

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Jože KOPRIVNIKAR

**IMPREGNACIJA LESA Z UTEKOČINJENIM
LESOM**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2007

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Jože KOPRIVNIKAR

IMPREGNACIJA LESA Z UTEKOČINJENIM LESOM

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

IMPREGNATION OF WOOD WITH LIQUEFIED WOOD

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2007

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za pohištvo Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Impregnacija lesnih vzorcev je bila izvedena na Katedri za patologijo in zaščito lesa Oddelka za lesarstvo.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja določil prof. dr. Marka Petriča in za recenzentko prof. dr. Vesno Tišler.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Jože KOPRIVNIKAR

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dn
DK UDK 630*82
KG utekočinjen les/melaminska smola/impregnacija
AV KOPRIVNIKAR, Jože
SA PETRIČ, Marko (mentor)/TIŠLER, Vesna (recenzent)
KZ SI-1000 LJUBLJANA, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI 2007
IN IMPREGNACIJA LESA Z UTEKOČINJENIM LESOM
TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP XII, 70 str., 43 sl., 23 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Obravnavali smo možnost uporabe modificiranega utekočinjenega topolovega lesa za globinsko zaščito masivnega topolovega lesa. Utekočinjen les smo modificirali z zmesmi z različnimi koncentracijami metilirane melaminske smole Melapret NF70/M (MF). Določili smo optimalno temperaturo utrjevanja. Utrjeni zmesi smo izmerili trdnost, prožnost, ter odpornostne lastnosti na hladne tekočine. Dve zmesi z različnima koncentracijama MF smo uporabili za impregnacijo masivnega lesa topola po Bethellovem postopku. Po impregnaciji smo izmerili moker navzem, suh navzem, delež pridobljene mase (*weight percentage gain, WPG*), učinkovitost proti nabreku (*anti-swelling efficiency, ASE*) ter izpirljivost. Vzorci, impregnirani s sredstvom, ki je vsebovalo višjo koncentracijo MF, so izkazovali nižjo izpirljivost kot tisti z nižjo. ASE je bil pri obeh vzorcih približno enak in je znašal malenkost manj kot ASE nezaščitenega vzorca. Visok ASE zaščitenih vzorcev je pokazal neučinkovitost sredstva za namen preprečevanja absorpcije vode v lesno strukturo. Utekočinjen les v povezavi z melaminskimi smolami je nov proizvod, ki ga v nam dosegljivi literaturi nismo zasledili. Njegova uporaba v namen zasičevanja lesne strukture se v raziskavi ni dobro izkazala, vendar ima snov potencial pri razvoju novih plastičnih in lesnih materialov. Za boljše razumevanje te snovi bo potrebna še vrsta raziskav, tako kemijskih, bioloških in fizikalnih.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
DC UDC 630*82
CX liquefied wood/melamine resin/impregnation
AU KOPRIVNIKAR, Jože
AA PETRIČ, Marko (supervisor)/TIŠLER, Vesna (reviewer)
PP SI-1000 LJUBLJANA, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2007
TI IMPREGNATION OF WOOD WITH LIQUEFIED WOOD
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO XII, 70 p., 43 fig., 23 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Graduation thesis deals with a possible use of liquefied poplar wood for impregnation of solid poplar wood. Liquefied poplar wood was modified with formulations containing different concentrations of the melamine resin called Melapret NF70/M (MF). At first, the optimal curing temperature and time were determined. Then the cured mixture was tested for its surface hardness, elasticity and surface resistance to cold liquids. On the basis of these test results, we selected 2 representative mixtures: 1st with a lower concentration of MF and 2nd with a higher content of MF. These 2 mixtures were used for impregnation of poplar wood. We used the full cell treatment procedure also known as the Bethell schedule. After impregnation, the dimensions and weight of the samples were measured and the resin solution retention (MN) determined. The impregnated samples were then dried under similar conditions as the mixture before. After curing and drying the samples to their absolutely dry state, the dimensions and masses were measured again, and solid resin retention (SN) and weight percent gain (WPG) determined. To determine how well the mixture set and bonded into the cell walls we were soaking the samples in water to become completely wet. After the soaking process, anti swelling efficiency (ASE), water retention (S) and water repellency effectiveness (WRE) were measured. Afterwards the specimens were dried to their absolutely dry state. The percentage of leached-out mixture was determined by mass loss of the samples. Presuming that the only substance that leached out of the impregnated wood was the liquefied wood, we calculated the percentage of the leached liquefied wood. The results showed that the samples, impregnated with the lower concentration mixture, had higher mass losses after soaking than the samples, impregnated with the mixture of the higher concentration. ASE of the samples was the same for both mixtures and was just slightly lower than ASE of untreated samples. ASE of the treated samples, compared to the ASE of the untreated ones, showed that the mixture is not effective in water sorption prevention. Liquefied wood in combination with melamine resins is a fairly new material, and up to our best knowledge it has not yet been reported in the literature. Its use for saturation of wood did not prove well by our results. But the material has a large potential in research and development of new plastic and wood-based materials. For better understanding of such materials a lot of research still has to be done.

KAZALO VSEBINE

	Str.
Ključna dokumentacijska informacija	III
Key words documentation	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	IX
Kazalo slik	X
Okrajšave in simboli	XII
1 UVOD IN PREDSTAVITEV PROBLEMA	1
2 SPLOŠNI DEL	2
2.1 UVOD	2
2.1.1 Zgodovina uporabe lesa	2
2.2 OKOLJEVARSTVO IN GOZDNO-LESNI SEKTOR	3
2.2.1 Trenutno stanje v Sloveniji in svetu	3
2.2.2 Zmanjšanje emisij CO₂	3
2.2.3 Gozd kot črpalka CO₂	4
2.2.4 Toplotno izolativne lastnosti lesa	5
2.2.5 Nadomestek fosilnim gorivom	5
2.3 LASTNOSTI LESA	5
2.3.1 Biološka razgradljivost	5
2.3.2 Lesna vlažnost	6
2.3.3 Gorenje	6
2.3.4 Fotokemična degradacija	6
2.4 MOŽNOSTI ZAŠČITE LESA	7
2.4.1 Problemi pri zaščiti lesa z biocidi	7
2.4.2 Alternativne metode zaščite lesa	7
2.5 MODIFIKACIJA LESA	8
2.5.1 Uvod	8
2.5.2 Načini modifikacije	8
2.6 LESNO POLIMERNI KOMPOZITI	10

2.7	UTEKOČINJEN LES	10
2.7.1	Termomehanska razgradnja lesa	10
2.7.2	Postopki pridobivanja	11
2.7.3	Uporabnost utekočinjenega lesa	11
2.8	MELAMIN	12
2.8.1	Fizikalne lastnosti	12
2.8.2	Kemijske lastnosti	12
2.8.3	Uporabnost v lesni industriji	13
2.8.4	Raziskave z melaminskimi smolami v lesarstvu	14
3	MATERIALI IN METODE DELA	15
3.1	MATERIALI	15
3.1.1	Utekočinjen les (UL)	15
3.1.2	Melaminska smola MELAPRET NF 70/M (MF)	16
3.1.3	Les	17
3.1.3.1	Vzorci	18
3.1.4	Topilo	19
3.2	METODE	20
3.2.1	Želene lastnosti impregnacijskega sredstva	20
3.2.2	Priprava zmesi	20
3.2.3	Določanje deleža suhe snovi	21
3.2.4	Priprava vzorcev zmesi za določanje njihovih lastnosti	21
3.2.5	Trdota	22
3.2.5.1	Metoda z dušenim nihanjem (SIST ISO 1522)	22
3.2.5.2	Metoda z razenjem (SIST ISO 1518)	23
3.2.6	Določanje prožnosti z metodo po Petersu (DIN 53 155)	23
3.2.7	Odpornost proti hladnim tekočinam (SIST EN 12720)	23
3.2.8	Izbira zmesi za impregnacijo lesa	24
3.2.9	Delež praznih prostorov v lesu	25
3.2.10	Želene lastnosti impregniranega lesa	26
3.2.11	Impregnacija lesa z utekočinjenim lesom	26
3.2.11.1	Pogoji reakcije	26
3.2.11.2	Vakuumski postopek	26

3.2.11.3 Utrjevanje	28
3.2.11.4 Sušenje	28
3.2.11.5 Namakanje vzorcev v vodi	28
3.2.12 Določanje lastnosti topolovega lesa, impregniranega z UL	29
3.2.12.1 Navzem sredstva	29
3.2.12.2 Volumski nabrek	29
3.2.12.3 Učinkovitost proti nabreku ASE (<i>anti-swelling efficiency</i>)	29
3.2.12.4 Izpiranje	29
4 REZULTATI	30
4.1 PRELIMINARNI POIZKUSI S KATALIZATORJEM	30
4.2 LASTNOSTI SREDSTVA UL-MF ZA IMPREGNACIJO LESA	30
4.2.1 Delež suhe snovi	30
4.2.2 Trdota utrjene zmesi UL-MF	31
4.2.2.1 Metoda z dušenim nihanjem (SIST EN ISO 1522)	31
4.2.2.2 Metoda z razenjem (SIST EN ISO 1518)	32
4.2.3 Trdota Melapreta NF70/M (MF)	32
4.2.4 Prožnost utrjene zmesi, določena z metodo po Petersu (DIN 53 155)	33
4.2.5 Odpornost proti hladnim tekočinam (SIST EN 12720)	33
4.2.6 Pregled lastnosti vzorcev utrjenih zmesi	36
4.3 LASTNOSTI LESA	37
4.3.1 Prostorninski delež por v vlažnem lesu	37
4.3.2 Gostota	39
4.4 LASTNOSTI IMPREGNIRANEGA LESA	40
4.4.1 Gostota impregniranega lesa	40
4.4.2 Navzem	40
4.4.2.1 Mokri navzem (MN)	40
4.4.2.2 Suhi navzem (SN)	41
4.4.2.3 Delež pridobljene mase (WPG)	43
4.4.3 Volumski nabrek	43
4.4.3.1 Volumski nabrek zaradi sredstva (S)	43
4.4.3.2 Volumski nabrek zaradi vode (S ₁)	44
4.4.3.3 Volumski nabrek zaradi vode in sredstva (S ₂)	45

4.4.3.3	Delež zasičenih celičnih sten	46
4.4.4	Odpornost proti nabrekanju (ASE - anti swelling efficiency)	46
4.4.5	Izpiranje	47
4.4.5.1	Izguba mase vzorcev (IM _V)	47
4.4.5.2	Izguba mase sredstva (IM _S)	48
4.4.5.3	Delež izpranega UL (IM _{UL})	49
4.4.6	Pregled lastnosti impregniranih vzorcev	50
4.4.6.1	Fizikalno-kemijske lastnosti	50
4.4.6.2	Optične lastnosti	52
4.5	FOTOGRAFSKI POSNETKI NEIMPREGNIRANEGA IN IMPREGNIRANEGA LESA	53
4.5.1	Neimpregnirani vzorci	53
4.5.2	Vzorci, impregnirani s sredstvom A	54
4.5.3	Vzorci, impregnirani s sredstvom B	56
4.5.4	Radialni prerez	57
5	RAZPRAVA	59
6	SKLEPI	65
7	POVZETEK	67
8	VIRI	68
ZAHVALA		
PRILOGE		

KAZALO PREGLEDNIC

	Str.
Preglednica 1: Fizikalno kemijske lastnosti sredstva Melapret NF 70/M	16
Preglednica 2: Sestava zmesi	20
Preglednica 3: Sestava sredstva A in B	24
Preglednica 4: Odpornostne lastnosti proti hladnim tekočinam	35
Preglednica 5: Koncentracija in masa melamina v vzorcih, delež suhe snovi, delež suhesnovi UL, masa suhe snovi MF v vzorcih ter trdota vzorcev po metodi z dušenim nihanjem	36
Preglednica 6: Karakteristike impregniranega les	50
Preglednica 7: Lastnosti vzorcev, impregniranih s čistim MF	62

KAZALO SLIK

	Str.
Slika 1: Struktturna formula melamina	12
Slika 2: Vezava melamina s formaldehidom	13
Slika 3: Prikaz zamrežene strukture utrjenega melamina	14
Slika 4: Kondenzirana smola iz UL	15
Slika 5: V etanolu raztopljena smola iz UL	15
Slika 6: Utrjen Melapret NF70/M pri T=103 °C, t=2h	17
Slika 7: Nezaščiten vzorec topola	18
Slika 8: Zmes v urnem steklu za merjenje deleža suhe snovi	21
Slika 9 : Steklena plošča na polagalni plošči na napravi za merjenje trdote po metodi z dušenim nihanjem	22
Slika 10 : Naprava za merjenje trdote po metodi z dušenim nihanjem	23
Slika 11: Utrjeno sredstvo A	25
Slika 12: Utrjeno sredstvo B	25
Slika 13: Vakuumsko-tlačna komora za impregnacijo lesa	27
Slika 14: Vzorec po impregnaciji, prekrit s sredstvom	27
Slika 15: Očiščen vzorec po impregnaciji	28
Slika 16: Razmerje med koncentracijo MF v zmesi in deležem suhe snovi v njej	31
Slika 17: Trdota zmesi, določena z dušenim nihanjem, v odvisnosti od deleža MF v njej	32
Slika 18: Razpokana struktura utrjene MF, pri debelinskem nanosu 140 µm	33
Slika 19: Odpornostne lastnosti sredstva z 0 % MF	34
Slika 20: Odpornostne lastnosti sredstva UL-MF z 9,09% MF	34
Slika 21: Odpornostne lastnosti sredstva UL-MF z 13,04 % MF	34
Slika 22: Odpornostne lastnosti sredstva UL-MF z 16,67 % MF	35
Slika 23: Utrjen in posušen vzorec lesa, impregniran s sredstvom A	42
Slika 24: Utrjen in posušen vzorec lesa, impregniran s sredstvom B	42
Slika 25: Delež nabreka, povzročenega zaradi sredstva in delež nabreka, povzročen zaradi vode	45
Slika 26: Povprečne mase vzorcev, impregniranih s sredstvom A, pri različnih korakih poizkusa	51

Slika 27: Povprečne mase vzorcev, impregniranih s sredstvom B, pri različnih korakih poizkusa	51
Slika 28: Primerjava barve impregniranega lesa z barvo neimpregniranega lesa	52
Slika 29: Prečni prerez neimpregniranega vzorca pri 6X povečavi	53
Slika 30: Prečni prerez neimpregniranega vzorca pri 12X povečavi	53
Slika 31: Prečni prerez neimpregniranega vzorca pri 24X povečavi	54
Slika 32: Prečni prerez neimpregniranega vzorca pri 30X povečavi	54
Slika 33: Prečni prerez vzorca, impregniranega s sredstvom A pri 6X povečavi	54
Slika 34: Prečni prerez vzorca, impregniranega s sredstvom A pri 12X povečavi	55
Slika 35: Prečni prerez vzorca, impregniranega s sredstvom A pri 24X povečavi	55
Slika 36: Prečni prerez vzorca, impregniranega s sredstvom A pri 30X povečavi	55
Slika 37: Prečni prerez vzorca, impregniranega s sredstvom B pri 6X povečavi	56
Slika 38: Prečni prerez vzorca, impregniranega s sredstvom B pri 12X povečavi	56
Slika 39: Prečni prerez vzorca, impregniranega s sredstvom B pri 24X povečavi	56
Slika 40: Prečni prerez vzorca, impregniranega s sredstvom B pri 30X povečavi	57
Slika 41: Radialni prerez neimpregniranega vzorca pri 30X povečavi	57
Slika 42: Radialni prerez vzorca, impregniranega s sredstvom pri 30X povečavi	58
Slika 43: Hipotetična vezava melamina in celuloze	64

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

UL.....Utekočinjen les

MF.....Melapret NF70/M

OZ.....Osnovna zmes

SS.....Suha snov

MN.....Moker navzem

SN.....Suh navzem

S.....Volumski nabrek

ASE.....Odpornost proti nabrekanju (anti swelling efficiency)

WPG.....Delež pridobljene teže (weight percentage gain)

UL-MF.....Zmes utekočinjenega lesa, Melapreta NF70/M in etanola

1 UVOD IN PREDSTAVITEV PROBLEMA

Les je v Sloveniji in po svetu najpomembnejša trajnostna surovina in eden izmed najpomembnejših obnovljivih virov energije. Njegova uporabnost se z razvojem novih tehnologij zadnja leta močno povečuje. Vedno večja okoljska osveščenost je rezultat globalnih okoljskih sprememb, ki so posledica našega neustreznega ravnanja z okoljem. Zato razvoj novih materialov v lesni industriji in na drugih področjih vključuje pogoje trajnostnega razvoja, čim manjšo ekološko obremenitev in čim manjšo porabo energije na enoto določenega produkta. Nova znanja in tehnologije v lesarstvu tako omogočajo izdelavo popolnoma novih materialov, ki so skladni z načeli trajnostnega razvoja.

Namen diplomske naloge je bil izdelati lesni kompozit, ki bi imel boljše fizikalne in biološke odpornostne lastnosti od navadnega lesa. Želja je bila uporabiti materiale, ki pri odlaganju odsluženega lesa ne bi povzročali dodatnega obremenjevanja okolja in nastajanja nepotrebnih stroškov. Izdelava lesnega kompozita in njegova industrijska raba bi morali biti tudi ekonomsko upravičeni.

V prvem delu naloge nameravamo proučiti utrjevanje utekočinjenega lesa s pomočjo metilirane melaminsko formaldehidne smole. V drugem delu pa izdelati kompozit iz masivnega lesa črnega topola tako, da bi ga prepojili z utekočinjenim lesom, ki naj bi se v celičnih stenah in lumnih utrdil.

Cilj naloge je zasičitev celičnih sten in lumnov, da les pod vplivom vlage ozira vode ne bi nabrekal in posledično tudi krčil. S tem bi postal bolj odporen proti škodljivcem, ter bi imel zaradi utrjenega sredstva v strukturi boljše fizikalne lastnosti.

2 SPLOŠNI DEL

2.1 UVOD

2.1.1 Zgodovina uporabe lesa

Les se je v preteklosti uporabljal v različne namene. Ker je dobro dosegljiv, obnovljiv ter ga je možno oblikovati v različne končne produkte, je postal najpogosteje uporabljen material. Skozi generacije se je znanje o predelavi in uporabi lesa večalo. Ljudje so spoznali različne fizikalne in biološke lastnosti lesa različnih vrst ter to znanje začeli uporabljati v svojo korist pri njegovi uporabi. Po industrijski revoluciji so se možnosti predelave lesa močno povečale, zanimive so začele postajati vrste, ki so tehnično lahko obvladljive in omogočajo doseganje dobrega izkoristka pri obdelavi in predelavi lesa. Tako je tudi danes. Te vrste pa so v Slovenji večinoma enodebelne, hitro rastoče in relativno neodporne drevesne vrste. Ravno zaradi tega so se začeli razvijati različni postopki zaščite lesa, ki mu izboljšajo odpornostne lastnosti.

Hitro spreminjačoče se ekonomske in ekološke potrebe družbe predstavljajo vedno večji pritisk na lesno industrijo, zaradi načela narediti več iz manj. V praksi to na primer pomeni proizvesti več lesne mase na majhni površini, povečati njeni konverzijo in racionalno rabo lesne mase. Hkrati pa naj bi uporabljali okolju prijazne procese proizvodnje in ostali konkurenčni na globalnem trgu.

Včasih les ni primeren oziroma obravnavan kot inženirski material, ker ni imel stalnih, predvidljivih predelovalnih, mnogokratnih (ponavljačih se) in enotnih lastnosti. To je lahko res za masiven les, ni pa nujno res za kompozite, narejene iz lesa. Konkurenca se je v masovni proizvodnji osredotočila na nizkocenovne materiale, ki nudijo dobro razmerje med trdnostjo in težo. Prav taki pa so kompoziti iz lesnih vlaken (plošče), pri katerih so materialni stroški nizki, v primerjavi z izdelavo produktov iz plastike. Lesni kompoziti so priljubljena alternativa, ker lahko njihovo izdelavo avtomatiziramo in prilagodimo marsikateri vrsti in obliki surovega materiala.

