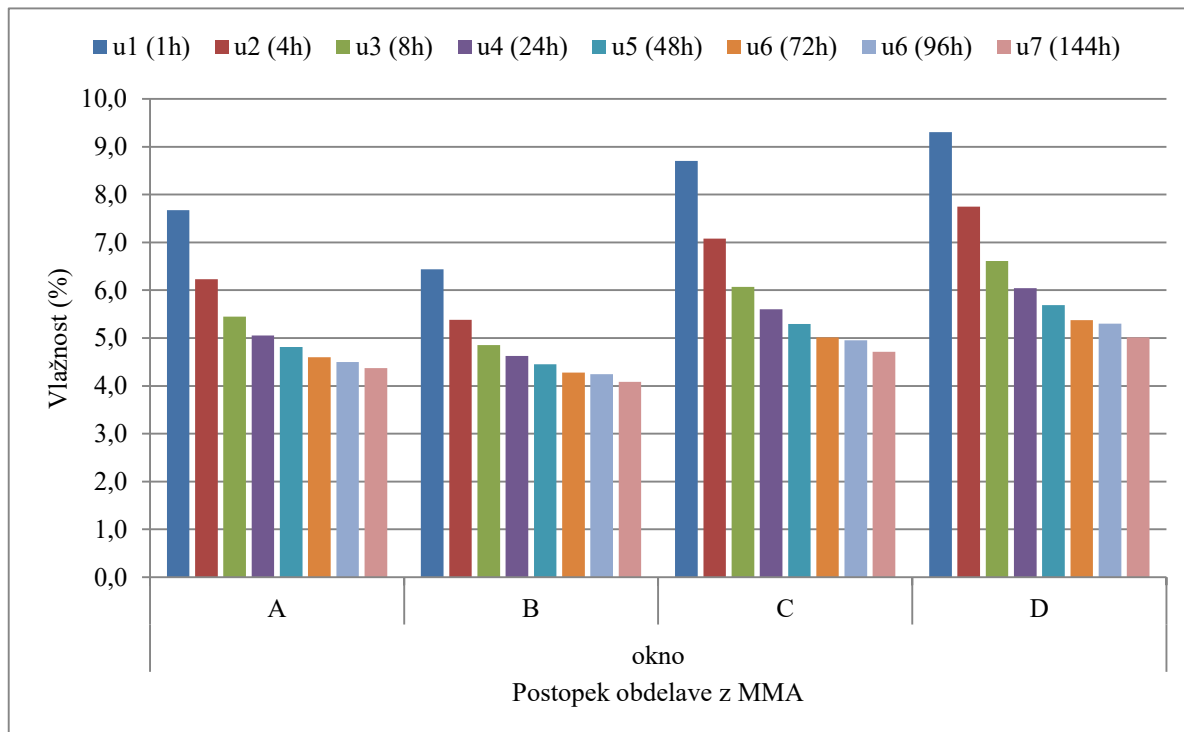
Slika 18: Povprečni navzem kapljične vode v procesu navlaževanja med dolgotrajnim namakanjem po standardu pr EN 16818.



Slika 19: : Povprečni navzem kapljične vode v procesu navlaževanja med dolgotrajnim namakanjem po standardu pr EN 16818.



Slika 20: Povprečni navzem kapljične vode v procesu sušenja med dolgotrajnim namakanjem – floating test po standardu pr EN 16818.



Slika 21: Povprečni navzem kapljične vode v procesu sušenja med dolgotrajnim namakanjem – floating test po standardu pr EN 16818.

4. 5 NAVZEM VODNE PARE

Navzema vodne pare smo izvedli po sledečem postopku. V zatesnjeni stekleni komori smo hranili vzorce v kateri je bila povprečna vlažnost zraka med 97 % in 100 % in temperatura 21 °C v obdobju treh tednov. Na samem začetku je bila relativna vlažnost zraka nekoliko nižja, ker so bili vzorci suhi. Ko so se vzorci delno uravnovesili, je narasla. Na ta način smo prišli do vrednosti, ki bi jo lahko v splošnem interpretirali tudi kot približek točke nasičenja celičnih sten.

Vlažnost smo vzorcem naprej določevali po 24 urah in nato po treh tednih. Podatek po 24 urah nakazuje na hitrost uravnovešanja, podatek, kateri je bolj pomemben iz praktičnega vidika. Les, ki se počasneje uravnovesi, se bo v časovno omejenih obdobjih visoke vlažnosti manj navlažil in hkrati zmanjšal verjetnost okužbe z glivami. Podatek po treh tednih pa nakazuje na točko nasičenja celičnih sten. Vlažnost kontrolnih vzorcev in sicer navadne smrekovine je bila 19,7 % ter termo modificirane 12 %. Vzorci, ki so bili obdelani z MMA niso imeli očitno manjše vlažnosti glede na termično modificirano smrekovino. Prav tako, lahko v našem primeru zanemarimo vpliv temperature modifikacije. Kajti razlike so zelo majhne med vzorci, ki so bili modificirani pri 210 °C in 230 °C.

