

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Tomaž ČERNE

PENETRACIJA PREMAZOV V POVRŠINSKO ZGOŠČEN LES

Magistrska naloga
Magistrski študij – 2. stopnja

PENETRATION OF COATINGS INTO SURFACE DENSIFIED WOOD

M. Sc. Thesis
Academic Study Programmes

Ljubljana, 2016

Magistrska naloga je zaključek magistrskega študija lesarstva 2. stopnje. Delo je potekalo na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin na Oddelku za lesarstvo, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega projekta imenoval prof. dr. Marka Petriča, za somentorja dr. Matjaža Pavliča, za recenzenko pa prof. dr. Andrejo Kutnar.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Tomaž Černe

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du2
DK	UDK 630*829.1
KG	Površinsko zgoščen les/utekočinjen les/premazi za les/navzem/stični koti
AV	ČERNE, Tomaž
SA	PETRIČ, Marko (mentor)/PAVLIČ, Matjaž (somentor)/ KUTNAR, Andreja (recenzentka)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2015
IN	PENETRACIJA PREMAZOV V POVRŠINSKO ZGOŠČEN LES
TD	Magistrsko delo (Magistrski študij - 2. stopnja)
OP	XII, 86 str., 6 preg., 67 sl., 39vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Ker predvidevamo, da bo površinsko zgoščen les možno uporabiti za talne obloge, ga bo v ta namen potrebno zaščititi s površinskimi premazi. Zato smo raziskali, kako nekatere tekočine in premazi omakajo površino površinsko zgoščenega lesa, ter kakšen je njihov navzem v površinsko zgoščen les. Kot kontrolno tekočino smo uporabili vodo, testne tekočine in premazi pa so bili olje za površinsko obdelavo lesa, akrilni vodni lak, poliuretanski lak, utekočinjen les in premaz iz utekočinjenega lesa. Najprej smo iz smrekovega lesa pripravili utekočinjen les, nato pa tudi premaz iz utekočinjenega lesa. Stični koti na površinsko zgoščenem lesu so odvisni od vrste premaza in vrste površinsko zgoščenega lesa, prav tako globina penetracije testnih tekočin in premazov. Ugotovili smo, da površino najbolj omaka in ima vanjo najbolj penetrira utekočinjen les, sledita pa mu premaz iz utekočinjenega lesa ter akrilni vodni lak. Slednja dva sta po našem mnenju tudi najbolj primerna za zaščito površinsko zgoščenega lesa, če bi le-tega uporabili za talne obloge.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Du2

DC UDC 630*829.1

CX Surface densified wood/liquied wood/wood coatings/uptake/contact angle

AU ČERNE, Tomaž

AA PETRIČ, Marko (supervisor)/PAVLIČ, Matjaž (co-supervisor)/KUTNAR, Andreja (reviewer)

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

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

PY 2015

TI PENETRATION OF COATINGS INTO SURFACE DENSIFIED WOOD

DT M. Sc. Thesis (Master Study Programmes)

NO XII, 86 p., 6 tab., 67 fig., 39 ref.

LA sl

AL sl/en

AB Surface densified wood could be used for floorings and in such a cases it should be protected with surface coatings. Therefore, we investigated wettability of surface densified wood with some liquids and coatings and their uptake into surface densified substrates. As a control liquid water was applied and the test liquids were oil for surface finishing of wood, acrylic water-borne lacquer, polyurethane coating, liquefied wood and a coating made from liquefied wood. At first, spruce wood was liquefied and then the liquefied wood based coating was prepared. Contact angles on surface densified wood were dependent on ta coating type, and it was the same for penetration of test liquids and coatings. We found out, that the surface densified wood is the best wetted by liquefied wood and by the liquefied wood based surface coating, followed by acrylic water-borne lacquer. The same order was determined also for penetration of liquids and coatings into surface densified wood. The latter two surface coatings are by our opinion the most appropriate for protection of surface densified wood, when used for floorings.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key Words Documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic.....	IX
Kazalo slik.....	X
1 UVOD.....	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 HIPOTEZE	1
1.3 CILJI NALOGE.....	1
2 PREGLED LITERATURE	2
2.1 LES	2
2.2 KEMIČNA SESTAVA LESA.....	2
2.2.1 Celuloza	3
2.2.2 Polioze (hemiceluloze)	4
2.2.3 Lignin	4
2.2.4 Ekstraktivi	5
2.3 POVRŠINSKO ZGOŠČEN LES.....	6
2.4 POVRŠINSKA OBDELAVA LESA	9
2.4.1 Namen površinske obdelave lesa	9
2.4.1.1 Zaščita lesa	10
2.5 LESNI PREMAZI	11
2.5.1 Poliuretanski premazi za les	11
2.5.1.1 Vrste PU lakov.....	12
2.6 UTEKOČINJEN LES	13
2.6.1 Poliuretanski premazi iz utekočinjenega lesa	14
3 MATERIALI IN METODE	15
3.1 UTEKOČINJANJE LESA.....	15
3.1.1 Reagenta	19
3.1.2 Katalizator.....	21
3.1.3 Izocianat	22