2.2 OKOLJEVARSTVO IN GOZDNO-LESNI SEKTOR

2.2.1 Trenutno stanje v Sloveniji in svetu

Savdova Arabija ima največje dokazane zaloge nafte na svetu, ocenjene na okoli 262.697 miljonov sodov, kar nanese $1545,98 \text{ m}^3$ nafte na prebivalca. Irak , ki je drugi na lestvici po dokazani zalogi nafte pa ima le $620,97 \text{ m}^3$ nafte na prebivalca (Melamin,2007). Trenutno je nafta glavni vir energije na svetu. Iz nje proizvajamo tudi druge snovi, kot so asfalt, olja za mazanje, parafin, katran, plastika. Vse te snovi bodo morali zamenjati proizvodi, narejeni iz obnovljivih virov. Nafta - črno zlato, kot ji radi pravimo, je namreč neobnovljiva in jo bomo po nekaterih ocenah izčrpali že do polovice tega stoletja. EU je že sprejela direktivo, ki predpisuje vsem članicam EU zmanjšanje porabe energije iz neobnovljivih virov do leta 2020 za 20 %. (Zager in sod., 2006)

Po drugi strani pa imamo po ocenah v Sloveniji trenutno okoli 300 miljonov m^3 lesa, to je 150 m^3 lesa na slehernega prebivalca. Seveda lesna masa nima enake energijske vrednosti kot nafta, razmerje je okoli 4:1 v prid nafe. Vendar je to naše bogastvo obnovljivo in ga bodo lahko uporabljale številne generacije v prihodnosti. (Zager in sod., 2006)

2.2.2 Zmanjšanje emisij CO₂

Vsaj 60 % klimatskih sprememb lahko pripisemo emisijam CO₂, ki jih povzročamo ljudje. Večinoma gre za izgorevanje fosilnih goriv, ki prispevajo 6 milijard ton emisij ogljikovega dioksida letno. Samo da bi obdržali trenutno koncentracijo CO₂ v atmosferi, bi morali zmanjšati globalne emisije tega plina za 40 %. Kar 85 % energije, ki je potrebna za delovanje naše družbe izvira iz fosilnih goriv. Zato je zmanjšanje emisij za tako velik odstotek politično nesprejemljivo in ekonomsko nemogoče. Poleg prvega načina za zmanjšanje koncentracije CO₂ - zmanjšanja emisij, je druga možnost odstranitev CO₂ iz ozračja in njegovo uskladiščenje. Les ima edinstveno lastnost narediti oboje. Energija, potrebna za izdelavo materialov, ki sestavlja tipično stavbo, znaša 22 % od celotne energije, ki je vezana v stavbi skozi njen življenjsko dobo. Torej se splača posvetiti pozornost izbranim materialom in energijskim izkoristkom stavbe. Noben drug komercialno uporabljen material ne potrebuje tako malo energije za izdelavo in predelavo kot les. Zahvaljujoč fotosintezi so drevesa sposobna absorbirat ogljikov dioksid iz zraka in

ustvariti organski material – les, pri tem pa nastaja kisik. Pri rasti 1 m³ lesa se absorbira 0,9 ton CO₂ in izloči 0,7 ton O₂ . (Beyer in sod, 2006)

2.2.3 Gozd kot črpalka CO₂

Zahvaljujoč fotosintezi lahko drevesa v gozdovih absorbirajo velike količine ogljikovega dioksida (CO₂) in ga vežejo v lesno maso. V vsakem kubičnem metru lesa je uskladiščenih okoli 0,9 ton CO₂. Skupno je v evropskih gozdovih, brez Ruske federacije, po ocenah shranjenega 9.552 milijonov ton ogljika (C). Medtem pa je v Ruski federaciji shranjenih 37.000 milijonov ton C, z letno rastjo 440 milijonov t C. (Beyer in sod, 2006)

Oskrbovani gozdovi so bolj učinkoviti vezalci ogljika kot gozdovi, ki so puščeni v naravnem stanju. Mlajša drevesa v obdobju intenzivne rasti absorbirajo več CO₂ kot starejša drevesa, ki bodo slej ko prej odmrla in sprhnela, ter s tem vrnila svoj delež absorbiranega CO₂ nazaj v ozračje. Večina lesa, pridobljenega iz oskrbovanega gozda bo nadaljevala svojo vlogo vezave CO₂ v lesnih izdelkih. Trenutno v slovenskih gozdovih ostane ogromno neizkoriščene lesne mase, saj od letnega prirastka, ki znaša več kot 7,5 milijonov kubičnih metrov, posekamo le slabo polovico - 3 milijone m³, pa še od tega znatni del izvozimo. (Zager in sod, 2006)

Z ocenjeno evropsko količino lesnih izdelkov v uporabi na okoli 60 milijonov ton, imajo le-ti pomembno vlogo pri zmanjšanju emisij toplogrednih plinov. V viru Beyer in sodelavci (2006) je navedeno, da je povprečna doba lesnih izdelkov med dvema mesecema za časopis in 75 let za konstrukcijski les. Daljša kot je življenska doba proizvoda, boljše je to za okolje. Ne samo zaradi boljše izrabe gozdnih surovin, ampak tudi zaradi zmanjšane energije, ki je potrebna za zamenjavo teh izdelkov. Kakorkoli dolgo že CO₂ ostane vezan v lesu, bo vsakršno povečanje v globalnem volumnu tako imenovanega shranjevalnega lesa zmanjšala količino CO₂ v atmosferi. Torej se ob večanju uporabe lesa in lesnih izdelkov manjšajo klimatske spremembe. Temu bi lahko pripomogli tudi novi načini izboljšave lesnih materialov, ki bi s tem postali širše uporabni in mogoče nadomestili sedanje. (Beyer in sod, 2006)

2.2.4 Toplotno izolativne lastnosti lesa

Raba lesa prispeva k varčevanju energije med obratovanjem stavbe, saj njegova celična struktura predstavlja enkratno topotno izolacijo; 15 krat boljšo kot pri betonu, 400 krat boljšo kot jo ima železo in celo 1770 krat boljšo kot pri aluminiju. 2,5 cm debela lesena plošča ima boljšo topotno upornost kot 11,4 cm debel zid iz opeke. Les zato postaja vedno bolj konkurenčna rešitev pri naraščajočih topotno-izolativnostnih zahtevah evropskih gradbenih normativov. (Beyer in sod, 2006)

2.2.5 Nadomestek fosilnim gorivom

Ko les ne more biti več ponovno uporabljen ali recikliran, lahko iz njega še vedno proizvedemo energijo. Energija, pridobljena z izgorevanjem, je v bistvu efektivno shranjena sončna energija. Ker količina CO₂, ki nastane pri izgorevanju, ne presega količine, ki se je vezala v les, je gorenje lesa z vidika emisij CO₂ neutralno. To dejstvo je dobro razumljeno v lesni industriji, ki kar 75 % energije za obdelavo in predelavo lesa pridobi iz lesnih ostankov. (Beyer in sod, 2006)

2.3 LASTNOSTI LESA

Les je tridimenzionalen polimerni kompozit, narejen primarno iz celuloze, hemiceluloze in lignina. Ti polimeri gradijo celične stene in so odgovorni za večino fizikalnih in mehanskih lastnosti lesa. Les je zaželen gradbeni/inženirski material, ker je ekonomičen, z nizko energijo obdelave in predelave, je obnovljiv, močan in estetski. Kakorkoli že, ima tudi nekaj slabosti kot so biološka razgradljivost, gorljivost, dimenzijska nestabilnost degradacija zaradi izpostavitve UV svetlobi, kislinam in bazam, ipd.. (Rowell, 1983)

2.3.1 Biološka razgradljivost

Les je biološko razgradljiv, ker organizmi prepoznajo polisaharidne polimere v celični steni in jih s pomočjo zelo specifičnih encimskih sistemov pretvorijo v razgradljive enote. Ker je visokomolekulska celuloza primarno zadolžena za trdnost lesa, se ta izgubi, ko se

prične biološka degradacija polimerov s procesi oksidacije, hidrolize in dehidracije. (Rowell, 1983)

2.3.2 Lesna vlažnost

Sprememba lesne vlažnosti spremeni dimenzijske stene lesa, ker celične stene vsebujejo hidroksilne ter ostale skupine s kisikom, ki vežejo vlago prek vodikovih vezi. Vlažnost nabrekne celične stene in les se širi, dokler celična stena ni nasičena z vodo. Voda po točki nasičnosti celičnih sten postane prosta voda, ki se nabira v praznih prostorih in ne povzroča nadaljnega nabreka. Ta proces je reverzibilen. Krčenje se pojavi, ko les izgublja vodo iz celične stene. Nabrek in skrček pa lahko povzročijo tudi druga sredstva. (Rowell, 1983)

2.3.3 Gorenje

Les gori, ker so lesni polimeri v celični steni pri višji temperaturi podvrženi hidrolizi, okidaciji, dehidraciji in pirolizi. Le-ti začnejo oddajati hlapne in gorljive pline. (Rowell, 1983)

2.3.4 Fotokemična degradacija

Les, ki ga uporabljam na prostem, je podvržen fotokemični razgradnji. Degradacija zaradi vpliva UV svetlobe se primarno pojavi v ligninski strukturi. Ker lignin v celični steni deluje kot vezivo, ki drži celulozna vlakna skupaj, se zaradi degradacije lignina na površini pojavi večji delež celuloze. Celuloza je veliko bolj odporna proti UV svetlobi in ta slabo povezana vlakna se z dežjem sperejo s površine. S tem pa izpostavijo UV žarkom nov lignin in proces se ponovi. Ta proces lahko v daljšem obdobju izrazito vpliva na izgubo mase izpostavljenega lesa. (Rowell, 1983)

2.4 MOŽNOSTI ZAŠČITE LESA

Zaradi vseh možnih degradacijskih procesov želimo les narediti bolj odporen proti biotskim in abiotiskim dejavnikom. Za okolje najmanj sporna je konstrukcijska zaščita lesa, s katero dosežemo, da je les presuh za okužbo z lesnimi glivami. Les pa lahko zaščitimo tudi s površinskimi zaščitnimi sredstvi (premazi), z impregnacijsko zaščito, novejši postopek zaščite pa je modifikacija lesa. Pri zaščiti lesa z biocidnimi pripravki les prepojimo z zaščitnimi sredstvi (strupi), ki preprečujejo napad in razvoj škodljivcev. Vendar pa so tradicionalni načini globinske zaščite lesa, kot je npr. impregnacija z vodotopnimi bakrovimi in arzenovimi spojinami ekološko sporni, zaradi strupenosti uporabljenih biocidov in potencialne izpirljivosti v okolje.

2.4.1 Problemi pri zaščiti lesa z biocidi

Ker se odlagališča odpadkov polnijo in je novih lokacij vedno manj, postaja reciklaža odpadkov vedno bolj pomembna. Največji pritok odpadkov na odlagališča predstavljajo lesni izdelki in sicer z deležem, ki znaša kar okoli 40 %. Velik delež teh odpadkov je zaščiten. V EU se letno globinsko zaščiti približno 18 milijonov m³ lesa, v ZDA 15 milijonov m³ (Humar, 2004). Podatki o količini impregniranega lesa v drugih delih sveta so zelo pomanjkljivi, kljub temu pa je znano, da se je količina impregniranega lesa v zadnjih 15 letih skoraj podvojila. Pravilno odstranjevanje tega lesa pa je vse prej kot poceni, saj lahko pri lesu, zaščitenem s CCB stane od 70 EUR do 200 EUR na m³. (Rapp, 1999)

2.4.2 Alternativne metode zaščite lesa

Ker dokaj dobro razumemo kemijo lesa, je možno, da eliminiramo ali vsaj zmanjšamo procese degradacije s spremembami osnovnih kemičnih struktur lesa – z modifikacijo lesa. Z vezanimi kemikalijami na hidroksilne skupine v celulozni strukturi zelo specifične reakcije bioloških encimov ne bodo mogle poteći, ker se kemična konfiguracija in molekularna konformacija spremenita. Nasičenje celičnih sten z utrjenimi kemikalijami, npr. z melaminom, zmanjša nagnjenost lesa k dimenzijskim spremembam zaradi sprememb vlažnosti, ker je modificiran les v delno že nabreklem stanju. Modificiran les, prepojen z melaminskimi smolami, lahko sežgemo brez izpusta škodljivih plinov. (Rapp, 1999)

Zdi se, da les, impregniran z melaminskimi smolami združuje do sedaj nezdružljive karakteristike lesa: dobro odpornost in ekološko nespornost. Les, zaščiten z melaminskimi smolami ne vsebuje nikakršnih toksičnih spojin in lahko pride v kontakt z živili.

Utekočinjen les v kombinaciji z melaminsko smolo bi lahko nadomestil funkcijo zasičevanja celičnih sten z melaminsko smolo. Ta pa bi služila v sredstvu le kot utrjevalec, oziroma strukturni zamreževalec. Ker je utekočinjen les skoraj standstotno naraven material, bi izdelki, impregnirani s tem sredstvom, ne imeli slabega vpliva na okolje.

2.5 MODIFIKACIJA LESA

2.5.1 Uvod

V iskanju novih okolju prijaznejših sredstev in postopkov zaščite, ki bi uspešno nadomestili kemična zaščitna sredstva, se je modifikacija lesa izkazala kot alternativna možnost izboljšanja naravne odpornosti lesa.

Razvilo se je veliko različnih postopkov modifikacije lesne strukture. Vsi postopki trajno spremenijo molekularno strukturo celične stene oziroma strukturo lesnih polimerov (celuloza, lignin, in hemiceluloza). Posledica spremembe lesne strukture so spremenjene lastnosti lesa: zmanjšana higroskopnost, povečana biološka odpornost, povečana dimenzijska stabilnost itd. (Rep in Pohleven, 2002)

2.5.2 Načini modifikacije

Glede na postopek spremembe strukture lesnih polimerov obstajajo trije glavni načini modifikacije lesa:

- termična modifikacija,
- kemična modifikacija,
- encimska modifikacija.

Termična modifikacija

Les segrevamo v inertni atmosferi in mu s tem spremenimo osnovno molekularno strukturo. Pri tem pride do delne depolimerizacije polimerov v celični steni in do preoblikovanja polimerov. Termično modificiran les je biološko odpornejši in dimenzijsko stabilnejši, a mehansko oslabljen. (Rep in Pohleven, 2002). Komercialno uporabljeni imeni termično modificiranega lesa sta med drugimi Stabywood in Staypak

Kemična modifikacija lesa

Pri kemični modifikaciji poteče kemijska reakcija med kemičnim reagentom in komponentami lesnih polimerov in s tem se spremeni njihova struktura. Največkrat poteče kemična reakcija med reagentom in hidroksilnimi skupinami lesnih polimerov, saj so te najbolj reaktivne. Lastnosti modificiranega lesa so odvisne predvsem od uporabljenega reagenta in dosežene stopnje modifikacije. (Rep in Pohleven, 2002)

Razvitih je veliko postopkov kemične modifikacije lesa. Nekatera sredstva so kondenzacijskega tipa in reagirajo z -OH skupinami v lesu. Druga sredstva povzročijo zamreženje. Nekatere vrste sredstev preprosto zapolnijo les in zamenjajo vodo v celični steni. Komercialno uporabljeni imeni kemično modificiranega lesa sta med drugimi Compreg in Impreg.

Impregnacijo masivnega lesa z utekočinjenim lesom, ki ima dodatek melaminske smole, lahko štejemo med kemično modifikacijo.

Encimska modifikacija

Modifikacija lesa s pomočjo encimov je zaenkrat še najmanj raziskano področje. Način spremembe osnovne molekularne strukture poteka s pomočjo encimov. Na primer, encim laktaza spremeni lesno strukturo lignina in s povečanjem števila reaktivnih mest omogoča vroče lepljenje lesnih vlaken. Možno je celo lepljenje brez dodatnega lepila. (Rep in Pohleven, 2002)

2.6 LESNO POLIMERNI KOMPOZITI

Lesno polimerni kompoziti so lahko katerakoli kombinacija lesa in polimera. Od polimera, napolnjenega z lesno maso, do masivnega lesa, polnjenega z polimerom. Kompoziti prevzamejo prednostne lastnosti od vsake komponente, zato imajo večinoma boljše karakteristike kot vsaka komponenta posebej. Lesno polimerni kompoziti so bili širše raziskovani že od šestdesetih let dvajsetega stoletja. Upali so, da bodo združili natezno trdnost celuloznih vlaken in trdnost, odpornost proti abraziji ter nekomprimiranost polimernih materialov. Večinoma je tekoč monomer s pomočjo vakumske črpalke injiciran v lumne masivnega lesa in tam polimeriziran. Polimerizacija lahko poteče s pomočjo povišane temperature, visoke frekvence, mikrovalov, radiacije,...večkrat tudi s pomočjo kislinskih katalizatorjev. Polimerizacija poteče v lumnih, kapilarah, trakovih itd., in do neke mere tudi v celični steni, v kolikor je snov zaradi nabrekanja impregnirala tudi te. Prisotnost polimera v lesni strukturi izboljša površinsko trdoto ter izboljša dimenzijsko stabilnost in biološko odpornost, zaradi zmanjšanja potencialnega vdora vode v lesno strukturo. Lesno polimerni kompoziti se večinoma uporabljajo v lesenih produktih visokega cenovnega razreda, kjer lahko povečana uporaba upravičuje njihovo višjo ceno glede na navaden les. (Din, 1989)

2.7 UTEKOČINJEN LES

2.7.1 Termomehanska razgradnja lesa

Termomehanično razgradnjo lesa lahko razdelimo na uplinjevanje, pirolizo in direktno utekočinjevanje. Zadnja dva procesa včasih med seboj zaradi nerazumevanja postopkov zamenjujejo. Pri pirolizi in direktnem utekočinjevanju se makromolekule pretvorijo v tekoče produkte. V primeru utekočinjevanja se makromolekule ob prisotnosti katalizatorja razgradijo na manjše molekule, hkrati pa te manjše nestabilne in reaktivne molekule polimerizirajo v oljne produkte. Pri pirolizi pa katalizator ni potreben. Lahki produkti razgradnje se pretvorijo v oljne produkte prek reakcij v plinski fazi. Temperatura pri pirolizi znaša med 380 °C in 530 °C, tlak pa 0,1 bar do 0,5 bar. Pri utekočinjevanju pa je temperatura nižja in znaša med 250 °C in 330 °C, tlak pa je od 5 bar do 20 bar. (Demirbaş, 1999)

2.7.2 Postopki pridobivanja

Poznamo dva prevladujoča načina utekočinjevanja lesa. Prvi je s pomočjo polihidričnih alkoholov kot sta polietilenglikol ali glicerol. Tu je kot katalizator največkrat uporabljen žveplova (VI) kislina. Drugi postopek poteka s fenoli v alkalnem mediju. Slednji postopek je ekološko bolj sporen, zaradi uporabe fenola. Vendar se v svetu ta način precej uporablja.