Enako pomembno kot je uravnovešanje oziroma navzem vodne pare, je pomembno hitro sušenje. Les, ki je zmožen hitrega sušenja ima manjše probleme z visoko vlažnostjo. Kar pomeni, da se mu življenjska doba podaljša, ker je tako manj dovzeten na glive in insekte. Tako smo izvedli postopek sušenja nad silikagelom, in sicer vzorce smo po treh tednih uravnovešanje pri visoki zračni vlažnosti za en dan zaprli v posodo s silikagelom. V vseh primerih se je končna vlažnost prepolovila. Vsi vzorci so se približno enako sušili. Rezultati kažejo, da MMA nima pomembnega vpliva na prepustnost za vodno paro.

Preglednica 7: Povprečna vlažnost vodne pare po 24 urah in treh tednih, ravnovesna vlažnost in vlažnost po 24 urah sušenja nad silikagelom.

	Obdelava	V komori		V silikagelu	
		po 24 h (%)	po 3 tednih (%)	po 1h (%)	po 24h (%)
Fasada T = 230°	A	5,66	13,14	12,33	5,94
	B	5,69	13,01	12,48	5,92
	C	5,96	15,26	13,53	6,74
	D	5,87	15,29	13,33	5,96
Okno T = 210 °	A	6,27	15,10	13,92	6,91
	B	5,17	12,70	10,90	5,49
	C	6,49	17,20	15,88	7,51
	D	6,78	16,83	15,35	6,94
	E	10,05	25,98	24,01	10,85

5 SKLEPI

Z raziskavo smo prišli do naslednjih sklepov:

- postopek obdelave vpliva na navzem MMA, povečani tlak, podtlak, podaljšani čas in nižja temperatura v komori so pripomogli k boljši penetraciji in navzemu MMA,
- obdelava lesa z MMA izboljša vodo-odbojnost in s tem je les bolj hidrofoben, kot najbolj vodoodbojen les pri dolgotrajnem namakanju so se izkazali vzorci, ki so med obdelavo navzeli največji delež MMA
- temperatura termične modifikacije vpliva tudi na kratkotrajni navzem vode, višja temperatura pomeni manjši navzem vode, medtem ko se pri dolgotrajnem navzemu situacija obrne
- MMA ni vplival na navzem vodne pare,

6 POVZETEK

Okolje se hitro spreminja in s tem tudi trendi zaščite lesa. V današnjem času je velik poudarek na ekološki osveščenosti in uporabi nebiocidnih sredstev. K temu strmimo in odkrivamo ustrezne rešitve, ki bi se približale biocidnim sredstvom. Zato smo v našem poizkusu termično modificiran les dodatno impregnirali z MMA in iskali optimalno rešitev.

Smrekovino (*Picea abies*), smo termično modificirali pri temperaturah 210 °C in 230 °C. in jih v nadaljevanju v komori obdelali z MMA. MMA je v plinski fazi prodril v les in tam polimeriziral. Vzorce smo obdelali po treh različnih postopkih obdelave in dvema koncentracijama MMA (2,0 % in 2,5 %).

Cilj poizkusa je bil določiti vpliv različnih stopenj modifikacije ter stopnje polimerizacije termično modificiranega lesa z MMA na kratkotrajno in dolgotrajno navzemanje vode. Določiti vpliv polimerizacije MMA v termično modificiranem lesu na vodo-odbojno učinkovitost.

Večina naših predvidevanj se je potrdila. Termično modificiran in obdelan les z MMA, je imel manjše navzeme vode, kar ne moremo potrditi za navzem vodne pare. Z modifikacijo se permeabilnost lesa poveča kar pa smo z obdelavo z MMA zmanjšali.

7 VIRI

Aleksanda Z. 2014. Zaščita lesa: Učinkovitost naravnih olj in voskov. Delo in dom,
<http://www.deloindom.si/svetujemo/zascita-lesa-ucinkovitost-naravnih-olj-voskov>

Chemwiki, 2017

https://chem.libretexts.org/Core/Physical_and_Theoretical_Chemistry/Physical_Properties_of_Matter/States_of_Matter/Properties_of_Liquids/Contact_Angles

Christensen GN, Kelsey KE 1959a Die Geschwindigkeit der Wasserdampfsorption durch Holz. Holz Roh- Werkst 17: 178- 188

Geršak M., Velušček V. 2003. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska založba: 194 str.