3.1.4	Določitev hidroksilnega in kislinskega števila	23
3.1.4.1	Hidroksilno število	23
3.1.4.2	Kislinsko število	24
3.1.5	Izdelava poliuretanskega premaza iz utekočinjenega lesa	25
3.2	PREMAZI IN TEKOČINE, KI SMO JIH UPORABILI PRI PREIZKUSIH	26
3.2.1	Voda	26
3.2.2	Olje za les.....	26
3.2.3	Akrilni vodni lak AMAL.....	27
3.2.4	Poliuretanski lak AMAL z redčilom	28
3.2.5	Utekočinjen les	29
3.2.6	Premaz iz utekočinjenega lesa	29
3.3	NAVZEM	30
3.3.1	Vzorci za določanje navzema.....	30
3.3.2	Določitev navzema premaznega sredstva s tenziometrom.....	32
3.4	STIČNI KOT (KOT OMOČITVE)	33
3.4.1	Vzorci za določanje stičnega kota	36
4	REZULTATI IN RAZPRAVA.....	39
4.1	NAVZEM	39
4.1.1	Navzem vode	39
4.1.1.1	Nezgoščena smrekovina	39
4.1.1.2	Zgoščena smrekovina	40
4.1.1.3	Nezgoščena borovina.....	41
4.1.1.4	Zgoščena borovina.....	42
4.1.1.5	Primerjava navzema vode.....	43
4.1.2	Navzem olja	44
4.1.2.1	Nezgoščena smrekovina	44
4.1.2.2	Zgoščena smrekovina	45
4.1.2.3	Nezgoščena borovina.....	46
4.1.2.4	Zgoščena borovina.....	47
4.1.2.5	Primerjava navzema olja	48
4.1.3	Navzem vodnega akrilnega laka.....	49
4.1.3.1	Nezgoščena smrekovina	49
4.1.3.2	Zgoščena smrekovina	50
4.1.3.3	Nezgoščena borovina.....	51

4.1.3.4	Zgoščena borovina.....	52
4.1.3.5	Primerjava navzema akrilnega vodnega laka	53
4.1.4	Navzem poliuretanskega (PU) laka.....	54
4.1.4.1	Nezgoščena smrekovina	54
4.1.4.2	Zgoščena smrekovina	55
4.1.4.3	Nezgoščena borovina.....	56
4.1.4.4	Zgoščena borovina.....	57
4.1.4.5	Primerjava navzema PU laka.....	58
4.1.5	Navzem utekočinjenega lesa	59
4.1.5.1	Nezgoščena smrekovina	59
4.1.5.2	Zgoščena smrekovina	60
4.1.5.3	Nezgoščena borovina.....	61
4.1.5.4	Zgoščena borovina.....	62
4.1.5.5	Primerjava navzema utekočinjenega lesa	63
4.1.6	Navzem PU premaza iz utekočinjenega lesa	64
4.1.6.1	Nezgoščena smrekovina	64
4.1.6.2	Zgoščena smrekovina	65
4.1.6.3	Nezgoščena borovina.....	66
4.1.6.4	Zgoščena borovina.....	67
4.1.6.5	Primerjava navzema PU premaza iz utekočinjenega les	68
4.1.7	Primerjava navzemov različnih tekočin oz. premazov v nezgoščeno smrekovino	69
4.1.8	Primerjava navzemov različnih tekočin oz. premazov v zgoščeno smrekovino	70
4.1.9	Primerjava navzemov različnih tekočin oz. premazov v nezgoščeno borovino	71
4.1.10	Primerjava navzemov različnih tekočin oz. premazov v zgoščeno borovino ...	72
4.2	STIČNI KOT	73
4.2.1	Povprečna vrednost stičnih kotov vode	73
4.2.2	Povprečna vrednost stičnih kotov olja.....	74
4.2.3	Povprečna vrednost stičnih kotov akrilnega vodnega laka	75
4.2.4	Povprečna vrednost stičnih kotov poliuretanskega laka.....	76
4.2.5	Povprečna vrednost stičnih kotov utekočinjenega lesa	77
4.2.6	Povprečna vrednost stičnih kotov premaza iz utekočinjenega lesa	78