2.7.3 Uporabnost utekočinjenega lesa

Potreba po lesu se veča, narašča pa se tudi raznolikost njegove uporabnosti in kombinacij z drugimi vrstami materialov. Uporaba lesnih vlaken, celuloze in celuloznih derivatov v odliti plastiki se je močno povečala. Industrija proizvaja kompozite, sestavljene iz lesne in nelesne biomase, lesa in kovin, lesa in plastike, lesa in stekla in tudi iz lesa in sintetičnih vlaken. Kompoziti iz lesa in plastike, ojačani s steklenimi vlakni, so se izkazali kot primeren nadomesek kovinam. Uporablajo se pri izdelavi strojnih delov kot so podložke, ležaji, prestavni zobčeniki, ohišja... Trenutno se na trgu veliko dela tudi na tem, da bi se kmalu pojavili kompoziti utekočinjen les/plastika. Ulico pohištvo, hišni pribor, ročaji za orodja, glasbeni instrumenti..., so končni produkt teh raziskav. Utekočinjen les je razmeroma nov in slabo raziskan material. Zaenkrat komercialne rabe tega produkta iz lesa še ni. To dejstvo bi se lahko spremenilo z rabo utekočinjenega lesa za prepojitev celičnih sten in zapolnitev lumnov masivnega lesa. Če bi utekočinjen les reagiral z -OH reagirajočimi smolami kot naprimer z melaminom in bi se poleg tega še vezal na celične stene masivnega lesa, bi nastal produkt z zelo omejenim nihanjem lesne vlažnosti in s tem z veliko dimenzijsko stabilnostjo.

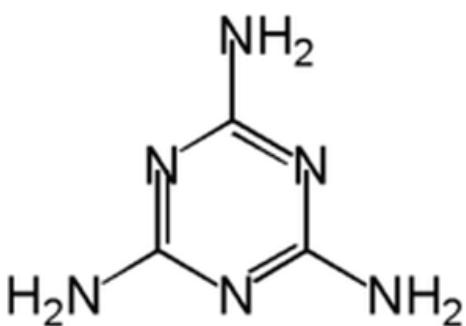
2.8 MELAMIN

2.8.1 Fizikalne lastnosti

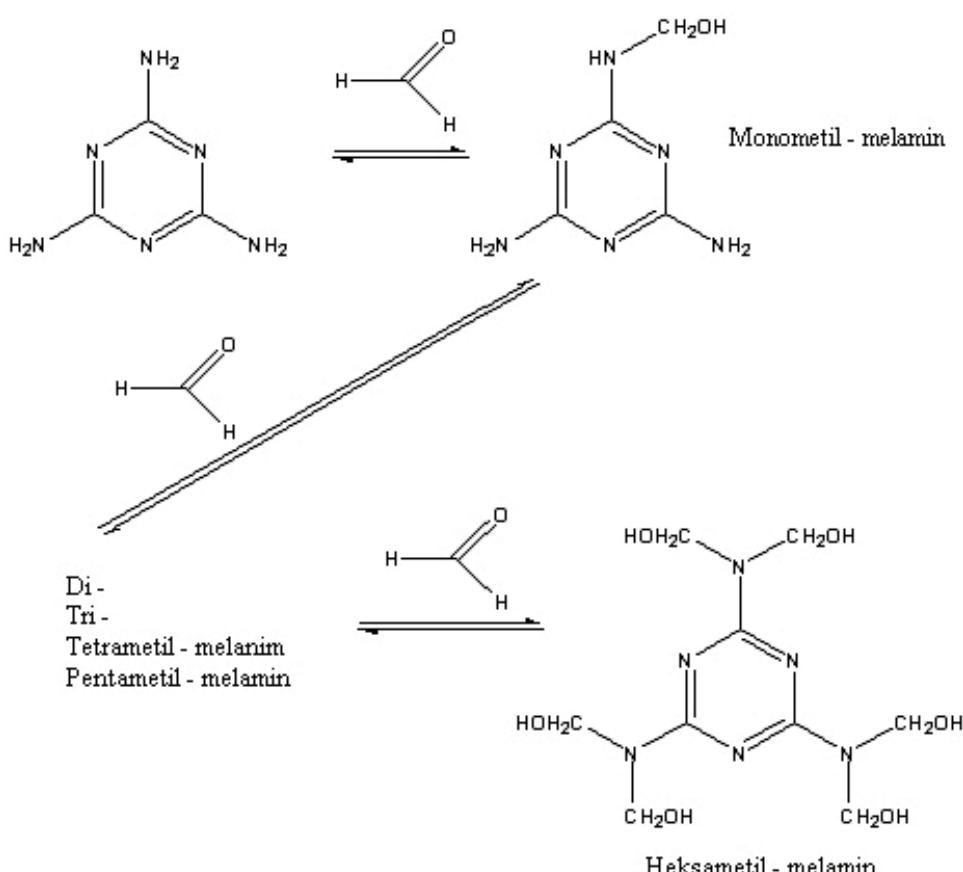
Melamin je pri sobni temperaturi trdna substanca bele barve. Ima gostoto $1,57 \text{ g/cm}^3$ (20°C). Topen je v topli vodi, slabše v hladni. Stali se pri okoli 350°C , pri tej temperaturi se začne tudi razkrajati. (Melamin, 2007)

2.8.2 Kemijske lastnosti

Melamin je organska spojina s kemično formulo $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$ in IUPAC imenom 1,3,5-triazin-2,4,6-triamin ($M = 126,12 \text{ g/mol}$). Pridobivajo ga iz uree. Slika 1 prikazuje strukturno formulo melamina. Tri reaktivne aminske skupine omogočajo mnogoštevilne reakcije, od katerih je reakcija s formaldehidom, tako imenovana metil-melaminska reakcija, ekonomsko najpomembnejša. S formaldehidom melamin reagira tako, da nastane brezbarvna tekočina. Kot je razvidno iz slike 2, lahko preko izbire reakcijskih pogojev in molskega razmerja melamina in formaldehida, vplivamo na ravnotežje med mono-, di-, tetra-, penta- in heksa-metilomelaminom. Do 6 aktivnih hidroksilnih skupin melaminu omogoča, da se s formaldehidom ali metanolom veže v veliko družino smol. Melaminska smola lahko reagira s prostimi hidroksilnimi skupinami. (Melamin, 2007)



Slika 1: Strukturna formula melamina (Melamin, 2007)



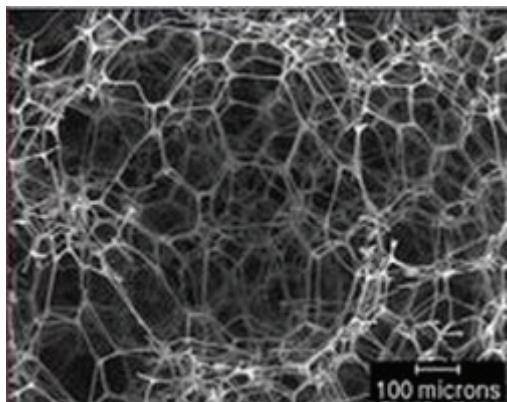
Slika 2: Vezava melamina s formaldehidom (Melamin, 2007)

2.8.3 Uporabnost v lesni industriji

Melamin največ uporabljam za izdelavo melaminskih smol, ki se z reakcijo s formaldehidom pretvorijo v zelo trajno duroplastno plastiko. Melaminske smole imajo veliko uporabnost v papirni in lesni industriji. Papir je lahko impregniran z melaminsko smolo in nato prilepljen na vlaknene ali druge plošče. Ploščam da trdo, gladko in vodoodporno površino. Tudi furnirje lahko impregnirano z melaminsko smolo in jim s tem izboljšamo dimenzijsko stabilnost, vododpornost in trdoto. Les, modificiran z melaminsko smolo, je od 1,5 do 4 krat trši od neobdelanega lesa. Vendar pa je to še vedno manj od trdote, ki jo dosežemo z akrilati, metakrilati in ostalimi vinilnimi monomeri. Le-ti povečajo trdoto od 7 do 10 krat v primerjavi z neobdelanim lesom. Trdoto lesa, impregniranega z melaminsko smolo, lahko povečamo tudi s stiskanjem lesa. Vendar pa melaminska smola zmanjša abrazijsko trdoto lesa. Pogosto pa melaminske smole uporabljamо tudi v laminatihi. Melaminske smole najbolj običajno laminiramo direktno na vlaknene plošče, ki so namenjene uporabi pri sestavljanju pohištva in za kuhinje. (Ibach in Ellis, 2005)

2.8.4 Raziskave z melaminskimi smolami v lesarstvu

Podobno kot urea-formaldehidne smole ali poliester, tudi melaminske smole reagirajo s hidroksilnimi skupinami, vendar so veliko bolj reaktivne. Želeno je, da bi melaminske smole reagirale z -OH skupinami v celični steni in s tem vezale utekočinjen les v lesno strukturo ter ga hkrati povezovale v trdno strukturo. Struktura zamreženega melamina je vidna s slike 3.



Slika 3: Prikaz zamrežene strukture utrjenega melamina (Melamin, 2007)

3 MATERIALI IN METODE DELA

3.1 MATERIALI

Materiale, uporabljene v tej diplomski nalogi, smo izbrali z željo dobiti končni produkt, katerega proizvodnja bi bila ekonomsko upravičena.

3.1.1 Utekočinjen les UL

Utekočinjen les v raziskavi je bil pridobljen iz lesnega žaganja topolovine po postopku s polihidričnimi alkoholi. Kot topilo je bil uporabljen dietilen glikol, za katalizator pa je bila uporabljena žveplova(VI) kislina. Temperatura reakcije je znašala 150 °C, čas pa okoli uro in 20 minut. Utekočinjen les je imel vrednost pH 7,2. V nalogi smo uporabili že pripravljen utekočinjen les..

Žveplova(VI) kislina, ki se je pri utekočinjevanju uporabila kot katalizator, niža pH tekočega lesa. Ker je za reakcijo z Melapretom NF 70/M zaželen pH v območju kislih vrednosti, nevtralizacije utekočinjenega lesa nismo izvedli. Na slikah 4 in 5 je viden utekočinjen les pred raztopitvijo v etanolu in po njej.



Slika 4: Kondenzirana smola iz UL



Slika 5: V etanolu raztopljeni smoli iz UL

3.1.2 Melaminska smola MELAPRET NF 70/M (MF)

V raziskavi smo se med razpoložljivimi melaminskimi smolami odločili za smolo Melapret NF 70/M (MF) proizvajalca Melamin Kočevje. Razlog za izbiro tega sredstva so bile preliminarne raziskave osmih različnih melaminskih smol kot utrjevalcev za utekočinjen les.

Melapret NF 70/M je višje koncentriran proizvod z nizko vsebnostjo prostega formaldehida. MF je metilirana melamin-formaldehidna smola, ki se uporablja za proizvodnjo mokromočnega papirja in kartona v kislem pH področju. Smola se uporablja tudi za površinska in impregnacijska oplemenitenja. (Ogorelec, 2007)

Fizikalno kemijske lastnosti sredstva Melapret NF 70/M so podane v preglednici 1.

Preglednica 1: Fizikalno kemijske lastnosti sredstva Melapret NF 70/M (Ogorelec, 2007)

izgled:	prozorna do opalescentna raztopina
barva:	brezbarvna do rahlo rumena raztopina
suha snov (halogenski sušilec):	70 % - 72 %
viskoznost (DIN EN ISO 2431, Φ4 mm, 20 °C):	80 s - 150 s
vrednost pH:	8,0 - 9,5
gostota pri 20 °C:	1240 kg/m ³ - 1255 kg/m ³
prosti formaldehid:	maks. 0,3 %
ionski naboj produkta:	anionski
ionski naboj kislega koloida:	kationski

Melapret NF 70/M v obliki kislega koloida uporabljamo za proizvodnjo mokromočnega papirja in kartona v kislem pH območju. Kot surovina se lahko uporabljata beljena in nebeljena celuloza, kot tudi vse vrste starega papirja. Melapret NF 70/M je najbolj primeren za proizvodnjo brezlesnega papirja iz beljene celuloze (lugoodporen etiketni papir, filterski papir, laminatni papir...). Melapret NF 70/M poleg mokre jakosti izboljša tudi suho in napočno jakost ter dimenzijsko stabilnost. Prav tako ne povzroča porumenitve izdelanega papirja. (Ogorelec, 2007)

Melapret NF 70/M, impregnacija

Melapret NF 70/M lahko pod kislimi pogoji nanašamo na površino papirja ali kartona. Pri tem se izboljšajo vodoodpornost, dimenzijska stabilnost, odpornost na radiranje ter zmanjša prašenje. Papir impregniramo z nizko koncentriranimi vodnimi raztopinami smole ob prisotnosti kislih katalizatorjev (NH_4Cl). Dodatki Melapreta NF 70/M znašajo od 1 g/m² do 2 g/m². Če želimo doseči zadostno sušenje papirja oziroma optimalno mokro jakost, mora biti temperatura zadnje sušilne cone med 100 °C in 110 °C. (Ogorelec, 2007)

Melapret NF 70/M (MF) se pri povisani temperaturi močno peni. To preprečimo, če ga nanašamo na površino v tanki plasti. Struktura utrjenega MF je močno penasta z neenakomerno velikimi zračnimi mehurji (Slika 6). Penasta struktura se pojavi pri temperaturi utrjevanja nad 100 °C, približno pri kateri ima sredstvo temperaturo vrelišča. Utrjen MF je zelo trd, vendar krhek material, ki je zelo odporen na vodo.



Slika 6: Utrjen Melapret NF70/M pri T=103 °C, t=2h

3.1.3 Les

Za izdelavo preskušancev smo uporabili les črnega topola (*Populus nigra L.*). Topol je hitro rastoče listopadno drevo. Znanih je okrog 40 vrst v zmernem pasu severne poloble. V Sloveniji so tri avtohtone vrste (beli topol, črni topol in trepetlika). Zaradi svoje hitre rasti in enodebelnosti je zaželena vrsta v drevesnih nasadih oziroma plantažah. Les spada med zelo porozne, čeprav sta bukov les in beljava bora še lažje impregnabilna. Topol je prvo drevo, katerega genom so popolnoma raziskali. Poročilo o uspešno razvozlanem genomu je bilo objavljeno septembra 2006 v reviji Science (Stokstad, 2006)

3.1.3.1 Vzorci

Orientirano desko topola, brez kakršnekoli predhodne zaščite ali sekundarne obdelave, smo dobili od lokalnega mizarja s Koroške. Desko smo debelinsko obdelali na skobelnem stroju, vzdolžno in prečno pa s krožno žago z visokimi obrati. Iz centralnega dela smo izrezali vzorce dimenzij $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ (Slika 7). Za določanje dimenzij vzorcev smo uporabili elektronski mikrometer z natančnostjo $1 \times 10^{-2} \text{ mm}$. Vzorci so bili izrezani z natančnostjo $(20 \pm 0,5) \text{ mm}$. Zato brušenje ni bilo potrebno. Robovi kocke so ostali ostri, tako da je bilo določanje volumna prek dimenzij dovolj natančno.

Brušenju smo se raje izognili, ker bi drugače lahko droben prah zamašil pore in ga bi bilo težje impregnirati. Pred impregnacijo so bili vzorci posušeni na absolutno suho stanje ($T = 103 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $t = 24\text{h}$). Prvi razlog za sušenje je bilo lažje in natančnejše določanje navzema. Drugi razlog pa je bila eliminacija možnosti reakcije melaminske smole z vodo. Število vzorcev je bilo enako za obe zmesi, s katerimi smo izvedli impregnacijo, in tudi pri kontroli, in sicer po deset.



Slika 7: Nezaščiten vzorec topola

3.1.4 Topilo

Za topilo je bil izbran etanol, ker ima želene lastnosti, ki so:

- polarno topilo,
- nizka viskoznost,
- dobra hlapnost.

Voda kljub svoji polarnosti, dostopnosti ter cenosti ni dobro topilo, ker bi lahko preko svojih hidroksilnih skupin reagirala z melaminsko smolo. Voda je neprimerno topilo tudi zaradi počasnega izparevanja in manjše viskoznosti.

3.2 METODE

3.2.1 Želene lastnosti impregnacijskega sredstva

- Vezava UL v molekulska zgradbo polimeriziranega MF
- Vezava melamina na -OH skupine celičnih sten v lesu
- Nizka viskoznost
- Čim manjše molekule (za dobro difuzijo v celično steno)
- Netopnost utrjenega kompleksa UL-MF
- Čim nižja koncentracija MF
- UL kot polnilo

3.2.2 Priprava zmesi

Utekočinjen les smo razredčili s 96 % etanolom v razmerju 1:1 (50 % UL in 50 % etanola). Tako smo dobili osnovno zmes (OZ). Snov smo mešali z magnetnim mešalom, dokler ni postala homogena. To je trajalo približno 60 min. Osnovno zmes smo nato dozirali v 100 mL čaše, v vsako po 20 g. Osnovni zmesi smo dodali različne količine melaminske smole. Tako smo dobili 16 različnih zmesi (UL-MF). Kontrolno sredstvo, ki ni imelo dodanega MF, smo označili z oznako K. Sredstva z dodanim MF pa smo označili s številkami od 1 do 15. Količine dodanega melamina in njen deleži so bili preračunani na maso osnovne zmesi. Sestava sredstev je razvidna iz preglednice 2.

Preglednica 2: Sestava zmesi

Sredstvo	W_1 (MF) (%)	m_{oz} (g)	m_{MF} (g)	W_2 (MF) (%)
K	0,0	20	0,0	0,00
1	2,5	20	0,5	2,44
2	5,0	20	1,0	4,76
3	7,5	20	1,5	6,98
4	10,0	20	2,0	9,09
5	12,5	20	2,5	11,11
6	15,0	20	3,0	13,04
7	17,5	20	3,5	14,89
8	20,0	20	4,0	16,67
9	30,0	20	6,0	23,08
10	40,0	20	8,0	28,57

Preglednica 2: Nadaljevanje

Sedstvo	W_1 (MF) (%)	m_{oz} (g)	m_{MF} (g)	W_2 (MF) (%)
11	50,0	20	10,0	33,33
12	60,0	20	12,0	37,50
13	70,0	20	14,0	41,18
14	80,0	20	16,0	44,44
15	90,0	20	18,0	47,37

W_1 (MF)....koncentracija MF v odvisnosti od m_{oz} (%)

W_2 (MF)....koncentracija MF v odvisnosti od celotne mase ($m_{oz} + m_{MF}$) (%)

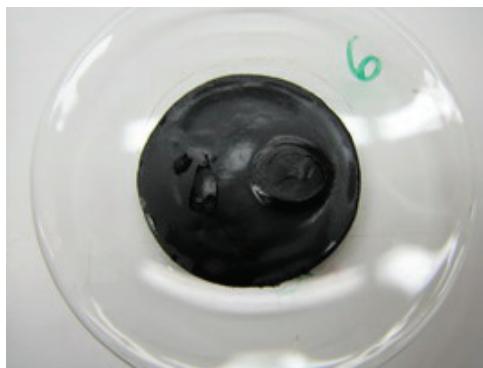
m_{oz}masa osnovne zmesi (g)

m_{MF} masa dodanega MF (g)

V nadaljevanju bomo za podajanje koncentracij MF v zmesi uporabljali W_2 .

3.2.3 Določanje deleža suhe snovi

Za določanje deleža suhe snovi smo uporabili urna stekla. V stekla smo natehtali od 1g do 2 g zmesi, z natančnostjo 1×10^{-2} g. Zmesi smo dali v sušilnik za 24 ur pri temperaturi 103 ° C . Po sušenju smo jih ponovno stehtali in določili delež suhe snovi.



Slika 8: Zmes v urnem steklu za merjenje deleža suhe snovi

3.2.4 Priprava vzorcev zmesi za določanje njihovih lastnosti

Sredstvo smo nanesli na steklene ploščice z debelinskim nanašalnikom Erichsen in sicer v plasteh debeline 240 µm. Ploščice z nanesenimi zmesmi smo postavili v sušilnik pri

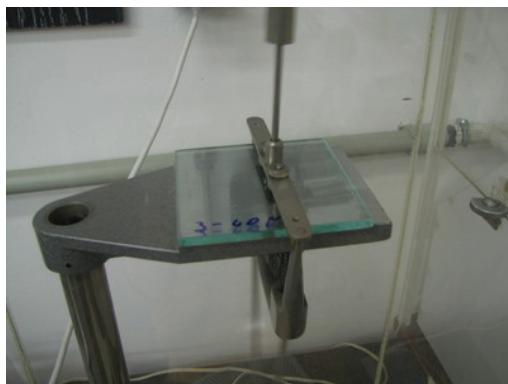
temperaturi 115 °C za 2 uri. Pri ohlajanju vzorcev je bilo razvidno, da imajo vzorci, ki so bili ohlajeni v eksikatorju, večjo trdoto kot vzorci, ohlajeni pri sobni vlažnosti. Iz tega bi že lahko sklepali, da so sredstva občutljiva na vlago. Za merjenje trdote smo zato vse vzorce ohlajevali v eksikatorju.