Hartford W. H. 1972. Chemical and physical properties of wood preservative and wood preservative system. V: Wood determination and its preservative treatments. Vol., 2 Preservative and preservative system, Syracuse, Syracuse University Press: 154 str.

Hiller B., Murphy R. 2000. Life Cycle Assessment Benefits of Preserved Wood. Journal of the Institute of Wood Science, 16: 170-175

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

Humar M., Kržišnik D., Lesar B., Thaler N., Ugovšek A., Zupančič K., Žlahtič M. 2017. Thermal modification of wax-impregnated wood to enhance its physical, mechanical, and biological properties. Holzforschung, 71, 1: 57-64

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

Jämsä S., Viitaniemi P. 2001. Heat treatment of wood- better durability without Chemicals. V: Review on heat treatments of wood. Rapp A. O. (ur) Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities

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

Kruss. 2005. Advancing your Surface Science: Contact angle.
<http://www.kruss.de/services/education-theory/glossary/contact-angle/> (30. jul. 2015)

Gobakken L. R., Høibø O. A. 2011 Aesthetic service life of coated and uncoated wood cladding - influencing factors and modelling, V: 42nd Annual Meeting 8-12 May 2011. IRG/WP 11-20470

- Militz H. 2002. Thermal treatment of wood: European processes and their background. V: 33rd Annual Meeting 12-17 May 2002. IRG/ WP 02-40241: 20 str.
- Pohleven F. 2008. Konstrukcijska zaščita lesa pred škodljivci. V. Gradnja z lesom – izziv in priložnost za Slovenijo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 96-100
- Pohleven F. 2014. Patologija lesa z osnovami zaščite- GLIVE, zapiski iz predavanj
- Pohleven F. 1998. The current status of use of wood preservatives in some European countries. – summary of the answer to the questionnaire – the last correction in february 1998. Bruselj, COST E2, 2 str.
- Polanc J., Leban I. 2004. Les- zgradba in lastnosti. Ljubljana, Lesarska založba: 176 str.
- Preston A. 2000 Wood preservation- trends of today that will influence the industry tomorrow. Forrest Products Journal, 50: 12-19
- Ramé- Hart 2015 Information on Contsct angle
[http:// www. Ramehart.com/](http://www.Ramehart.com/)
- Rapp A. O. Sailer M. 2001 Oil heat treatmant of wood in Germany- state of art str. 18
- MATERIALS-REVIVO:
https://sl.wikipedia.org/wiki/Modifikacija_lesa
- Rep G., Pohleven F. 2002 Wood modification- a promising method for wood preservation = Modifikacija drva- obečavajuča metoda za zaščitu drva. Drvna industrija, 52, 2: 71-76
- Sailer M., Rapp A., Leithaff H., 2000. Improved resistance of Scots pine and spruce by application o fan oil- heat treatment. International Reserch Group wood, Preservation Section 4- Processes IRG/WP 00-40162 str. 16
- SIST EN 1609. Toplotnoizolacijski proizvodi za uporabo v gradbeništvu - Določanje vpojnosti vode z metodo delne kratkotrajne potopitve. CEN (European Committee for Standardisation), Brussels, Belgium. 1997
- SIST EN 16 818, 2015 Durability of wood and wood-based products - Moisture dynamics of wood and wood-based products- Floating test
- Stamm A. J. 1964 Wood and Cellulose Science. New York, The Roland Press Company: 549 str.
- Tjeerdsma B.F., Bonstra M., Pizzi A., Tekely P., Militz 1998. Characterisation of thermal modified wood: molecular reasons for wood performance improvement CP- MAS C NMR characterisation of thermal modified wood. Holz als Roh- und Werkstoff, 56 149-153

Vernois M. 2001. Heat treatment of wood in France- state of the art. V: Review on heat treatments of wood. Rapp A. O. (ur) Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities: 8 str.

WIKIPEDIJA:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Poly\(methyl_methacrylate\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Poly(methyl_methacrylate))

https://en.wikipedia.org/wiki/Methyl_methacrylate#Uses

https://sl.wikipedia.org/wiki/Metil_metakrilat

ZAHVALA

Rad bi se zahvalil mentorju prof. dr. Boštjanu Lesarju za pomoč pri svetovanju, koristnih napotkih ter vodenju pri izdelavi diplomskega dela. In recenzentki prof. dr. Idi Poljanšek za recenzijo diplomskega dela.

Hvala tudi mladima raziskovalcema Davorju Kržišniku in ter asistentu Nejcu Thalerju za pomoč pri opravljanju eksperimentalnega dela in strokovne nasvete.

Nenazadnje hvala tudi mojim bližnjim, ki so mi stali ob strani v času študija ter za pomoč in spodbujanje pri nastajanju diplomskega dela.