4.3	SPREMLJANJE IREVERZIBILNOSTI POVRŠINSKE ZGOSTITVE V ODVISNOSTI OD VRSTE PREMAZA.....	79
5	SKLEPI.....	80
6	POVZETEK	81
7	VIRI	83
ZAHVALA		

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Povprečne vrednosti stičnega kota vode na vseh vrstah preskušancev.....	73
Preglednica 2: Povprečne vrednosti stičnega kota olja na vseh vrstah preskušancev.....	74
Preglednica 3: Povprečne vrednosti stičnega kota akrilnega vodnega laka na vseh vrstah preskušancev.....	75
Preglednica 4: Povprečne vrednosti stičnega kota poliuretanskega laka na vseh vrstah preskušancev.....	76
Preglednica 5: Povprečne vrednosti stičnega kota utekočinjenega lesa na vseh vrstah preskušancev.....	77
Preglednica 6: Povprečne vrednosti stičnega kota poliuretanskega premaza iz utekočinjenega lesa na vseh vrstah preskušancev.....	78

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Kemična zgradba lesa (prirejeno po Fengel in Wegner, 1984)	2
Slika 2: Struktura celuloze (Fengel in Wegener, 1984)	3
Slika 3: Glavne gradbene enote lignina: (a) p-kumaril alkohol, (b) koniferil alkohol in (c) sinapil alkohol (Rowell, 2005)	4
Slika 4: 3-slojni VTC-kompozit iz zgoščenega lesa (Kutnar in Šernek, 2009)	8
Slika 5: Mlin za mletje lesa	15
Slika 6: Lesni prah oz. drobni sekanci	16
Slika 7: Črpalka za filtriranje utekočinjenega lesa	16
Slika 8: Filtriranje produkta	17
Slika 9: Filtrirni papir	17
Slika 10: Netopne snovi na filtrirnem papirju	17
Slika 11: Rotavapiranje oz. odparjevanje nezreagiranih topil	18
Slika 12: Merjenje vrednosti pH	18
Slika 13: Glicerol v steklenici	19
Slika 14: Strukturna formula glicerola (Leksikon kemija, 2004)	19
Slika 15: Etilen glikol v steklenici	20
Slika 16: Strukturna formula etilen glikola (Leksikon kemija, 2004)	20
Slika 17: Žveplova (VI) kislina v reagenčni steklenici	21
Slika 18: Strukturna formula žveplove (VI) kisline (Leksikon kemija, 2004)	22
Slika 19: Olje za les interier	26
Slika 20: Akrilni vodni lak AMAL	27
Slika 21: Poliuretanski lak AMAL	28
Slika 22: Utekočinjen les	29
Slika 23: Priprava premaza iz utekočinjenega lesa (levo), PU redčilo (sredina) in DESMODUR L 75 (desno)	29
Slika 24: Vzorci za določitev navzema	31
Slika 25: Vzorci v sušilni komori, kjer so se sušili in uravnovešali	31
Slika 26: Tenziometer Krüss K100	32
Slika 27: Stični kot tekočine in podlage (Petrič, 2012)	33
Slika 28: Stični kot: slabo omakanje (levo), dobro omakanje (sredina), popolno omakanje (desno) (Petrič, 2012)	34