3.2.5 Trdota

Trdota snovi pove veliko o njenih lastnostih. Trdota tako posredno kaže na kemijske spremembe v UL, ki jih povzroči dodatek različnih koncentracij melamina. Želena je bila čim višja trdota ob čim manjšem dodatku melamina. Trdoto sredstva smo določali na več načinov.

3.2.5.1. Metoda z dušenim nihanjem (SIST EN ISO 1522)

Steklene ploščico s sredstvom smo vstavili na polagalno ploščo, kot je razvidno slike 9, nanjo spustili nihalo, ga odklonili za 6 ° in sprostili. S štoparico smo merili čas, ki je bil potreben, da je amplituda nihanja padla s 6 ° na 3 °. Celotna naprava je razvidna na sliki 10.



Slika 9 : Steklena plošča na polagalni plošči na napravi za merjenje trdote po metodi z dušenim nihanjem



Slika 10 : Naprava za merjenje trdote po metodi z dušenim nihanjem

3.2.5.2 Metoda z razenjem (SIST EN ISO 1518)

Za določanje odpornosti proti razenju smo uporabili vzmetni svinčnik s konico premera 1 mm. S pomikom drsnega obroča smo nastavljeni ustrezno obremenitev na konico. Test smo opravljali na istih vzorcih kot pri metodi z dušenim nihanjem. Sredstvo ni bilo naneseno na lesno površino zato nismo mogli raziti površine prečno na potek vlaken. Test torej ni bil izveden v skladu s standardom, vendar nam je kljub temu podal nekaj karakteristik pripravljenih zmesi.

3.2.6. Določanje prožnosti z metodo po Petersu (DIN 53 155)

Z metodo po Petersu smo ugotavljali prožnost sredstva. Na istih vzorcih kot smo jih uporabili pri prejšnjih testih, smo z nožem pod kotom 30° poizkušali izrezati čim daljše struglje filma sredstva.

3.2.7 Odpornost proti hladnim tekočinam (SIST EN 12720)

Vzorcem smo izmerili odpornostne lastnosti proti destilirani vodi in 48 % alkoholu pri temperaturi 22°C . Tampone smo za 30 sekund namočili v preizkusno tekočino, počakali,

da se odcedijo in jih nato položili na vzorce. Na levo stran testne površine smo položili tampon, namočen z etanolom, na desno pa tampon namočen z vodo. Mesto s tamponoma smo nato pokrili s stekleno čašo, da ne bi prišlo do prehitrega izparevanja testne tekočine. Tampone smo pustili na površini 30 minut. Po pretečenem času smo jih odstranili in v skladu s standardnim postopkom ocenili nastale poškodbe.

3.2.8 Izbira zmesi za impregnacijo lesa

Metoda z dušenim nihanjem je trdoto utrjenih zmesi prikazala najboljše. Na osnovi dobljenih rezultatov smo za nadaljnje poskuse izbrali dve sestavi. Prvo je bilo sredstvo 8, ki je imelo koncentracijo dodanega MF kot utrjevalca 16,67%. Za to koncentracijo smo se odločili, ker smo ugotovili, da je to minimalna koncentracija, pri kateri se lastnosti UL bistveno spremenijo. Drugo sredstvo, ki smo ga izbrali je bilo sredstvo 14 s koncentracijo dodanega MF kot utrjevalca 44,44 %. To koncentracijo smo izbrali, ker je pri njej utrjen UL kazal solidne odpornostne lastnosti in je bil dobljen produkt zelo trd. Zmes s koncentracijo 16,67% v nadaljevanju naloge imenujemo sredstvo A (Slika 11), zmes s koncentracijo 44,44 %, pa sredstvo B (Slika 12).

Preglednica 3: Sestava sredstva A in B

Sredstvo	W(UL) (%)	W(etanol) (%)	W(MF) (%)	SS (%)
A	41,66	41,66	16,67	37,29
B	27,77	27,77	44,44	52,10

W(UL).....delež utekočinjenega lesa (%)

W(etanol)....delež etanola (%)

W (MF).....delež Melapreta NF70/M (%)

SS.....suha snov (%)



Slika 11: Utrjeno sredstvo A

Slike 11 je razvidno, da se sredstvo pod vplivom visoke temperature skoraj ni penilo. To je posledica majhne koncentracije MF.



Slika 12: Utrjeno sredstvo B

Slike 12 je razvidno, da se je sredstvo pod vplivom visoke temperature močno penilo. To je posledica višje koncentracije MF.

3.2.9 Delež praznih prostorov v lesu

Celuloza, hemiceluloze in lignin so razporejeni v različnih razmerjih po celotni celični steni. Ti trije -OH vsebujoči polimeri tvorijo trdno fazo lesa. Prazne strukture ali lumne v lesu lahko obravnavamo kot prostor za zapolnjevanje s tekočim polimerom.

3.2.10 Želene lastnosti impregniranega lesa

- Povečana vodooodbojnost lesa
- Povečana trdota lesa
- Izboljšana biološka odpornost
- Povišan prag gorljivosti
- Nizki proizvodni stroški
- Netoksičnost
- Biološka razgradljivost
- Enostaven za obdelavo
- Dokaj specificirane tehnische lastnosti
- Ekološka nespornost
- Ekomska upravičenost

3.2.11 Impregnacija lesa z utekočinjenim lesom

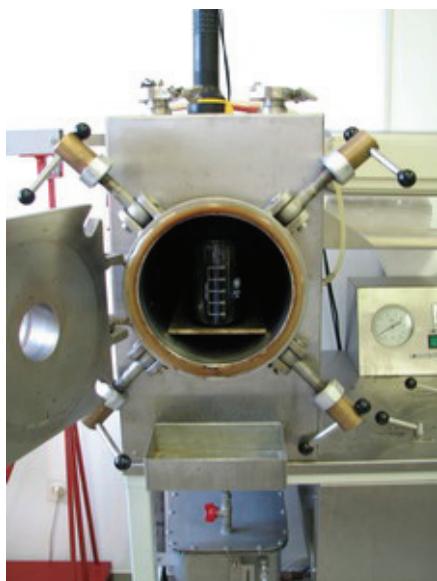
3.2.11.1 Pogoji reakcije

Pri zasnovi poskusov smo upoštevali pogoje, navedene v nadaljevanju. Temperatura utrjevanja utekočinjenega lesa v impregniranem lesu mora biti dovolj nizka, da ne pride do termične degradacije lesa, kljub temu pa dovolj visoka, da reakcija poteče hitro in kakovostno. Varna zgornja meja je okoli 120 °C. Sušiti les pod 1 % lesne vlažnosti je zelo težko, vendar je previsok delež vode v lesu problematičen. Voda je bolj reaktivna kot hidroksilne skupine v lesu. Poleg tega skoraj vse reakcije utrjevanja UL potrebujejo katalizatorje. Ker je les reaktivni substrat, je kot katalizator nemogoče uporabljati močne kisline, saj le-te lahko povzročijo razgradnjo lesa. (Rowell, 1983)

3.2.11.2 Vakuumski postopek

Vzorce smo impregnirali po Bethellovem postopku polnih celic (slika 13). Vstavili smo jih v 500 mL stekleno posodo in jih obtežili s svinčeno utežjo. Posodo smo položili v komoro, ter v njo napeljali cev, po kateri smo pod vakuumom injicirali sredstvo za impregnacijo. Postopek se je začel z enournim vakuumiranjem komore pri tlaku 6×10^3 Pa (60 mbar absolutno) oz. 94 % vakuumu. Po tem času smo pri vzpostavljenem podtlaku injicirali

sredstvo. Ko so bili vzorci dovolj prekriti z zmesjo (nadmera zaradi kasnejše absorpcije sredstva v les), smo v komori vzpostavili nadtlak $9,3 \times 10^5$ Pa (9,3 bar). Ta tlak je bil vzpostavljen 4 ure. Po tem času smo vzorce vzeli iz komore in obrisali s suho krpo (sliki 14 in 15).



Slika 13: Vakuumsko-tlačna komora za impregnacijo lesa



Slika 14: Vzorec po impregnaciji, prekrit s sredstvom



Slika 15: Očiščen vzorec po impregnaciji

3.2.11.3 Utrjevanje

Ker se MF utrjuje pri visokih temperaturah, je zelo pomembno, da lesne strukture zaradi visokih temperatur utrjevanja hkrati tudi ne modificiramo. Termična modifikacija se prične pri okoli 120°C . Zato smo za utrjevanje UL-MF izbrali 115°C . Pri tej temperaturi se sredstvo brez katalizatorjev utrjuje 2 uri.

3.2.11.4 Sušenje

Sušenje vzorcev do absolutno suhega stanja je potekalo v sušilniku 24 ur pri temperaturi $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Sušenje do absolutno suhega stanja je pomembno zaradi kasnejšega ugotavljanja navzema vode in izpirljivosti sredstva. Po sušenju so se vzorci ohlajali v eksikatorju približno 30 minut.

3.2.11.5 Namakanje vzorcev v vodi

Namakanje vzorcev je potekalo po pospešenem načinu. Zaščitene in nezaščitene vzorce smo potopili v destilirano vodo in jih dali v vakuumsko črpalko. Najprej smo v komori vzpostavili 96 % vakuum in sicer za 2 uri, nato pa smo jih izpostavili nadtlaku 9,1 bar za 1 uro. Po tej zadnji fazi smo v komori vzpostavili atmosferski tlak in vzorce vzeli iz komore. Pustili smo jih namočene še 24 ur. Ko so bili zaščiteni vzorci absolutno namočeni, smo jim izmerili maso in dimenzijs.

3.2.12 Določanje lastnosti topolovega lesa, impregniranega z UL

3.2.12.1 Navzem sredstva

Navzem sredstva v lesno strukturo je ključen pogoj za uspešno impregnacijo. Za vsako zmes smo uporabili 10 vzorcev. Izračunali smo navzem sredstva pred sušenjem, navzem sredstva po utrjevanju in povečanje mase (WPG) po utrjevanju.

3.2.12.2 Volumski nabrek

Razlika med volumnom absolutno suhega neimpregniranega vzorca in absolutno suhega impregniranega vzorca predstavlja nabrek (v merskih enotah). Navzem sredstva v celično steno je sorazmeren z volumskim nabrekom. Torej lahko prek volumskega nabreka ugotovimo delež impregniranega sredstva v celičnih stenah. To pa nam pove tudi odstotek zasičenosti celične stene.

3.2.12.3 Učinkovitost proti nabreku (*anti-swelling efficiency*)

Učinkovitost proti nabreku (*anti-swelling efficiency, ASE*), pove, za koliko se je faktor nabreka zmanjšal zaradi impregnacije s sredstvom.

3.2.12.4 Izpiranje

Za test izpiranja smo uporabili iste vzorce kot pri določanju ASE. Potek izpiranja je potekal sočasno s potekom namakanja vzorcev do absolutno mokrega stanja. Pri 24 urnem namakanju je prišlo do izpiranja sredstva. Po merjenju dimenzij in mas absolutno mokrih vzorcev, smo pričeli s postopnim sušenjem vzorcev. Sušenje vzorcev je potekalo počasi, da zaradi prenaglega sušenja ne bi prišlo do krivljenja ali nastanka razpok. Prvih 96 ur smo vzorce sušili pri sobnih pogojih, naslednjih 24 ur pri temperaturi 40 °C, zadnjih 24 ur pa pri 103 °C. Po zadnjem ciklu so bili vzorci posušeni do konstantne mase, oziroma absolutno suhega stanja. Vzorce smo ohladili v eksikatorju in jim izmerili dimenzije in mase. Iz dimenzij smo izračunali volumne. Test izpiranja naj bi prikazal kako močno, če sploh, se je sredstvo vezalo v lesno strukturo.

4 REZULTATI

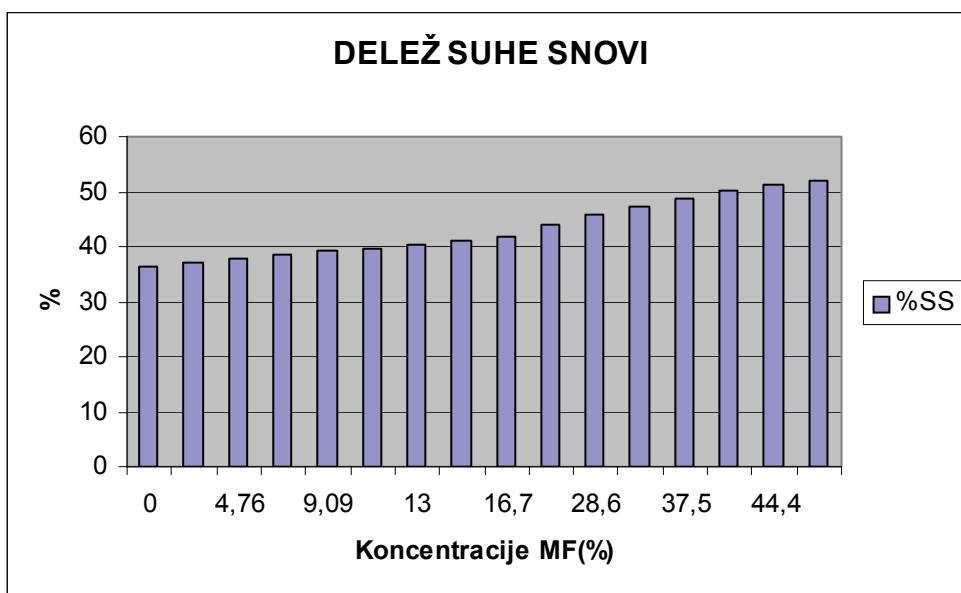
4.1 PRELIMINARNI POIZKUSI S KATALIZATORJEM

Ker utekočinjen les po utekočinjevanju ni bil nevtraliziran, je imel relativno visok pH, okoli 7,2. V navodilih za uporabo Melapreta NF 70/M piše, da je za pravilno reakcijo smole potreben kisel medij. Ker nas je zanimalo utrjevanje MF pri nizkih temperaturah in kratkih časih, smo povečevali koncentracijo katalizatorja, ki je bil v našem primeru amonijev sulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$). Kislost sredstva se je z dodajanjem amonijevega sulfata povečevala. Ugotovili smo, da se zmes za impregnacijo, tudi ob prisotnosti večjih koncentracij amonijevega sulfata, ne utrdi pod 100°C , oziroma da je čas utrjevanja daljši od 20 minut. Utrjevanje zmesi do temperature 100°C smo izvedli v vodni kopeli. Višja kislost zmesi zaradi dodatka katalizatorja bi lahko slabo delovala na lesno strukturo. Le-ta bi lahko pričela degradirati. Zato katalizatorja pri pripravi sredstva nismo dodajali.

4.2 LASTNOSTI SREDSTVA ZA IMPREGNACIJO LESA

4.2.1 Delež suhe snovi

Delež suhe snovi (SS), izmerjene s sušenjem, je bil približno enak kot izračunan delež suhe snovi. Iz deležev suhe snovi v posameznih komponentah in njihovih deležev v pripravljeni zmesi, smo lahko izračunali delež suhe snovi v zmesi. Delež suhe snovi UL je znašal 72,33 %, delež suhe snovi MF 70,52 %, delež suhe snovi etanola pa je seveda 0 %. Osnovna zmes samo z UL je po 24 urnem sušenju pri 103°C imela 36,16 % suhe snovi. Ob dodatku MF smole se je delež suhe snovi sorazmerno povečeval zaradi večje stopnje suhe snovi v MF. Graf odvisnosti med deležem MF ter deležem suhe snovi v zmesi UL-MF je prikazan na sliki 16.



Slika 16: Razmerje med koncentracijo MF v zmesi in deležem suhe snovi v njej

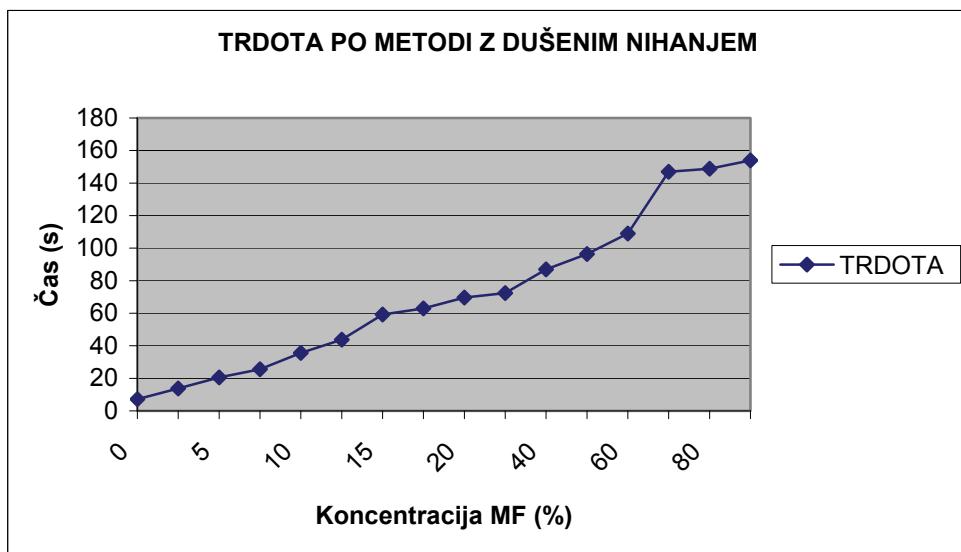
Delež suhe snovi (SS) se povečuje z večanjem koncentracije MF v zmesi (UL-MF).

4.2.2 Trdota utrjene zmesi UL-MF

Za določanje utrjenosti nanesenega filma smo uporabili različne metode merjenja trdote. Izkazalo se je, da se trdota filma povečuje sorazmerno z večanjem deleža dodanega MF.

4.2.2.1 Metoda z dušenim nihanjem (SIST EN ISO 1522)

Metoda z dušenim nihanjem je najnatančnejša metoda merjenje trdote, ki smo jo uporabili in je zato tudi najbolj uporabna. Trdota čistega utrjenega UL je znašala povprečno samo 7,2 sekund. Z večanjem koncentracije MF v zmesi, se je trdota večala. Odvisnost med trdoto in deležem MF je prikazana na sliki 17.



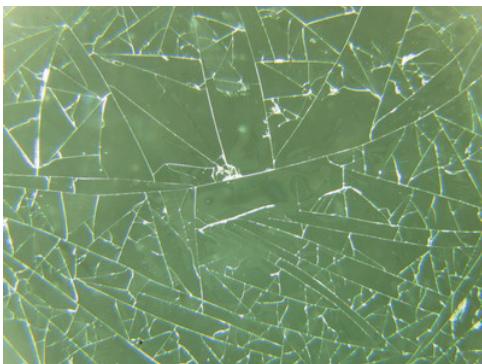
Slika 17: Trdota zmesi, določena z dušenim nihanjem, v odvisnosti od deleža MF v njej

4.2.2.2 Metoda z razenjem (SIST EN ISO 1518)

Med razenjem s svinčnikom se je sredstvo luščilo od steklene površine že pri zelo nizkih obremenitvah. Rezultati tega testa zato niso bili uporabni.

4.2.3 Trdota Melapreta NF70/M (MF)

Tudi določanje trdote čistega MF smo izvedli po metodi z dušenim nihanjem. Na steklene plošče debeline 3 mm smo z debelinskim nanašalnikom nanesli film treh različnih debelin. Pri debelinah 240 µm in 140 µm, je zaradi razlike v termičnem raztezanju oziroma krčenju med steklom in MF prišlo do nastanka razpok (Slika 18). Trdota čistega MF je znašala povprečno 247 sekund, kar je v rangu trdote stekla, ki je povprečno znašala 251 sekund.