Slika 29: Omočitev glede na površino (Petrič, 2012)	35
Slika 30: Kapljična metoda merjenja stičnega kota (Petrič, 2012)	35
Slika 31: Vzorci lesa bora in smreke, pripravljeni za določanje stičnega kota	37
Slika 32: Sušilna komora	37
Slika 33: Stereomikroskop Olympus SZH z računalniškim zajemom slike stičnega kota	38
Slika 34: Dinamika navzema vode v nezgoščeno smrekovino	39
Slika 35: Diagram navzema vode v zgoščeno smrekovino	40
Slika 36: Dinamika vpijanja vode v nezgoščeno borovino	41
Slika 37: Diagram navzema vode v zgoščeno borovino.	42
Slika 38: Dinamika vpijanja vode v nezgoščeno in zgoščeno borovino in smrekovino	43
Slika 39: Navzem olja v nezgoščeno smrekovino	44
Slika 40: Navzem olja v zgoščeno smrekovino	45
Slika 41: Vpijanje olja olja v nezgoščeno borovino	46
Slika 42: Navzem olja v zgoščeno borovino	47
Slika 43: Dinamika vpijanja olja v nezgoščeno in zgoščeno borovino in smrekovino	48
Slika 44: Diagram navzema akrilnega vodnega laka v nezgoščeno smrekovino	49
Slika 45: Vpijanje akrilnega vodnega laka v zgoščeno smrekovino	50
Slika 46: Dinamika vpijanja akrilnega vodnega laka v nezgoščeno borovino	51
Slika 47: Diagram navzema akrilnega vodnega laka v zgoščeno borovino	52
Slika 48: Navzemi akrilnega vodnega laka	53
Slika 49: Vpijanje PU laka v nezgoščeno smrekovino	54
Slika 50: Absorpcija PU laka v zgoščeno smrekovino	55
Slika 51: Navzem PU laka v nezgoščeno borovino	56
Slika 52: Vpijanje PU laka v zgoščeno borovino	57
Slika 53: Navzemi PU laka v nezgoščeno in zgoščeno smrekovino in borovino	58
Slika 54: Vpijanje utekočinjenega lesa v nezgoščeno smrekovino	59
Slika 55: Navzema utekočinjenega lesa v zgoščeno smrekovino	60
Slika 56: Vpijanje utekočinjenega lesa v nezgoščeno borovino	61
Slika 57: Navzema utekočinjenega lesa v zgoščeno borovino	62
Slika 58: Absorpcija utekočinjenega lesa v zgoščeno in nezgoščeno borovino in smrekovino.	

Slika 59: Diagram navzema PU premaza iz utekočinjenega lesa v nezgoščeno smrekovino ..	64
Slika 60: Dinamika navzema PU premaza iz utekočinjenega lesa v zgoščeno smrekovino	65
Slika 61: Navzem PU premaza iz utekočinjenega lesa v nezgoščeno borovino	66

Slika 62: Vpijanje PU premaza iz utekočinjenega lesa v zgoščeno borovino	67
Slika 63: Primerjava navzemov PU premaza iz utekočinjenega lesa v nezgoščene in zgoščene lesne vzorce	68
Slika 64: Primerjava navzemov tekočin v nezgoščeno smrekovino	69
Slika 65: Primerjava navzemov testnih tekočin v zgoščeno smrekovino	70
Slika 66: Primerjava navzemov testnih tekočin v nezgoščeno borovino	71
Slika 67: Primerjava navzemov testnih tekočin v zgoščeno borovino	72

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

S hidrotermičnim postopkom površinskega zgoščevanja les zgostimo le na površini. Predvidevamo, da bo možno površinsko zgoščen les uporabiti tudi za izdelavo talnih oblog. V tem primeru bo les potrebno obdelati s površinskimi premazi. Obdelava površin površinsko zgoščenega lesa s premazi je še povsem neraziskana: tako npr. ni podatkov o omočljivosti, o navzemu lakov v zgoščen les, o njihovi globini penetracije, ter o morebitnih anatomskih spremembah lesa v površinski zgoščeni plasti zaradi nanosa premazov.

1.2 HIPOTEZE

Predvidevamo, da bodo stični koti ter globina penetracije premazov močno odvisni od vrste izbranega sredstva ter tudi od vrste površinsko zgoščenega lesa. Zelo verjetno bo po nanosu premazov prišlo do anatomskih sprememb v zgoščenem sloju, saj je znano, da lahko pod določenimi pogoji (npr. izpostavljenost vlagi ali polarnim tekočinam) pride do povratka tlačne deformacije.