Slika 18: Razpokana struktura utrjene MF, pri debelinskem nanosu 140 μm

4.2.4 Prožnost utrjene zmesi, določena z metodo po Petersu (DIN 53 155)

Pri čistem UL so bile deformacije skoraj v celoti plastične, sredstvo ne kaže nikakršne elastičnosti. Spominja na plastelin. Čisti MF pa je zelo trd in se je pri testu določanja prožnosti pričakovano izkazal za zelo tog in krhek material.

Pri vseh zmeseh, razen pri kontroli, ki ni imela dodanega MF, in zmesi številka1, ki je imel koncentracijo dodanega MF 2,44%, so med zarezovanjem nastajali struglji sredstva krajši od 3 mm. To pomeni, da je bilo sredstvo zelo krhko oziroma neprožno. Vzorci z zelo malim dodatkom MF so kazali večjo plastično deformacijo kot vzorci z večjim deležem MF. Najvišjo stopnjo plastičnosti, je kazal vzorec brez dodanega MF. Čisti MF pa je kazal najmanjšo stopnjo elastičnosti.

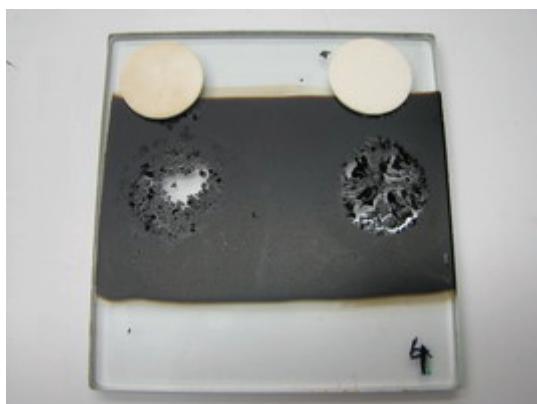
Impregnacijsko sredstvo na osnovi utekočinjenega lesa pa bi se seveda lahko v lesni strukturi obnašalo popolnoma drugače. Ker je razporejeno po celotni lesni strukturi, verjetno v utrjenem sredstvu pride do manjših notranjih napetosti. Poleg tega pa bi sredstvo v lesu prenašalo večinoma tlačne obremenitve, natezne pa bi zaradi naravne predispozicije prevzela lesna struktura.

4.2.5 Odpornost proti hladnim tekočinam (SIST EN 12720)

Odpornost proti hladnim tekočinam smo izmerili v skladu s standardom SIST EN 12720. Na slikah od 19 do 22 je bila leva stran izpostavljena etanolu, desna pa vodi.



Slika 19: Odpornostne lastnosti sredstva z 0 % MF (OZ)



Slika 20: Odpornostne lastnosti sredstva UL-MF z 9,09 % MF



Slika 21: Odpornostne lastnosti sredstva UL-MF s 13,04 % MF



Slika 22: Odpornostne lastnosti sredstva UL-MF s 16,67 % MF

Vzorci s koncentracijo od 16,67% MF do 41,18% MF so kazali podobne odpornostne lastnosti kot vzorec s 16,67 % koncentracijo MF, ki je viden na sliki 22. Vzorci s koncentracijama 44,44 % in 47,37 % MF pa so kazali manjše poškodbe površine. Odpornostne lastnosti sredstva UL-MF, v numeričnih vrednostih po standardu SIST EN 12720, so prikazane v preglednici 4.

Preglednica 4: Odpornostne lastnosti proti hladnim tekočinam

sredstvo	konz. MF (%)	vrednost odpornosti (voda)	vrednost odpornosti (etanol)
K	0	1	1
1	2,44	1	1
2	4,76	1	1
3	6,98	1	1
4	9,09	1	1
5	11,11	1	1
6	13,04	1	1
7	14,89	1	1
8	16,67	1	1
9	23,08	1	1
10	28,57	1	1
11	33,33	1	1
12	37,5	2	1
13	41,18	2	2
14	44,44	3	3
15	47,37	4	4

- 5 – ni nobenih sprememb;
- 4 – majhna sprememba v sijaju ali barvi, vidna le v soju odbite svetlobe ali nekaj izoliranih manj poškodovanih mest;
- 3 – manjša poškodba, vidna iz več zornih kotov, npr. vidno celotno mesto izpostavitev filtrirnega tampona ali čaše;
- 2 – večja poškodba, struktura površine večinoma nespremenjena;
- 1 – večja poškodba s spremenjeno strukturo površine ali popolnima ali delno odstranjen površinski sloj ali pa se filtrirni papir lepi na površino.

Odpornostne lastnosti utrjenega sredstva UL-MF so bile zelo slabe. Pri skoraj vseh vzorcih se je površina napila tekočine in nabrekla, pri tem so se pojavile notranje napetosti in sredstvo se je odlepilo od površine ter močno deformiralo. Boljše odpornostne lastnosti so kazali vzorci z višjo koncentracijo MF (80 % in 90 %). Tamponi, namočeni v vodo, so se pri vzorcih z nižjimi koncentracijami celo obarvali rjavo, kar kaže na topnost vzorcev v vodi in etanolu.

4.2.6 Pregled lastnosti vzorcev utrjenih zmesi

Iz dobljenih rezultatov testov, ki so bili opravljeni, je razvidno, da se trdota in odpornostne lastnosti povečujejo z večanjem deleža MF. Prožnost sredstva pa se z večanjem koncentracije MF zmanjšuje. Združeni podatki in lastnosti sredstva z različnimi koncentracijami so podani v preglednici 5.

Preglednica 5: Koncentracija in masa melamina v vzorcih, delež suhe snovi, delež suhe snovi UL, masa suhe snovi MF v vzorcih ter trdota vzorcev po metodi z dušenim nihanjem

Sredstvo	W ₂ (MF) (%)	m _{oz} (g)	m _{MF} (g)	SS _{zmes} %	SS _{UL} (%)	SS _{MF} (g)	t (s)
K	0,00	20g	0,0	36,25	100,00	0,00	7,2
1	2,44	20g	0,5	36,97	95,36	0,35	13,8
2	4,76	20g	1,0	37,89	91,14	0,70	20,6
3	6,98	20g	1,5	38,66	87,27	1,05	25,6
4	9,09	20g	2,0	39,32	83,72	1,40	35,6
5	11,11	20g	2,5	39,78	80,45	1,75	43,8
6	13,04	20g	3,0	40,51	77,42	2,10	59,2

Preglednica 5: Nadaljevanje

Sredstvo	W ₂ (MF) (%)	m _{oz} (g)	m _{MF} (g)	SS _{zmes} %	SS _{UL} (%)	SS _{MF} (g)	t (s)
7	14,89	20g	3,5	41,11	74,61	2,45	63,0
8	16,67	20g	4,0	41,82	72,00	2,80	69,6
9	23,08	20g	6,0	43,94	63,16	4,20	72,4
10	28,57	20g	8,0	45,79	56,25	5,60	87,0
11	33,33	20g	10	47,44	50,70	7,00	96,4
12	37,50	20g	12	48,78	46,15	8,40	109,0
13	41,18	20g	14	50,08	42,35	9,80	147,0
14	44,44	20g	16	51,19	39,13	11,20	145,6
15	47,37	20g	18	52,16	36,36	12,60	148,0

W₂ (MF).....koncentracija MF (%)m_{oz}masa osnovne zmesi (g)m_{MF}masa dodanega MF (g)% SS_{zmes}odstotek suhe snovi v zmesi (%)SS_{UL}.....delež, ki ga k suhi snovi zmesi prispeva utekočinjen les (%)SS_{MF}.....masa suhe snovi Melapreta NF70/M v zmesi (%)

ttrdota po metodi z dušenim nihanjem (s)

4.3 LASTNOSTI LESA

4.3.1 Prostorninski delež por v vlažnem lesu

Za določitev praznih prostorov v lesu smo uporabili deset nezaščitenih vzorcev. Natančno smo jim izmerili dimenzijs in mase v absolutno suhem stanju. Postopek prepojitve vzorcev z vodo je potekal sočasno z namakanjem zaščitenih vzorcev. Postopek namakanja je opisan v poglavju 3.2.11.5. Po končanem namakanju smo vzorcem ponovno izmerili dimenzijs in mase, preko njih pa s pomočjo enačb 1, 2, 3 in 4 izračunali prostorninski delež por v vlažnem lesu, ki je izračunan po enačbi 5. Rezultat predstavlja povprečno vrednost desetih

vzorcev. Odstopanje v rezultatu prostorninskega deleža por v vlažnem lesu, predstavlja maksimalni odklon.

Prostorninski delež čiste, suhe lesne substance nad točko nasičenja celičnih sten:

$$c_0 = \frac{R}{\varphi_{cs}} \quad \dots(1)$$

c_0prostorninski delež čiste, suhe lesne substance (%)

R.....osnovna gostota (kg/m^3)

φ_{cs}gostota celičnih sten (kg/m^3)

Osnovna gostota (R) je najpogosteje uporabljena nominalna gostota. Izražena je z maksimalnim volumnom, to je pri vlažnostih nad točko nasičenja celičnih sten.

$$R = \frac{m_0}{V_{vl}} \quad \dots(2)$$

m_0masa absolutno suhega vzorca (g)

V_{vl}maksimalen volumen absolutno mokrega vzorca (mL)

Prostorninski delež vlažnega lesa, vlažne lesne substance:

$$c_{vl} = c_0 + \beta_v \quad \dots(3)$$

$$\beta_v = \frac{V_{max} - V_0}{V_{max}} \quad \dots(4)$$

c_{vl}prostorninski delež vlažnega lesa, vlažne lesne substance (%)

β_vodstotek nabrelkega lesa, v odvisnosti od maksimalnega nabreka (%)

V_{max}maksimalni volumen (absolutno moker vzorec) (mL)

V_0volumen absolutno suhega vzorca (mL)

Izračun prostorninskega deleža por v vlažnem lesu:

$$P_{vl} = 1 - c_{vl} \quad \dots(5)$$

$$P_{vl} = 68,94 \pm 1,35 \%$$

Izračun prostorninskega deleža por v vlažnem lesu je pokazal, da le-ta povprečno znaša okoli 69 % kar je več kot dovolj za impregnacijo lesa s sredstvom UL-MF ter za njegovo reakcijo s polimeri v celični steni. Wagenführ R. in Scheiber C. (1985), navajata, da ima les topola prostorninski delež por okoli 73%.

4.3.2 Gostota

Desetim absolutno suhim vzorcem smo izmerili maso in dimenzijo. Gostoto smo izračunali preko enačbe 6. Rezultat predstavlja povprečno gostoto desetih absolutno suhih nezaščitenih vzorcev. Odklon v rezultatu predstavlja maksimalni odklon.

Izračun gostote:

$$\varphi = \frac{m}{V} \quad \dots(6)$$

φ gostota (kg/m^3)

mmasa vzorca (g)

Vvolumen vzorca (m^3)

Povprečna gostota absolutno suhega lesa črnega topola:

$$\varphi = 335 \pm 14 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Gostota lesa je malenkost nižja od povprečnih vrednostih, ki jih navajata Wagenführ R. in Scheiber C. (1985), ki znašajo od 370 do 520 kg/m^3 .

4.4 LASTNOSTI IMPREGNIRANEGA LESA

Pri določanju lastnosti impregniranega lesa smo uporabili deset vzorcev za vsako koncentracijo in tudi za kontrolo. V rezultatih smo upoštevali povprečje vseh desetih vrednosti. Odklon je prikazana maksimalna razlika med dobljenimi vrednostmi in povprečja. Pri nekaterih izračunih smo zaradi velikih odklonov vrednosti pri izračunu upoštevali le osem vrednosti, najnižjo in najvišjo vrednost pa smo izločili. V primeru izločitve maksimalnih in minimalnih vrednosti, je to opisano v besedilu.

4.4.1 Gostota impregniranega lesa

Za določanje gostote impregniranega lesa smo izmerili mase in dimenzijs desetim absolutno suhim zaščitenim vzorcem. Gostoto smo izračunali po enačbi 6. Povprečna gostota vzorcev s sredstvom A je znašala $521 \pm 56 \text{ g/dm}^3$, povprečna gostota vzorcev s sredstvom B pa $527 \pm 34 \text{ g/dm}^3$. Vzorci A so bili prepojeni s pripravki koncentracije MF 16,67%, vzorci B pa s pripravki koncentracije 44,44%.

4.4.2 Navzem

4.4.2.1 Mokri navzem (MN)

Po impregnaciji smo površine vzorcev obrisali s papirnato servieto, tako da na površini ni bilo ostanka sredstva. Takoj za tem smo vsem desetim vzorcem izmerili dimenzijs ter jih stehtali. Dobljene mase smo primerjali z začetnimi in tako po enačbi 7 izračunali moker navzem..

Izračun mokrega navzema:

$$MN = \frac{m(1) - m(0)}{V(0)} \quad \dots(7)$$

MN.....mokri navzem (g/cm^3)

$m(0)$masa neimpregniranega vzorca (g)

$m(1)$masa impregniranega vzorca pred zračnim sušenjem (g)

$m(2)$masa impregniranega vzorca po utrjevanju (g)

$V(0)$volumen neimpregniranega vzorca (mL)

Mokri navzem sredstva A:

$$MN = 0,52 \pm 0,18 \frac{g}{cm^3}$$

Mokri navzem sredstva B:

$$MN = 0,42 \pm 0,12 \frac{g}{cm^3}$$

4.4.2.2 Suhi navzem (SN)

Po določitvi mokrega navzema smo vzorce utrjevali in nato tudi sušili v sušilniku. Utrjevali so se 2 uri pri temperaturi 115 °C, sušili pa 24 ur pri temperaturi 103 °C. Ko smo jih vzeli iz sušilnika, so se ohlajevali v eksikatorju okoli 15 minut. Izmerili smo jim dimenzije in mase ter jih primerjali z začetnimi. Tako smo po enačbi 8 izračunali suh navzem.

Izračun suhega navzema:

$$SN = \frac{m(2) - m(0)}{V(0)} \quad ... (8)$$

SN.....suhi navzem (g/cm³)

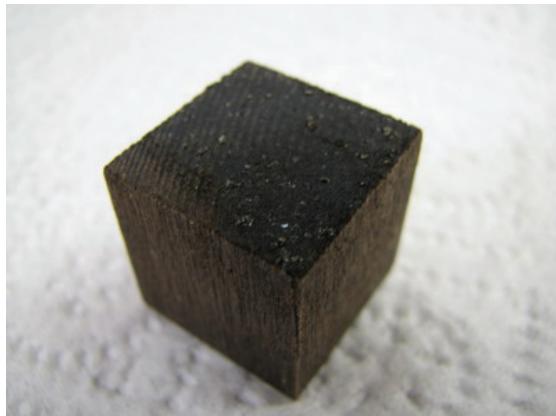
$m(0)$masa neimpregniranega vzorca (g)

$m(2)$masa impregniranega vzorca po utrjevanju (g)

$V(0)$volumen neimpregniranega vzorca (mL)

Suhi navzem sredstva A:

$$SN = 0,22 \pm 0,07 \frac{g}{cm^3}$$

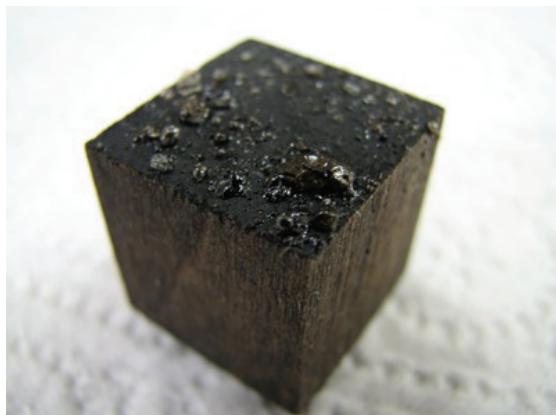


Slika 23: Utrjen in posušen vzorec lesa, impregniran s sredstvom A

Pri utrjevanju in sušenju je prišlo do rahlega izstopanja sredstva iz strukture lesa. Na sliki 23 lahko na prečnem prerezu vidimo kapljice izločenega sredstva

Suhi navzem sredstva B:

$$SN = 0,21 \pm 0,07 \frac{g}{cm^3}$$



Slika 24: Utrjen in posušen vzorec lesa, impregniran s sredstvom B

Pri utrjevanju in sušenju je prišlo do penjenja sredstva in njegovega izstopanja iz lesne strukture. Vidni so majhni mehurčki, predvsem na prečnem prerezu (Slika 24). Sredstvo, ki je izstopilo, je bilo zelo krhko in trdo.

4.4.2.3 Delež pridobljene mase (WPG)

Delež pridobljene mase (WPG) smo določili iz mase utrjenih in absolutno suhih impregniranih vzorcev ter mase absolutno suhih neimpregniranih vzorcev. Iz njih smo po enačbi 9 izračunali delež pridobljene mase vzorca.

Izračun deleža pridobljene mase:

$$WPG = \frac{m(2) - m(0)}{m(0)} \times 100 \quad \dots(9)$$

WPG.....delež pridobljene mase (%)

$m(0)$masa neimpregniranega vzorca (g)

$m(2)$masa impregniranega vzorca po utrjevanju (g)

Delež pridobljene mase lesa, impregniranega s sredstvom A:

$$WPG = 67,81 \pm 28,04 \%$$

Delež pridobljene mase lesa, impregniranega s sredstvom B:

$$WPG = 63,74 \pm 26,23 \%$$

4.4.3 Volumski nabrek

4.4.3.1 Volumski nabrek zaradi sredstva (S)

Volumski nabrek zaradi vpitega sredstva smo določili iz volumna absolutno suhih neimpregniranih vzorcev ter absolutno suhih ter utrjenih impregniranih vzorcev. Volumski nabrek (S) zaščitenih in nezaščitenih vzorcev smo izračunali po enačbi 10.

Izračun volumskega nabreka:

$$S = \frac{V(2) - V(1)}{V(1)} \times 100 \quad \dots(10)$$

S.....volumski nabrek (%)

V(1).....volumen absolutno suhega vzorca pred namakanjem (mL)

V(2).....volumen vzorca po namakanju (mL)

Volumski nabrek zaradi sredstva v lesu, impregniranem s sredstvom A:

$$S = 6,64 \pm 1,84 \%$$

Volumski nabrek zaradi sredstva v lesu, impregniranem s sredstvom B:

$$S = 4,53 \pm 1,37\%$$

4.4.3.2 Volumski nabrek zaradi vode (S_1)

Po namakanju, ki je bilo izvedeno po postopku, ki je opisan v poglavju 3.2.11.5, smo zaščitenim in nezaščitenim vzorcem izmerili dimenzije in teže. Volumski nabrek zaščitenih in nezaščitenih vzorcev, povzročen zaradi vode smo izračunali po enačbi 10.

Povprečni volumski nabrek zaradi vode v vzorcih s sredstvom A:

$$S_1 = 5,1 \pm 2,12 \%$$

Povprečni volumski nabrek zaradi vode v vzorcih s sredstvom B:

$$S_1 = 7,23 \pm 1,66 \%$$

Povprečni volumski nabrek zaradi vode v nezaščitenih vzorcih:

$$S_1 = 12,67 \pm 0,48 \%$$

4.4.3.3 Volumski nabrek zaradi vode in sredstva (S_2)

Zaščitenim vzorcem smo po enačbi 10 izračunali celoten nabrek, ki je nastal kot posledica impregnacije s sredstvom in impregnacije z vodo. Volumski nabrek, ki se je pojavil zaradi impregniranega sredstva in vezave vode v vzorec, smo izračunali iz volumna absolutno suhih nezaščitenih vzorcev ter volumna namočenih zaščitenih vzorcev. Nezaščitenim vzorcem smo po enačbi 10 določili povprečen volumski nabrek, ki je nastal kot posledica vezave vode v lesno strukturo.