1.3 CILJI NALOGE

Ugotovili bomo, kakšni so stični koti najbolj pogosto uporabljenih lakov in olj na površinah površinsko zgoščenega lesa. Proučili bomo vpijanje površinskih premaznih sredstev v površinsko zgoščen les (navzem in impregnabilnost celičnih sten...) ter kakšne anatomske spremembe se v zgoščenem lesu zgodijo zaradi navzema premaznih sistemov.

2 PREGLED LITERATURE

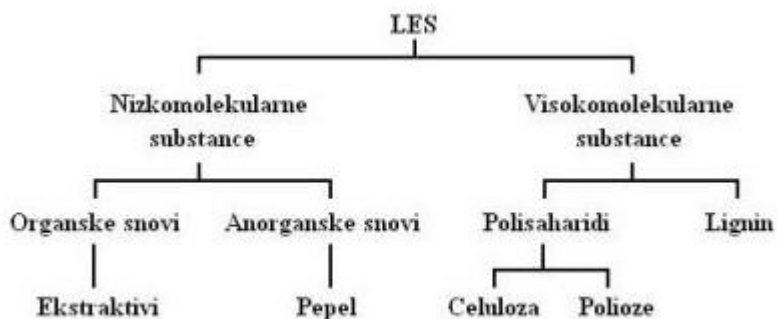
2.1 LES

Les je material, s katerim se dnevno srečamo skoraj na vsakem koraku. Najdemo ga v naravi, v parku, okoli hiš in vrtov, iz njega pa je izdelano tudi pohištvo, ki ga uporabljamo vsakodnevno. Tako je les ena najpomembnejših surovin, ki jo imamo v Sloveniji na pretek in je obnovljiva.

Les lahko definiramo z botaničnega ali s tehničnega vidika. Tehnično gledano je les trda vlaknena snov pod skorjo debel in vej dreves ter grmov. Botaniki pa les definirajo kot sekundarni ksilem, ki ga kambij proizvaja v procesu sekundarne debelitve. Dobro poznavanje lastnosti lesa je pomembno še zlasti zaradi njegove nehomogene zgradbe in anizotropije. Nehomogenost se pojavi zaradi različnih tkiv, ki opravljajo posebej določene naloge, razlik med ranim in kasnim lesom, mladostnim in zrelim lesom, beljavo in jedrovino, reakcijskega lesa ter najrazličnejših anomalij, kot so na primer grče (Čufar, 2006).

2.2 KEMIČNA SESTAVA LESA

Kemično v lesu razlikujemo med visokomolekularnimi substancami - to so celuloza, polioze (hemiceluloze) in lignin, ki so prisotne v vseh vrstah lesa; ter nizkomolekularnimi substancami (Slika 1) - to so ekstraktivi in mineralne substance, ki se pojavljajo v manjših količinah in katerih vrsta in količina sta odvisni od drevesne vrste (Fengel in Wegener, 1984).



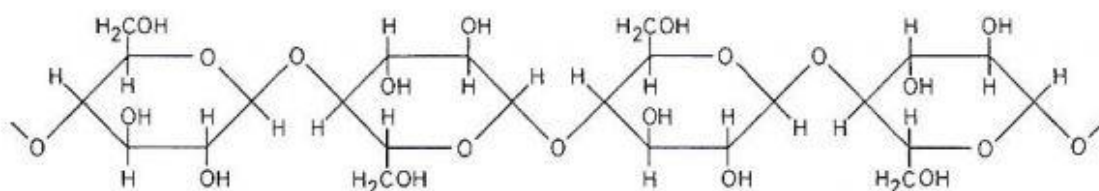
Slika 1: Kemična zgradba lesa (prirejeno po Fengel in Wegner, 1984)

Les je sestavljen iz približno 50 % ogljika, 44 % kisika, 6 % vodika in majhne količine anorganskih sestavin. Kemijsko se pojavljajo razlike med iglavci in listavci. V splošnem imajo iglavci višji delež lignina in nižji delež pentozanov v primerjavi z listavci, medtem ko je delež celuloze pri iglavcih in listavcih približno enak (Rowell, 2005; Fengel in Wegener, 1984).