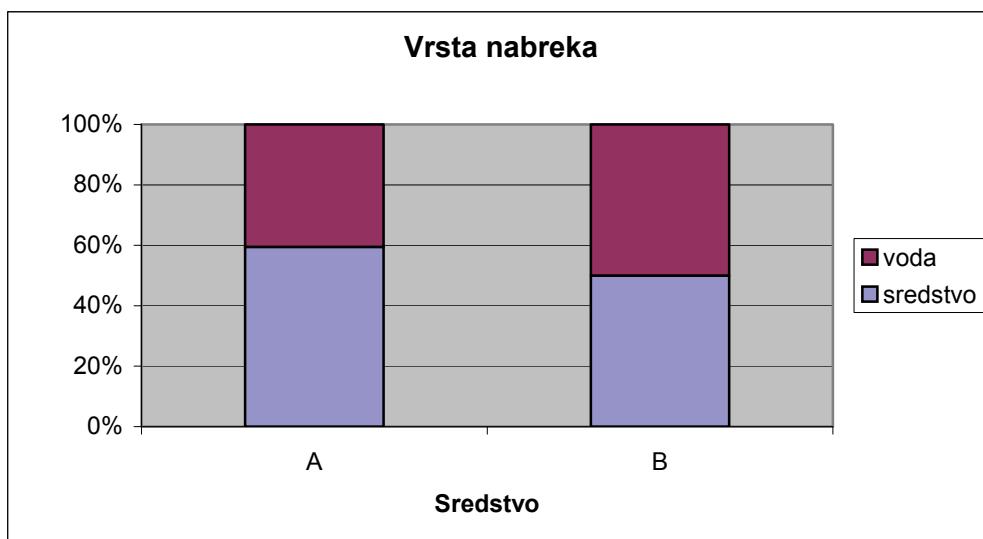
Povprečni volumski nabrek zaradi vode in sredstva v lesu, impregniranem s sredstvom A:

$$S_2 = 12,08 \pm 2,45 \%$$

Povprečni volumski nabrek zaradi vode in sredstva v lesu, impregniranem s sredstvom B:

$$S_2 = 12,08 \pm 2,03 \%$$

Iz rezultatov je razvidno, da je nabrek približno enak pri obeh sredstvih. Iz tega lahko sklepamo, da se je pri obeh sredstvih le malo sredstva vezalo v celično steno in jo s tem nasičilo. Delež MF v sredstvu na to ni imel vpliva. Primerjava med deležem nabreka, povzročenega zaradi sredstva in delež nabreka, povzročenega zaradi vode, je razvidna iz slike 25.



Slika 25: Delež nabreka, povzročen zaradi sredstva in delež nabreka, povzročen zaradi vode

Iz grafa je razvidno, da je sredstvo A bolje penetriralo v celične stene in s tem povzročilo večji volumski nabrek kot sredstvo B. Boljša penetracija je verjetno posledica manjšega deleža suhe snovi in višjega deleža majhnih molekul.

4.4.3.3 Delež zasičenih celičnih sten

Če primerjamo povprečen volumski nabrek vzorcev, povzročen zaradi sredstva pri zaščitenih vzorcih in povprečen nabrek nezaščitenih vzorcev povzročen zaradi vode, lahko sklepamo na delež zasičenih sten v zaščitenih vzorcih. Seveda moramo predpostaviti, da nabrek zaščitenih vzorcev predstavlja zasičene celične stene. Delež zasičenih celičnih sten smo izračunali po enačbi 11.

Izračun deleža zasičenih celičnih sten:

$$ZCS = \frac{S_s}{S_v} \times 100 \quad \dots(11)$$

ZCS.....odstotek zasičenih celičnih sten (%)

Ss.....nabrek povzročen zaradi sredstva v zaščitenih vzorcih (%)

Sv.....nabrek povzročen zaradi vode v nezaščitenih vzorcih (%)

Odstotek zasičenosti pri vzorcih zaščiteni s sredstvom A:

$$ZCS = 51,14\%$$

Odstotek zasičenosti pri vzorcih zaščiteni s sredstvom B:

$$ZCS = 34,33\%$$

4.4.4 Odpornost proti nabrekanju (ASE - anti swelling efficiency)

Kot je razvidno že iz volumskega nabreka, se nobeno sredstvo ni izkazalo kot dober preprečevalec navzema vlage. Pri obeh sredstvih se je nabrek ustavil pri popolnoma enaki

vrednosti, ki je znašala za malenkost manj kot nabrek nezaščitenega vzorca. ASE smo izračunali po enačbi 12. V izračunu smo uporabili samo povprečne vrednosti.

Izračun učinkovitosti proti nabreku:

$$ASE = \frac{S(1) - S(2)}{S(1)} \times 100 \quad \dots(12)$$

ASE.....učinkovitost proti nabreku (anti-swelling efficiency) (%)

S(1).....volumski nabrek nezaščitenega kontrolnega vzorca (povprečje) (%)

S(2).....volumski nabrek zaščitenega vzorca (povprečje) (%)

Odpornost proti nabrekanju lesa, impregniranega s sredstvom A:

$$ASE = 4,62 \%$$

Odpornost proti nabrekanju lesa, impregniranega s sredstvom B:

$$ASE = 4,63 \%$$

4.4.5 Izpiranje

4.4.5.1 Izguba mase vzorcev (IMv)

Izpiranje je potekalo po postopku, opisanem v poglavju 3.2.11.5. Desetim vzorcem, zaščitenim s sredstvom A in desetim vzorcem, zaščitenim s sredstvom B smo določili stopnjo izpiranja po 24 urni impregnaciji oziroma namakanju v destilirani vodi. Delež izgube mase vzorcev smo izračunali po enačbi 13. V rezultatih je podana povprečna vrednost osmih vzorcev. Minimalne in maksimale vrednosti nismo vključili v izračun povprečne vrednosti. Odklon prikazuje maksimalno odstopanje od izračunanega povprečja.

Izračun izgube mase vzorca po izpiranju:

$$IMv(\%) = 1 - \frac{m_{v(po)}}{m_{v(pred)}} \times 100 \quad \dots(13)$$

Imv.....izguba mase vzorca (%)
 $m_{v(pred)}$ masa vzorca pred izpiranjem (g)
 $m_{v(po)}$ masa vzorca po izpiranju (g)

Izguba mase vzorca, zaščitenega s sredstvom A:

$$IMv = 12,94 \pm 3,09 \%$$

Izguba mase vzorca, impregniranega s sredstvom B:

$$IMv = 2,27 \pm 0,27\%$$

Izguba mase neimpregniranih vzorcev:

$$IMv = 1,06 \pm 0,29 \%$$

4.4.5.3 Izguba mase sredstva (IM_s)

Izguba mase sredstva predstavlja odstotek izpranega sredstva. Od izgube masa vzorca se razlikuje po tem, da tu računamo izgubo mase sredstva, ki jo primerjamo z maso sredstva v vzorcih pred izpiranjem. Pri izgubi mase vzorca pa smo primerjali celotni masi vzorca pred izpiranjem in po njem. Izguba mase sredstva je podrobneje opisana v poglavju 3.2.11.5. V rezultatih je podana povprečna vrednost osmih vzorcev. Minimalne in maksimale vrednosti nismo vključili v izračun povprečne vrednosti, ker bi preveč spremenile povprečni rezultat in močno povečale odklon. Odklon prikazuje maksimalno odstopanje od izračunanega povprečja. Izgubo mase sredstva iz vzorca smo izračunali po enačbi 14.

Izračun izgube mase sredstva:

$$IM_s(\%) = 1 - \frac{m_{s(po)}}{m_{s(pred)}} \times 100 \quad \dots(14)$$

IMs.....izguba mase sredstva (%)
 $m_{s(pred)}$ masa sredstva pred izpiranjem (g)

$m_{s(po)}$masa sredstva po izpiranju (g)

Izguba mase sredstva iz vzorca, impregniranega s sredstvom A:

$$IMs = 32,23 \pm 2,23 \%$$

Izguba mase sredstva iz vzorca, impregniranega s sredstvom B:

$$IMs = 6,02 \pm 0,55\%$$

4.4.5.4 Delež izpranega UL (IM_{UL})

Računanje deleža izpranega UL iz vzorcev je razloženo v poglavju 3.2.11.5. V principu gre le za hipotetično domnevo, da se je v impregniranem sredstvu MF utrdil, UL pa ostal topen v vodi. Iz te domneve lahko po formuli 15 izračunamo delež izpranega UL iz sredstva oziroma vzorca. V rezultatih je podana povprečna vrednost osmih vzorcev. Minimalne in maksimale vrednosti nismo vključili v izračun povprečne vrednosti. Odklon prikazuje maksimalno odstopanje od izračunanega povprečja.

Če predvidimo, da se iz vzorca izpira samo UL, lahko izračunamo delež izpranega UL.

Izračuna deleža izpranega UL

$$IMul = \frac{m_{izpr(UL)}}{m_{vseb(UL)}} \quad \dots(15)$$

IMul.....izguba mase utekočinjenega lesa (%)

$m_{izp(UL)}$ masa izpranega utekočinjenega lesa (g)

$m_{vseb(UL)}$masa vsebovanega utekočinjenega lesa (g)

$$m_{vsebUL} = \%SS(UL_{v.sredstu}) \times m_{imp.sr.} \quad \dots(16)$$

$\%SS(UL_{v.sredstu})$ odstotek suhe snovi utekočinjenega lesa v sredstvu (%)

$m_{imp.sr.}$masa impregniranega sredstva (g)

Delež izpranega UL iz vzorcev, impregniranih s sredstvom A:

$$IM_{UL} = 44,77 \pm 3,11\%$$

Delež izpranega UL iz vzorcev, impregniranih s sredstvom B:

$$IM_{UL} = 26,58 \pm 4,79 \%$$

Iz rezultatov je razvidno, da je bilo izpiranje sredstva kljub kratkemu namakalnem času zelo veliko. Če predvidimo, da se je izpiralo samo UL, se je iz vzorcev, impregniranih s sredstvom A, v 24 urah izpralo povprečno več kot 44 % UL. Iz vzorcev, impregniranih s sredstvom B, pa se je izpralo povprečno okoli 26 % UL.

4.4.6 Pregled lastnosti impregniranih vzorcev

4.4.6.1 Fizikalno-kemijske lastnosti

Preglednica 6: Karakteristike impregniranega lesa

Sredstvo	SS (%)	MN (g/cm ³)	SN (g/cm ³)	WPG %	ASE (%)	S (%)
A	43,02	0,52	0,22	67,81	4,62	6,64
B	51,35	0,42	0,21	63,74	4,63	4,53

Sredstvo A.....stopnja koncentracije MF v zmesi znaša 16,67%

Sredstvo B.....stopnja koncentracije MF v zmesi znaša 44,44%

SS.....delež suhe snovi (%)

MN.....mokri navzem (g/cm³)

SN.....suhi navzem (g/cm³)

WPG.....delež pridobljene teže (%)

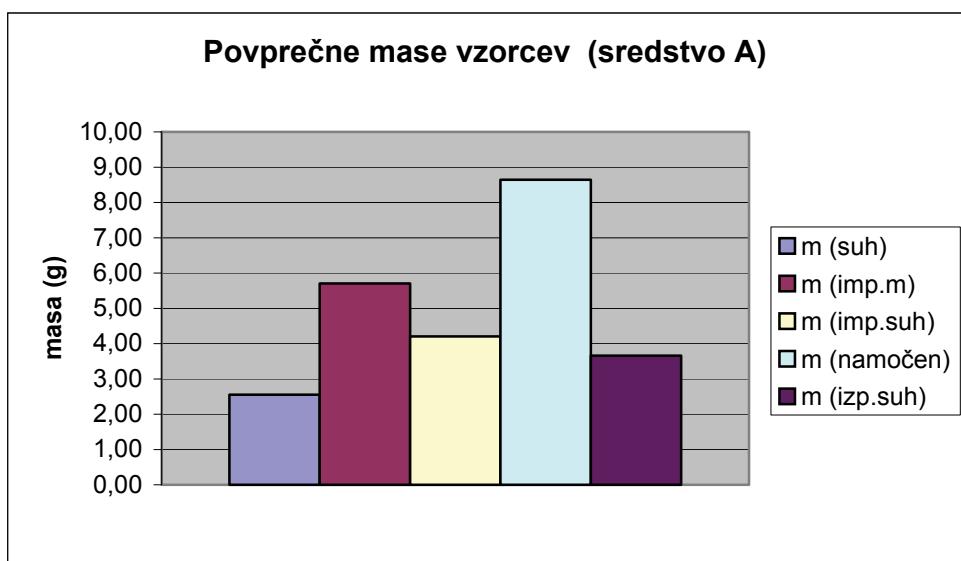
ASE.....odpornost proti nabrekanju (%)

S.....volumski nabrek (%)

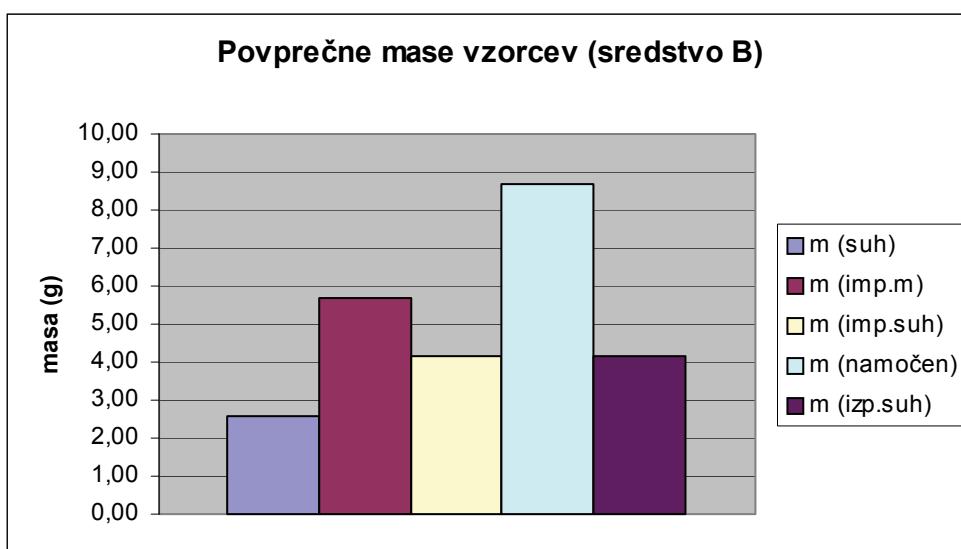
Podatki iz preglednice 6 kažejo, da je imelo sredstvo z nižjim deležem suhe snovi in nižjo koncentracijo MF boljše sposobnosti vpijanja v lesno strukturo.

Grafični prikaz povprečnih mas vzorcev

Iz slik 26 in 27 je razvidna sprememba povprečnih mas vzorcev skozi postopek impregnacije vzorcev s sredstvom, sušenje zaščitenih vzorcev, ter namakanja in izpiranja vzorcev.



Slika 26: Povprečne mase vzorcev, impregniranih s sredstvom A, pri različnih korakih poizkusa



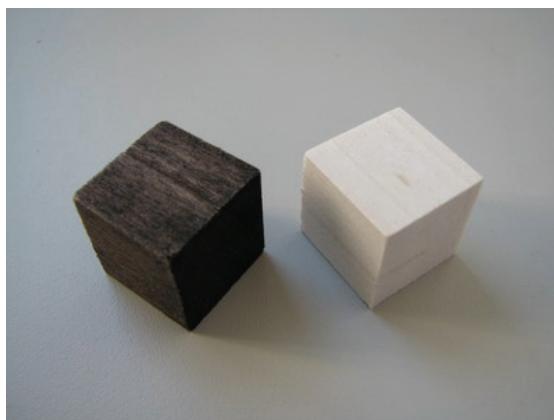
Slika 27: Povprečne mase vzorcev, impregniranih s sredstvom B, pri različnih korakih poizkusa

- m (suh).....povprečna masa suhih vzorcev (g)
- m (imp.m.)povprečna masa mokrih zaščitenih vzorcev (g)
- m (imp.suh).....povprečna masa absolutno suhih zaščitenih vzorcev (g)
- m (namočen).....povprečna masa absolutno nasičenih zaščitenih vzorcev z vodo (g)
- m (izp.suh).....povprečna masa absolutno suhih zaščitenih vzorcev po izpiranju (g)

Iz slik 26 in 27 je razvidno, da zaščiteni vzorci niso imeli dobre odpornosti proti vlagi. Slab ASE lahko razberemo tudi iz visokega stolpca svetlo modre barve, ki predstavlja maso namočenih zaščitenih vzorcev.

4.4.7.2 Optične lastnosti

Ker je UL temno rjave do črne barve, MF pa prozoren, je bilo pričakovati, da bo to sredstvo v kombinaciji s svetlim lesom topola povzročilo velike barvne spremembe. Kot se je izkazalo, je les impregniran s sredstvom UL-MF prevzel barvo sredstva in tako postal temno rjav (Slika 28).



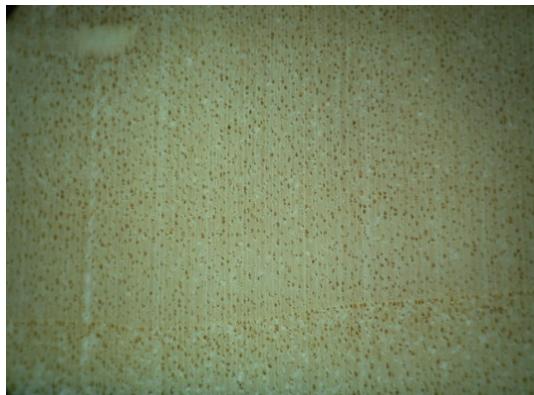
Slika 28: Primerjava barve impregniranega lesa z barvo neimpregniranega lesa

Ker je UL tako izrazito temne barve, bi katerikoli les, impregniran ali premazan z njim, spremenil svojo naravno barvo in postal temnejši. Sredstvo je neuporabno kot dekorativni premaz, saj skorajda prekrije teksturo lesa.

4.5 FOTOGRAFSKI POSNETKI NEIMPREGNIRANEGA IN IMPREGNIRANEGA LESA

Vzorce sem prerezl čez polovico, prečno na potek vlaken. Po mnogih poizkusih se je izkazalo, da lahko najlepšo površino za opazovanje pod lupo dosežemo z zelo ostrim (novim) rezilom olfa noža. To rezilo ima večjo trdoto, kot običajna rezila za preparacijo lesnih vzorcev. Kljub veliki trdoti in ostrosti rezila smo imeli pri rezanju vzorcev velike probleme. Impregnacijsko sredstvo se je izkazalo za ekstremno trdo, saj je že po enem rezu skrhalo rezilo olfa noža. Odstranjeni olupki pa so se večinoma takoj spremenili v droben prah. Opazovanja pod lupo sem izvedel na Katedri za tehnologijo lesa. Na vzorcih smo za slikanje izbrali reprezentativne površine. Mikroskopski posnetki so prikazani na slikah od 29 do 40.