2.2.1 Celuloza

Celuloza je osnova strukture (Slika 2) rastlinskih celic in iz tega sledi, da je najbolj pomembna naravna substanca, ki jo proizvajajo živi organizmi. Celulozo najdemo v vseh rastlinah, od visoko razvitih dreves do primitivnih organizmov kot so morske trave in tudi v bakterijah. Celuloza je osnova številnim industrijskim produktom (Fengel in Wegener, 1984; Čuk, 2008).

Kemično je celuloza linearni polimer glukan, v katerem so D-glukopiranozne enote povezane z β -(1 $\rightarrow$ 4)-glikozidnimi vezmi. V osnovi je celuloza sestavljena iz ponavljajočih se enot celobioze, dolžine 1,03 nm (Fengel in Wegener, 1984; Čuk, 2008).



Slika 2: Struktura celuloze (Fengel in Wegener, 1984)

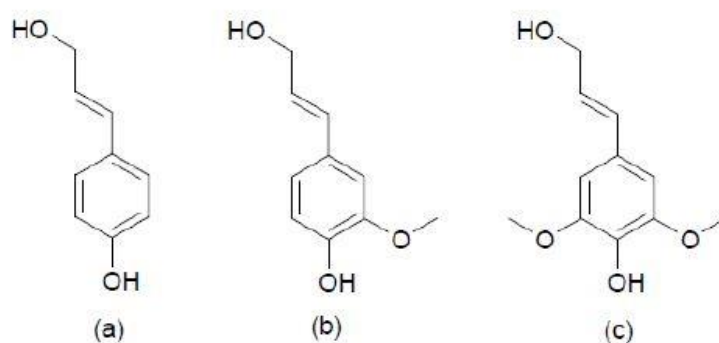
Celuloza v lesu je visoko kristalinična, s 65 % območij, ki imajo kristalinično obliko, ostala področja so amorfna, z nižjo gostoto. Ima obliko vlaken in je netopna v večini topil. Raztaplja se v močnih kislinah, kot so 72 % žveplova(VI) kislina, 41 % klorovodikova kislina in 85 % fosforjeva(V) kislina (Rowell, 2005; Fengel in Wegener, 1984; Tišler, 2004)

2.2.2 Polioze (hemiceluloze)

Polioze so sestavljene iz različnih sladkornih enot, molekulske verige pa so v primerjavi s tisto v celulozi dosti krajše in razvejane. Sladkorne enote, ki gradijo polioze, lahko razdelimo v štiri skupine: pentoze, heksoze, heksuronske kisline in deoksi-heksoze. Med pentoze se uvrščajo D-ksiloza, L-arabinopiranoza in L-arabinofuranoza, med heksoze D-glukoza, D-manoza in D-galaktoza, med heksuronske kisline D-glukuronska kislina, D-metilglukuronska kislina in D-galakturonska kislina ter med deoksi heksoze L-ramnoza in L-fruktoza. Verigo polioz lahko sestavlja ena glavna enota (homopolimer) ali pa dve in več enot (heteropolimer). Les iglavcev in listavcev se razlikujeta tako v količini kot tudi v sestavi polioz. Tako imajo iglavci več manoznih in galaktoznih enot, listavci pa več ksiloznih enot in acetilnih skupin (Fengel in Wegener, 1984).

2.2.3 Lignin

Poleg celuloze je lignin drugi najbolj razširjen in pomemben organski polimer v rastlinskem svetu. Je komponenta tkiva višjih rastlin, je med organskimi snovmi eden najbolj odpornih na biotsko razgradnjo in specializiran za mehansko oporo. Je amorfen in v glavnem aromatski polimer, sestavljen iz fenilpropanskih enot (Slika 3), ki se na različne načine povezujejo med seboj. Glavne gradbene enote lignina so p-kumaril alkohol, koniferil alkohol in sinapil alkohol (Čuk, 2008).



Slika 3: Glavne gradbene enote lignina: (a) p-kumaril alkohol, (b) koniferil alkohol in (c) sinapil alkohol (Rowell, 2005)

Količina lignina v lesu listavcev znaša 18 % - 25 %, v lesu iglavcev pa 25 % - 35 %. Lignin iglavcev je pretežno produkt polimerizacije koniferil alkohola in ga imenujemo gvajacilni lignin, lignin listavcev pa imenujemo gvajacilno-siringilni lignin in je pretežno kopolimer koniferil in sinapil alkohola. Slednji vsebuje več metoksilnih oz. skupin $-OCH_3$, sicer pa je med obema tudi precejšna razlika v kemijski reaktivnosti (Fengel in Wegener, 1984; Rowell, 2005; Zule, 2004).

Vse tri glavne lesne visokomolekularne komponente se med sabo v lesu tesno prepletajo. Med njimi obstajajo tako fizikalne povezave kakor tudi prave kemijske vezi. Lignin je kemijsko vezan v glavnem na polioze. Za povezavo rabijo predvsem stranske skupine polioz, in sicer arabinoza in galaktoza. V večini primerov gre za etrske, estrske in glikozidne vezi (Zule, 2004).

2.2.4 Ekstraktivi

Ekstraktivi so skupina velikega števila različnih organskih snovi, ki jih lahko iz lesa pridobimo z ekstrakcijo z različnimi topili. Lahko so monomeri, dimeri ali polimeri. V splošnem velja, da imajo iglavci višjo vsebnost ekstraktivov kot listavci. Koncentracija ekstraktivov je večja v jedrovini, lahko tudi v vejah in koreninah, večje količine ekstraktivov so značilne predvsem za tropske in subtropske lesove. Nekateri ekstraktivi so lahko odgovorni za barvo, vonj ali trdnost lesa. Količina in sestava ekstraktivov je različna med posameznimi drevesnimi vrstami. Glede na topnost v polarnih oz. nepolarnih topilih jih razdelimo v dve skupini: prva skupina zajema terpene, lignane, stilbene in druge aromatske spojine, v drugo skupino spadajo maščobe, voski, maščobne kisline in alkoholi, steroidi ter višji ogljikovodiki (Fengel in Wegener, 1984; Čuk, 2008).

Med ekstraktivi najdemo tudi anorganske snovi. Čeprav je njihova vsebnost zelo nizka, so mnoge pomembne za rast drevesa. Glavni elementi v pepelu lesa so predvsem kalcij, kalij in magnezij (Rowell, 2005; Fengel in Wegener, 1984).

2.3 POVRŠINSKO ZGOŠČEN LES

Zgodovina zgoščevanja lesa sega v leto 1886, ko zasledimo prvo idejo o zgoščevanju lesa v radialni smeri (Kollman in Cote, 1968). Leta 1900 je bil patentiran prvi postopek zgoščevanja lesa (Kollmann in sod., 1975). V dvajsetih letih 20. stoletja je bil raziskan vpliv vode in visoke temperature na zgoščen les. V Nemčiji je bil kmalu razvit postopek pod imenom Lignostone (Kollman in Cote, 1968), med drugo svetovno vojno pa podoben postopek pod imenom Staypak v Združenih državah Amerike (Seborg in sod., 1945). Oba postopka se izvajata pri temperaturah od 160 °C do 180 °C in tlakih od 7 MPa do 15 MPa. Zgoščevanje s tema postopkoma je izboljšalo določene mehanske lastnosti, vendar je bil proizvod zelo nestabilen. Ob navlaževanju in segrevanju je lahko prišlo tudi do 100 % povrnitve tlačne deformacije. Zato so se uporabljali različni kemični, fizikalni in mehanski postopki stabilizacije tlačne deformacije (Inoue in sod., 1993).