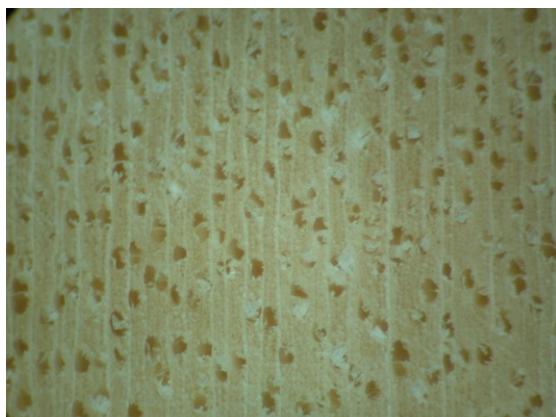
4.5.1 Neimpregnirani vzorci



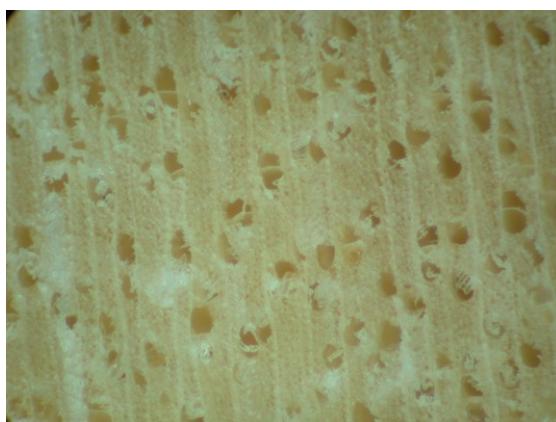
Slika 29: Prečni prerez neimpregniranega vzorca pri 6X povečavi



Slika 30: Prečni prerez neimpregniranega vzorca pri 12X povečavi



Slika 31: Prečni prerez neimpregniranega vzorca pri 24X povečavi



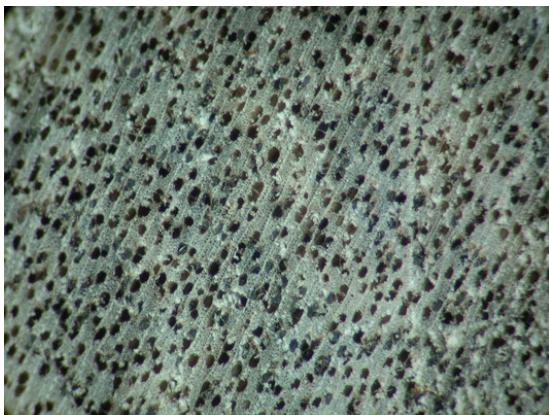
Slika 32: Prečni prerez neimpregniranega vzorca pri 30X povečavi

Na slikah od 29 do 32 je lepo vidna naravna barva lesa črnega topola, vidne so difuzno razporejene traheje.

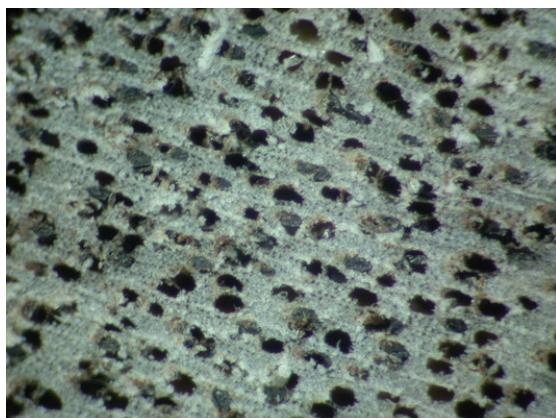
4.5.2 Vzorci, impregnirani s sredstvom A



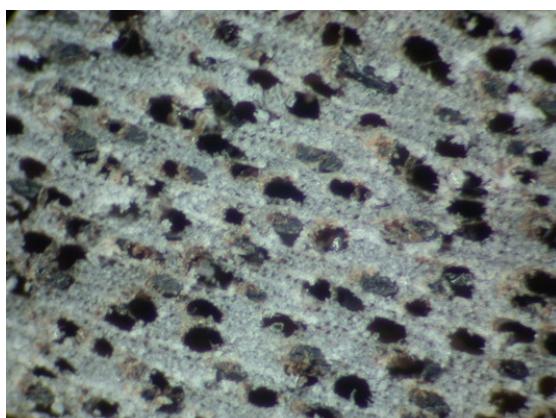
Slika 33: Prečni prerez vzorca, impregniranega s sredstvom A pri 6X povečavi



Slika 34: Prečni prerez vzorca, impregniranega s sredstvom A pri 12X povečavi



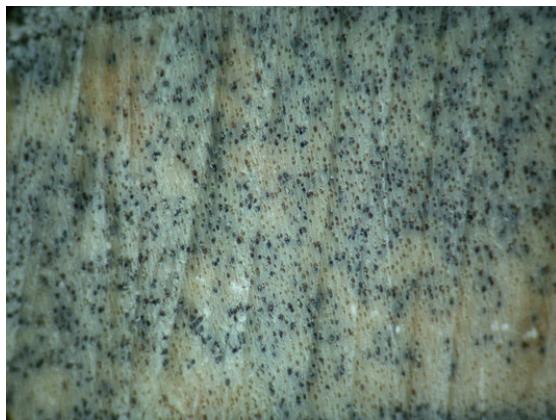
Slika 35: Prečni prerez vzorca, impregniranega s sredstvom A pri 24X povečavi



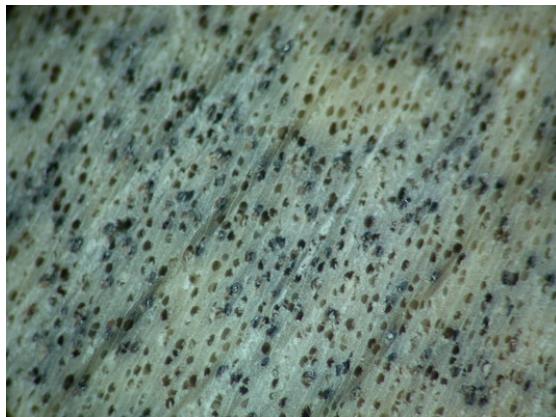
Slika 36: Prečni prerez vzorca, impregniranega s sredstvom A pri 30X povečavi

Iz slik od 33 do 36 je vidna obarvanost vzorca, povzročena zaradi impregnacije s sredstvom. Traheje so večinoma zapolnjene.

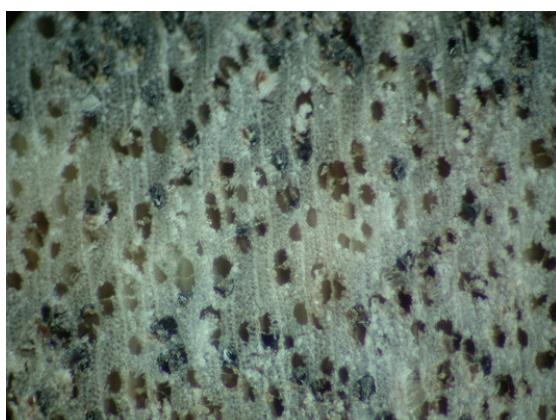
4.5.3 Vzorci, impregnirani z sredstvom B



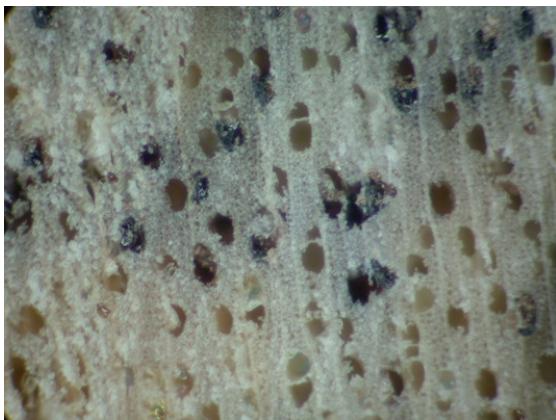
Slika 37: Prečni prerez vzorca, impregniranega s sredstvom B pri 6X povečavi



Slika 38: Prečni prerez vzorca, impregniranega s sredstvom B pri 12X povečavi



Slika 39: Prečni prerez vzorca, impregniranega s sredstvom B pri 24X povečavi



Slika 40: Prečni prerez vzorca, impregniranega s sredstvom B pri 30X povečavi

Iz slik od 37 do 40 je razvidna obarvanost vzorca s sredstvom B, ki pa je manjša od obarvanosti, povzročene s sredstvom A. Lepo je vidna razporeditev sredstva v lesni strukturi. Sredstvo se je večinoma impregniralo le v večje traheje.

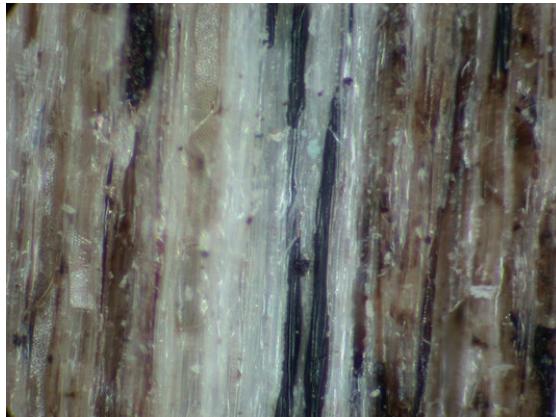
4.5.4 Radialni prerez

Nezaščiten vzorec



Slika 41: Radialni prerez neimpregniranega vzorca pri 30X povečavi

Zaščiten vzorec



Slika 42: Radialni prerez vzorca, impregniranega s sredstvom pri 30X povečavi

Iz slike 42 je razvidno obarvanje lesne strukture s sredstvom. Ker se je sredstvo impregniralo večinoma preko trahej, so te tudi najbolje obarvane.

5 RAZPRAVA

Raziskali smo možnost impregnacije masivnega lesa topola z modificiranim utekočinjenim lesom. V nalogi smo za modifikacijo utekočinjenega lesa (UL) uporabili metilirano melaminsko smolo Melapret NF70/M (MF), ki jo proizvaja podjetje Melamin Kočevje. Utekočinen les smo utrjevali z namenom pridobiti netopno substanco, ki bi se dala čim bolje impregnirati v lesno maso. Želja je bila prepojitev celičnih lumnov ter nasičenje celičnih sten s sredstvom, ki bi bilo ekološko nesporno in bi lesu izboljšalo biološko odpornost in fizikalne lastnosti. Ugotovili smo, da je reakcija MF z UL zelo kompleksna in je v tej diplomski nalogi nismo uspeli podrobnejše osvetliti. Na osnovi rezultatov bi morda lahko predvidevali, da hidroksilne skupine v UL v veliki meri niso reagirale z MF. Tako je verjetno UL deloval v zmesi zgolj kot polnilo. To je najbolj razvidno iz količine izpranega UL.

Ker lahko zanesljivo rečemo, da je utrjen MF netopen v vodi, lahko predvidemo, da je izgubo mase med izpiranjem možno pripisati samo vodotopnemu UL. Ker je bila stopnja izpranega UL zelo visoka, lahko sklepamo, da UL ni reagiral z MF in tudi ne s celično steno. Kajti če bi, potem ne bi prišlo do tako velike izgube sredstva oziroma UL.

Trdota utrjenih filmov UL-MF

Določanje trdote po metodi z dušenim nihanjem je pokazalo, da se utrjenemu sredstvu trdota povečuje sorazmerno z višanjem koncentracije MF v zmesi. Iz tega bi morda lahko sklepali, da je trdota odvisna samo od utrjene količine MF. Višja je koncentracija MF v sredstvu, več snovi se je utrdilo, s tem pa se je trdota povečala.

Odpornost proti hladnim tekočinam

Zaradi nabrekanja sredstva med testom odpornosti površin proti hladnim tekočinam je razvidno, da ima sredstvo kljub dodanemu MF močno tendenco vezanja vode ali etanola. To pomeni, da je v sredstvu veliko prostih mest, kamor se lahko vežejo hidroksilne skupine. Menimo, da se MF kljub svoji veliki reaktivnosti in velikem številu aktivnih -OH skupin ni vezal dobro z UL. S prostimi reaktivnimi mesti v UL pa lahko reagirata voda ali etanol. Predvidevamo, da je MF zamrežil samega sebe in ni vezal UL v svojo strukturo.

Pri vzorcu brez dodanega MF, sta se voda in etanol vezala z UL tako, da se sredstvo ni močno deformiralo. Deformacija ni bila opazna zaradi plastičnosti UL, ki zaradi nabreka ni pokal ali se vidno deformiral. Ker je bilo sredstvo UL-MF naneseno na površino v zelo

tankem sloju, je nabreknilo brez očitnih vidnih posledic. Ker je sredstvo topno v vodi, je pri tem vzorcu nekaj sredstva ostalo celo na tamponu.

Pri sredstvih z dodatkom MF so posledice nabreka vizualno opazne. Dodan MF je v sredstvu ustvaril zamreženo strukturo. V tej strukturi pa se nahajajo razni nevezani elementi utekočinjenega lesa. Višja je koncentracija MF, bolj trdna in gostejša je MF mreža. Ko smo sredstvo izpostavili vodi in alkoholu, se je začela vezava -OH na UL oz. absorpcija/adsorpcija vode in etanola v UL (npr. preko vodikovih vezi). Film je začel nabrekati. Ker je MF mreža neelastična, so se pojavile notranje napetosti. Večja je bila koncentracija MF v sredstvu, kompaktnjša in trdnejša je bila MF mreža in večjo notranjo napetost je lahko vzdržala. Ko so notranje napetosti presegle vezalno sposobnost MF mreže v sredstvu MF-UL, so vezi MF popustile in film se je deformiral.

MF se pri nižjih koncentracijah ne zamreži v kompaktno strukturo in zato ne zadrži sil, ki nastanejo ob nabrekanju oziroma vezavi -OH na UL. Pri višjih koncentracijah je utrjena mreža MF tako gosta, da ne pride do nabrekanja.

Impregnacija lesa z zmesmi UL-MF

Na impregnabilnost sredstva v lesno strukturo vpliva veliko faktorjev. Med te faktorje lahko štejemo topnost sredstva v vodi, molekulsko maso oziroma velikost molekul ter viskoznost in delež suhe snovi. Podatki iz preglednice 6 kažejo, da je imelo sredstvo z nižjim deležem suhe snovi in nižjo stopnjo koncentracije MF boljše sposobnosti vpijanja v lesno strukturo. To je lahko posledica nižje koncentracije MF (ki ima velike molekule in zato slabšo sposobnost penetracije v les) v sredstvu.

Vpliv filtrskega efekta lesa na impregnacijo

Zaščiteni vzorci so imeli opazen volumski nabrek, ki ga je možno pripisati etanolu, UL ali MF. Predpostavljamo, da je etanol zaradi svoje majhne molske mase oziroma velikosti skoraj zagotovo prodrl v celične stene in povzročil nabrek. Ob sušenju je etanol izhlapel iz celičnih sten, vendar se les ni mogel skrčiti do svojega prvotnega volumna zaradi utjene snovi (MF) v svoji strukturi. V celično steno so se mogoče vezale tudi majhne molekule UL, ne pa tudi molekule MF. Zaradi tega se sposobnost vezave vode v celično steno ni zmanjšala.

Iz poizkusov je razvidno, da moker navzem sredstva ni sovpadal s suhim navzemom, izračunanim preko deleža suhe snovi. Delež suhe snovi v sredstvu A je znašal 37,29%, delež suhe snovi v sredstvu B pa 52,10%. Po impregnaciji sredstva v lesno strukturo so imeli vzorci, zaščiteni s sredstvom A delež suhe snovi sredstva nekoliko višji in sicer $42,92 \pm 1,69\%$, vzorci zaščiteni s sredstvom B pa so imeli delež suhe snovi sredstva malenkost nižji in sicer $51,35 \pm 0,51\%$. Razlike v deležih suhe snovi sredstva pred impregnacijo in po njej, je možno pripisati nenatančnemu merjenju, ali pa filtrskemu efektu lesne strukture. Na lesno strukturo lahko gledamo kot na molekularno sito, ki prepušča majhne molekule, kot je naprimer H_2O . Molekule z večjo molsko maso pa ostanejo na drugi strani sita in niso sposobne penetrirati v globino (radialno in tangencialno). Tako lahko les prepojijo deli zmesi z večjim ali bolj pogosto manjšim deležem suhe snovi. Molska masa vode znaša 18 g/mol, molska masa MF pa 126 g/mol. Molske mase komponent UL pa so verjetno v zelo širokem razponu, od zelo nizkih do zelo visokih vrednosti, odvisno tudi od načina in pogojev utekočinjevanja. Ker je lesna struktura »narejena« za transport vode, se večje molekule ne morejo absorbirati v celične stene, ne morejo prehajati skozi piknje, trakove ter skozi celične stene z pomočjo difuzije.

Izpiranje

Test izpiranja je pokazal, da namena raziskave nismo dosegli. Že po kratkem času izpiranja se je izpralo relativno veliko sredstva. Ne vemo zagotovo ali je bil v izpranem sredstvu samo UL ali tudi MF. Vendar lahko sklepamo, da se je izpral samo UL, saj je utrjen MF netopen v vodi. Zamrežena struktura makromolekul MF pa je prevelika, da bi se izprala iz lesa.

Impregnacija lesa s čistim MF

Impregnacija raznih vrst lesa z melaminskimi smolami je že bila predmet raznovrstnih raziskav (Deka, 2004, Hansmann in sod., 2005, Pittman in sod., 1994). Za primerjavo lahko navedemo rezultate Pittmana in sodelavcev (1994). Masivni les smreke so impregnirali z zelo podobnimi sredstvi kot je bil MF, ki smo ga uporabili v naši raziskavi. V preglednici 7 so prikazani rezultati ASE, WPG in WRE za vzorce, impregnirane z metiliranim in navadnim melamin formmaldehidom.

Preglednica 7: Lastnosti vzorcev, impregniranih s čistim MF (Pittman in sod., 1994)

Sredstvo	F/M (mol)	ASE (g/cm ³)	WPG (%)
Metiliran MF	2,5-3,0	40	71
Metiliran MF	4,0	30	43
Metiliran MF	5,0-6,0	53	50
MF	1,7	43	43
MF	1,5-2,5	45	67
MF	2,1	41	48
MF	2,5	30	46

F/M.....razmerje formaldehida in melamina (mol)

ASE.....odpornost proti nabreku (%)

WPG.....delež pridobljene teže (%)

Iz rezultatov je razvidno, da imajo vzorci, impregnirani s čistim melamin-formaldehidom ali metiliranim melamin-formaldehidom veliko boljše odpornostne lastnosti, kot smo jih dobili z našim poizkusom. ASE je veliko večji kot pri našem poizkusu, kjer je bil sredstvu dodan UL. Za večji ASE je zelo pomembna nasičenost lesne mase z impregnirnim sredstvom. To pomeni, da se čisto sredstvo bolje impregnira v celične stene. Zaradi višje nasičenosti celične stene, se nabrek zaradi vpliva vode zmanjša. Druga možnost pa je, da tvori sredstvo gostejšo, manj permeabilno in bolj stabilno matrico v lesni masi, ki se zaradi nabrekanja dimenzijsko ne spremeni in zaradi tega pripomore k manjši dimenzijski spremembi pod vplivom vlage.

MOŽNI ZAŠČITNI EFEKTI IMPREGNACIJSKEGA SREDSTVA PRED BIOLOŠKIMI ŠKODLJIVCI

Biološke odpornosti lesa, impregniranega z modificiranim utekočinjenim lesom nismo preverili. Menimo pa, da je verjetnost odpornosti proti lesnim škodljivcem verjetno zelo velika. Tako predvidevamo na osnovi možnosti, opisanih v nadaljevanju.

Hipoteza A: Biološka odpornost UL

Encimi gliv in in insektov so visoko specializirani na določeno lesno strukturo. Na primer, encimi rjave trohnobe razkrajajo celulozo, encimi bele trohnobe pa razkrajajo lignin. Glive prepoznaajo te strukture v lesu, vprašanje pa je, če bi jih prepoznale tudi v degradiranih oblikah, ki se pojavljajo v UL.

Hipoteza B: Zmanjšana vlažnost kompozita

Minimalna meja vlažnosti v lesu, da je ta še dovoljen za napad gliv, znaša od 20 % do 25 %. Z impregnacijo lesa s sredstvom MF-UL in njegove vezave v celične stene, je lesna vlažnost zmanjšana, okužba z glivami in njihov razvoj pa s tem onemogočena ali otežena.

Hipoteza C: Fizikalna bariera

V celični steni

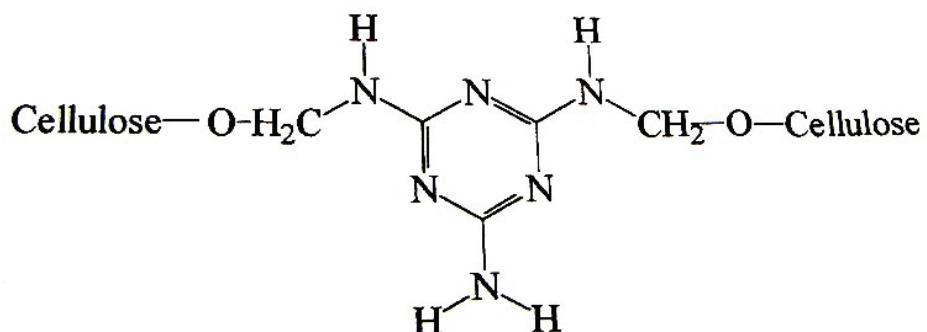
Celične stene ter lumni so prepojeni z utrjenim sredstvom, ki tvori matrico umetne mase v lesni strukturi. Sredstvo tvori v celični steni fin raster, v katerega encimi zaradi svoje velikosti ne morejo prodrati. Dostopnost do amorfnih predelov polisaharidov je za kemične in encimske procese, zaradi neprepoznavnosti lesa, izrazito zmanjšana.

Zunaj celične stene

Možnost prodiranja hif je zaradi utrjenega sredstva v celičnih lumnih močno omejena. Zaradi naloženega sredstva na S3 lameli pa je onemogočen stik med glivo in lesom.

Hipoteza D: Modifikacija lesa

Poteče modifikacija lesa zaradi kondenzacije MF s hidroksilnimi skupinami ligninsko-polisaharidnih kompleksov oziroma -OH skupinami v lesu. Ko se to zgodi, specifične biološke encimske reakcije ne morejo poteči, ker se je spremenila kemična sestava in molekularna prepoznavnost lesne mase.



Slika 43: Hipotetična vezava melamina in celuloze (Rapp, 1999)

6 SKLEPI

V diplomski nalogi smo raziskali možnost uporabe utekočinjenega lesa (UL) za globinsko impregnacijo masivnega toplovega lesa. V nalogi smo proučevali utrjevanje UL, ki naj bi deloval kot reagent, ki vsebuje proste hidroksilne skupine. Pričakovana je bila interakcija sredstva s hidroksilnimi skupinami v celični steni in tudi nalaganje lignina oziroma njegovih komponent iz UL v celično strukturo ter njihova fiksacija. Na trgu smo poizkušali najti najprimernejši melamin formaldehid za utrjevanje utekočinjenega lesa. Izbrali smo metilirano melaminsko smolo Melapret NF70/M (MF) proizvajalca Melamin d.o.o. iz Kočevja, ki se na trgu dobi višje koncentriran z zelo nizko vsebnostjo prostega formaldehida. Z namenom utrditi utekočinjen les ob čim manjši dodani količini MF, smo zmešali 15 različnih zmesi in eno kontrolno zmes, ki ni vsebovala dodatka MF. V zmeseh smo kot topilo uporabili 96 % etanol. Vsaka zmes je vsebovala različno koncentracijo MF. Najnižja je znašala 2,44 %, najvišja pa 47,37 % MF v zmesi. Zmesem smo določili najprimernejšo temperaturo in čas utrjevanja, ki sta znašala $T = 115 \pm 2$ °C, $t = 2$ uri. Po utrjevanju smo zmesem izmerili trdoto, prožnost in odpornost na hladne tekočine. Ugotovili smo, da se trdota in odpornost na hladne tekočine povečujeta sorazmerno z večanjem koncentracije MF. Meritev prožnosti nismo izvedli v skladu s standardi, vendar so rezultati pokazali nižjo prožnost utrjenih zmesi z višjimi koncentracijami MF. Na osnovi dobljenih rezultatov smo izbrali dve zmesi, ki bi najbolje predstavljali lastnosti te substance. Prva substanca je imela delež dodanega MF enak 16,67 % (sredstvo A), druga pa je imela delež dodanega MF enak 44,44 % (sredstvo B). S sredstvoma smo po Bethellovem postopku polnih celic impregnirali lesne vzorce črnega topola (*Populus nigra*). Impregniranim vzorcem smo določili moker navzem (MN) in jih nato utrjevali 2 uri pri temperaturi 115 ± 2 °C, ter sušili 24 ur pri temperaturi 103 ± 2 °C. Absolutno suhim vzorcem smo izmerili suh navzem in delež pridobljene teže (WPG). Moker navzem je bil višji pri vzorcu s sredstvom A. Ker pa je delež suhe snovi v sredstvu B višji, je bil suh navzem v vzorcih skoraj enak pri obeh sredstvih. WPG je pri vzorcu s sredstvom A znašal 67,81 %, pri vzorcu s redstvom B pa je bil nižji za okoli 4 %. Zaščitene in tudi nezaščitene (kontrolne) vzorce smo nato namakali v destilirani vodi. Absolutno nasičenim, zaščitenim in nezaščitenim vzorcem smo izračunali volumski nabrek (S), učinkovitost proti nabreku (ASE) in volumski nabrek, povzročen zaradi navzetega sredstva in vode skupaj (S_2). Volumski nabrek (S), povzročen zaradi vpitega sredstva je bil pri vzorcih s sredstvom A nekoliko višji in je znašal 6,64 %, pri vzorcih s sredstvom B pa 4,53 %. ASE je bila pri obeh vzorcih skoraj enaka in sicer okoli 6,4 %. Volumski nabrek, povzročen zaradi vpitega sredstva in vode skupaj (S_2), je bil pri obeh vzorcih skoraj enak in je znašal okoli

12,08 %. Volumski nabrek kontrolnih vzorcev, povzročen samo zaradi vode, pa je znašal le malenkost več in sicer 12,67 %. Iz tega je razvidno, da nobeno sredstvo, ki smo ga preizkusili, ni bilo koristno za namen preprečevanja vezave vode v les. Po namakanju smo absolutno mokre vzorce posušili in suhim vzorcem izračunali izgubo mase (IM_v), izgubo mase sredstva (IM_s) in izgubo mase utekočinjenega lesa (IM_{UL}). Izgubo mase utekočinjenega lesa smo izračunali ob predpostavki, da se je iz vzorca izpiral samo utekočinjen les (UL). Izguba mas je pokazala, da se je sredstvo A veliko bolj izpiralo iz lesnega vzorca kot sredstvo B. Izguba mase sredstva je pri vzorcih s sredstvom A povprečno zanašala 32,23 %, pri sredstvu B pa povprečno le 6,02 %. Ob predpostavki, da se je izpiral samo UL, pa je bil delež izpranega UL pri vzorcih s sredstvom A povprečno enak 44,77 %, pri vzorcih s sredstvom B pa 26,58 %. Iz količine izpranega UL lahko sklepamo, da se UL ni kemično utrdil v kombinaciji z MF in se tudi ni fiksno vezal z lesno strukturo. Verjetno je UL v impregniranem sredstvu deloval le kot polnilo, ki se je pri poizkusih izkazalo za zelo vodotopno in izpirljivo.

Potrebne bodo nadaljnje raziskave za izbiro snovi, ki bi že v majnih količinah utekočinjen les zamrežila v utrjeno strukturo. Da bi razumeli, kaj se v lesu dogaja z utrjenim utekočinjenim lesom, bi bili potrebni nadaljnji testi kot so merjenje gostotnega profila z gama žarki, analiza z elektronskim mikroskopom, svetlobno optične raziskave (SEM-EDX in TEM-EELS), itd.

7 POVZETEK

Utekočinjen les (UL) bi lahko uporabili v mnogo različnih namenov. UL zaradi svoje kompleksne sestave še ni bil dokončno raziskan, prav tako tudi ne interakcije z različnimi kemikalijami.

V nalogi smo raziskali možnost uporabe UL z dodatkom metilirane melamin-formaldehidne smole (UL-MF), za globinsko impregnacijo masivnega lesa. UL je zaradi svoje naravne zasnove možen material za okolju prijazna zaščitna sredstva. Masiven les je dovzet za napad škodljivcev predvsem pri povišani lesni vlažnosti. Če les prepojimo s primernimi substancami, preprečimo vdor vode v lesno strukturo in lesna vlažnost ostane prenizka za napad škodljivcev, tudi če te substance ne vsebujejo škodljivih biocidov. Ravno to je bil namen impregnacije lesa z UL-MF.

Utekočinjen les je polarna (vodotopna) nizko viskozna temo rjava tekočina, ki vsebuje paleto razgrajenih lesnih komponent. Ker snovi v celični steni vsebujejo veliko prostih hidroksilnih skupin kamor se lahko veže voda, jih je verjetno dosti tudi v utekočinjenem lesu. Melamin pa ima do šest aktivnih hidroksilnih skupin, kamor bi se lahko vezale proste hidroksilne skupine utekočinjenega lesa.

S poizkusi smo v prvi fazi ugotavljali stopnjo utrjenosti UL-MF, pri različnih koncentracijah MF. V ta namen smo utrjenim vzorcem merili trdoto, odpornost proti hladnim tekočinam in delno tudi prožnost. Ti rezultati so dali informacije o spremembji lastnosti utekočinjenega lesa pri različnih koncentracijah MF. Prav tako smo v grobem tudi določili, koliko MF je potrebno dodati UL za doseganje primerne stopnje utrjenosti. Na osnovi preliminarnih poizkusov smo izbrali dve zmesi: prvo sredstvo je predstavljalo razred sredstev z nizkim deležem MF v zmesi (16,67 % MF). Drugo sredstvo pa je predstavljalo razred sredstev z višjo koncentracijo MF v zmesi (44,44 %). Z obema sredstvoma smo impregniralii kocke (20 mm × 20 mm × 20 mm) iz topolovega lesa po Bethellovem postopku polnih celic. Z vsakim sredstvom smo prepojili po 10 vzorcev. Po impregnaciji vzorcev so sledili poizkusi za določitev učinkovitosti vnesenega sredstva proti vdoru vode v lesno strukturo. Vsi testi so pokazali, da sta sredstvi navzema vode v les ne preprečita. Sredstvi se poleg tega iz lesa tudi izpirata. Možne pa bi bile druge pozitivne lastnosti testnih formulacij z utekočinjenim lesom, ki jih v tej nalogi nismo proučili (npr. povečana biološka odpornost, povečana trdnost, odpornost proti kislinam, UV razgradnji, ipd. ...).

8 VIRI

1. Beyer G., Defays M., Fischer M., Fletcher J., Muck E., Jaeger F., Van Riet C., Vandewghe K., Wijnendaele K., 2006. Tackle climate change: use wood. Guy-Quint C.(ur.), Brusels, European Parliament: 10-24
2. Deka M. 2004. Chemical modification of solid wood. Post doctoral research. Vienna. Institute of Botany/Wood Science and Technology.
3. Demirbaş A. 2000. Mechanisms of liquefaction and pyrolysis reactions of biomass. Energy conversion & Management, 41: 632-636
4. Din, R.H. 1989. Wood Polymer Composites: Their properties and applications. MSc Thesis. Univ. Collage of North Wales, Bangor: 63 str.
5. DIN 53 155. Prufung von Anstrichstoffen und ähnlichen Beschichtungsstoffen – Spannprufung (nach Peters) von anstrichen. 1971: 2 str.
6. Emrich W. 1987. Handbook of Charcoal Making. Dordrecht, D.Reidl Publishinh company: 129-146
7. Hansmann C., Deka M., Wimmer r., Gindl W., 2005. Artificial weathering of wood surfaces modified by melamine formaldehyde resins. Holz als Roh- und Werkstoff.
8. Humar M. 2004. Zaščita lesa danes- jutri. Les, 56,6:184- 188
9. Ibach R.E., Ellis D.W., 2005. Lumen modifications Handbook of wood chemistry and wood composites. Boca Raton, Fla. : CRC Press, 2005: 432 str.
http://www.fpl.fs.fed.us/documents/pdf2005/fpl_2005_ibach002.pdf (23. maj 2007)
10. Lin L., Hse C. 2005. Liquefaction of CCA- treated wood and elimination of metals from solvent y recipitation. Holzforschung, 59: 285-288

11. Melamin, 2007. Wikipedia (11.maj.2007).
<http://de.wikipedia.org/wiki/Melamin>. (3.maj.2007)
12. Ogorelec P. 2007. "Melapret NF70/M". Kočevje, Melamin d.o.o, (*osebni vir, 04.dec.2006*)
13. Pilot production of liquefied wood fuel began at Fortum's Porvoo refinery.
Fortum(14. maj 2002)
http://www.fortum.com/news_section_item.asp?path=14022;14024;14026;25730;551;11100 (23.maj 2007)
14. Pittman C.U, Kim G.M., Nicholas D.D. 1994. Wood enhancement reatments I. Impregnation of southern yellow pine with melamine-formaldehyde and melamine-ammeline-formaldehyde resins. Journal of wood chemistry and technology, 14,4: 577-601
15. Rapp A.O. 1999. Phisikalische und biologische Vergutung von Vollholz durch Impregnirung mit wasserverdünnbaren Harzen. Universität Hamburg. Dissertation: 12-13, 185-189
16. Rep G., Pohleven F. 2002. Wood modification- a promising method for wood conservation = Modifikacija drva-obćuvajuća metoda za zaštitu drva. Drvna industrija, 52, 2:71-76
17. Rowell R.M. 1983. Chemical Modification of Wood. Forest Products Abstracts. United States Department of Agriculture, Forest service, Forest Products Laboratory. 6,12: 363-368.
18. SIST EN ISO 1518. Barve in laki - Preskus s razenjem. 2001
19. SIST EN ISO 1522. Barve in laki – Preskus trdote z dušenjem nihanja.(ISO 1522: 1997). 2001:13str
20. SIST EN 12720.Furniture – assessment of surface resistance to cold liquids (ISO 411:1979 modified). 1997: 16str

21. Stokstad E. 2006. Poplar Tree Sequence Yields Genome Double Take. *Science*, 313, 5793, 1537.
22. Zager M., Pohleven F., Pogorevc B. 2006. Strateški raziskovalni program slovenske gozdno-lesnetehnološkeplatforme:1-5
http://www.sgltp.net/doc/22SRP_SGLTP_LEKTORIRANO.pdf (23.maj 2007)
23. Wagenführ R., Scheiber C. 1985. Holzatlas. 2. auflage. Leipzig, VEB fachbuchverlag: 573 str.

ZAHVALA

Hvala mentorju prof. dr. Marku Petriču za pomoč pri usmerjanju eksperimentov, ter pri nastajanju in oblikovanju diplomskega dela.

Hvala recenzentki prof.dr.Vesni Tišler za strokovno recenzijo diplomske naloge.

Zahvaljujem se Borutu Kričej za pomoč pri izvajanju poizkusov v laboratoriju za površinsko obdelavo.

Zahvaljujem se asistentu Gregor Repu, ki mi je bil v veliko pomoč pri izvajanju poizkusov z vakumsko komoro.

Prof. dr. Matjažu Kunaverju bi se rad zahvalil za informacije o preliminarnih poizkusih z utekočinjenim lesom.

PRILOGE

Druge možnosti uporabe UL

Utekočinjen les kot polnilo

Termoplasti, ki vsebujejo polnila, predstavljajo ogromen in rastoč trg za vse vste produktov. Ocenjeno je, da se vsako leto na svetu v plastični industriji porabi 20 milijonov ton polnil. Trenutno so najpomembnejša polnila kalcijev karbonat, smukec, silicijev dioksid, glina, aluminijev trioksid, steklo, škrob in celulozni prah. Polnila služijo več namenom. Na primer, v avtomobilski industriji dodajajo polipropilenu do 20 % lesnega prahu, ki izboljša njegovo trdnost in zviša temperaturo mehčanja z 90 °C na 120 °C. Brez dodatka lesnega prahu bi bil polipropilen v bližini motorja neuporaben. UL se zaenkrat še ni uveljavil v industriji polimerov, vendar bi se lahko.

Utekočinjen les kot gorivo

Biomasa zavzema 12 % svetovne proizvodnje energije. V državah v razvoju znaša delež energije, pridobljene iz biomase 40 % - 50 %, v nekaterih državah pa celo 90 %. Biomasa je splošen pojem za vse neživalske organske materije. Biomasa kot vir energije ima tri odlične karakteristike. Prvi dve sta njeni obnovljivost ter velike količine. Tretja pa je zmožnost fiksacije ogljikovega dioksida iz atmosfere s fotosintezo. Lesna biomasa se uporablja že tisoče let, v obliki masivnega lesa in oglja. Vendar, skoraj nemogoče je uporabiti masivni les in oglje kot alternativno gorivo za komercialne stroje in industrijske procese, kjer zdaj prevladuje nafta. Zato bi bilo nujno razviti tehnologije, ki bi biomaso pretvarjale v tekoče gorivo (Demirbaş, 1999).

Tekoči les vsebuje poleg plinov težka olja, velik delež ogljikovodikov in fenolov. Če za pogoje utekočinjevanja uporabimo tlak 230 barov in temperaturo nekje med 150 °C – 360 °C, dobimo velike količine olj. Nekateri so ta postopek imenovali kar oljenje. Ta olja se lahko uporablajo kot nadomestek naftnih derivatov. Na Finskem je leta 2002 začela obratovati prva tovarna, ki proizvaja kurilno olje iz lesa. Tovarna proizvaja 300 L goriva v eni uri. V polnem komercialnem obsegu bo lahko pretvorila okoli milijon kubičnih metrov gozdarskih ostankov, kar predstavlja 5 % finske porabe kurilnega olja. Izdelava in uporaba kurilnega olja, pridobljenega iz lesa, bo pripomogla Finski k manjšim emisijam CO₂. Ta nova tehnologija nudi konkurenčno energijo in trajnostni razvoj (Pilot production., 2002).

Možnost reciklaže impregniranega lesa

Proces reciklaže impregniranega lesa lahko poteka tudi z utekočinjevanjem lesa, z odstranitvijo kemikalij – biocidov, utekočinjen les, ki ostane pa je prost biocidov. Strokovnjaki trdijo, da je proces ekološko prijazen in ekonomsko smotrn (Lin L.in Hse C., 2005)

Odstranjevanje odsluženega lesa, impregniranega z zaščitnimi sredstvi, je postalo vedno večji problem. Zdajšnje priljubljene metode odstranjevanja takšnega lesa, kot so posebno sežiganje in odlaganje na posebej zaščitenem odlagališču, postajajo vedno dražje in neracionalne. Reciklažo, tako lesa, kot tudi zaščitnega sredstva, lahko obravnavamo kot ugodno rešitev. CCA je zaščitno sredstvo na osnovi kroma, bakra in arzena. Uporabljalo se je od 40.let 20.st, za zaščito lesa pred biološko degradacijo. Sedaj pa je raba vodotopnih arzenovih spojin v lesni industriji močno omejena, v produktih, ki se uporabljajo v komercialne namene pa celo prepovedana. Kakorkoli že, lesa, zaščitenega s CCA je na svetu veliko. Proizvodi pa bodo slej ko prej dokončali svojo življensko dobo in jih bo potrebno odstraniti. Ena od rešitev je, da les zdrobimo in utekočinimo. Ko je les utekočinjen, lahko iz njega ločimo zaščitna sredstva.. Če ločujemo krom, baker in arzen, je izkoristek ločevanja nad 99 %. Končni proizvodi procesa so kemikalije, ki so bile uporabljene ob prvotni zaščiti lesa in netoksičen utekočinjen les, ki ga lahko uporabimo za smole, pene, polnila, lepila, ulite lesne izdelke...Trenutno ni boljšega načina odstranjevanja zaščitnih sredstev iz impregniranega lesa (Lin L.in Hse C., 2005).