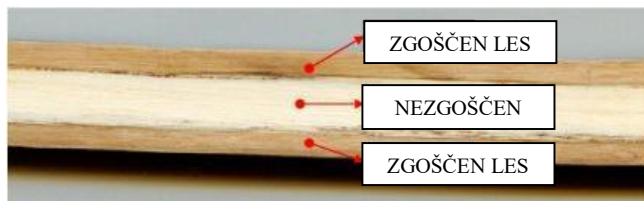
Med novjšimi postopki zgoščevanja lesa je viskoelastično toplotno zgoščevanje (ang. *Viscoelastic Thermal Compression*, VTC), ki sta ga razvila Kamke in Sizemore (2008). Proces je bil primarno razvit za izrabo hitrorastočih nizko-gostotnih drevesnih vrst. Kljub temu se lahko postopek VTC uporabi pri katerikoli lesni vrsti, različnih gostot in vlažnosti. Proizvod je namenjen uporabi v lesnih kompozitih, kot so večslojne plošče. Večslojni kompoziti bi bili v veliki meri lahko uporabljeni v konstrukcijskih aplikacijah, npr. 3-slojni kompoziti z uporabo zgoščenega lesa v zunanjih slojih, medtem ko je za sredico uporabljen les z nizko gostoto in nizko togostjo (Kutnar in sod., 2008a). Vplive parametrov zgoščevanja na lastnosti proizvedenega lesa, predvsem z namenom iskanja optimalnih pogojev za proizvodnjo visoko stabilnega zgoščenega lesa, sta proučevala Kutnar in Kamke (2012). Vsi ti postopki vedno sledijo naslednjim korakom (Morsing, 2000):

- mehčanje in plastificiranje celične stene,
- zgoščevanje pravokotno na obdelovanec,
- ohlajevanje in sušenje v deformiranem stanju,
- fiksacija deformacije.

Zgostitev lesa je rezultat zmanjšanja praznih prostorov v celični zgradbi lesa. Za postopek lesna vlažnost ni pomembna, temveč dimenzije obdelovancev. Ker sta gibanje in izguba vlažnosti ključnega pomena, so za zgoščevanje bolj uporabni elementi majhnih debelin, saj

se hitreje uravnovesijo v temperaturnih in vlažnostih pogojih, ki se uporabljajo v postopku zgoščevanja (Kutnar in sod., 2008a). Debeline obdelovancev, npr. pri postopku VTC se predvidoma gibljejo med 3 mm in 12 mm. Vlažnost lesa naj bi bila od 15 % do 30 %, vendar je lahko tudi večja (Kutnar in sod., 2008a). Med procesom se uporablja para pod povišanim tlakom, s katero se zagotovi, da so obdelovanci v območju nad točko steklastega prehoda, kar omogoča proizvodnjo izdelkov z visoko gostoto brez poškodb celičnih sten (Kutnar in sod., 2009). Visok pritisk, ki se pojavi pri termo – hidro – mehanskem procesu (ang. *Thermo – Hydro – Mechanical Process*, THM), deformira celični lumen in ga drastično zmanjša, celica pa se deformira brez loma celičnih sten. Med THM-procesom so celične stene lesa podvržene termičnemu razpadu hemiceluloz in lignina, čemur sledijo polimerizacijske reakcije razpadlih produktov pod vplivom pare in povišane temperature (Kutnar in sod., 2008b). THM-proces plastificira in stabilizira končni proizvod. Proizvod, viskoelastično termično zgoščen les, kaže zmanjšano higroskopnost in znatno izboljšane mehanske lastnosti. Trdnost in togost lesnega tkiva se tako z zgoščevanjem sorazmerno izboljšujeta (Kutnar in sod., 2009). Območje stopnje zgostitve, ki ga lahko dosežemo z zgoščevanjem lesa je široko, od približno 25 % pa vse do 500 % zgostitve. Navadno se uporablja spekter od 100 % do 200 % zgostitve lesa. Visoka gostota in nepoškodovana celična struktura vodita do visoke trdnosti in dimenzijske stabilnosti. Rezultati upogibnega testa so pokazali, da THM-proces znatno vpliva na modul elastičnosti (ang. *Modulus of Elasticity*, MOE) in porušitveno trdnost (ang. *Modulus of Rupture*, MOR) lesa (Kutnar in sod., 2008a). V primeru THM-lesa s 63 % stopnjo zgostitve se je vrednost MOE v primerjavi z vrednostjo pri kontrolnem nezgoščenem lesu izboljšala za 37 %, medtem ko je pri 98 % in 132 % stopnji zgostitve vrednost MOE zvišala za 84 % in 129 %. Podobno se je vrednost MOR za zgoščen les s 63 %, 98 % in 132 % zgostitve zvišala za 32 %, 66 % in 102 %, v primerjavi z vrednostjo MOR kontrolnega nezgoščenega lesa (Kutnar in sod., 2008a). Med procesom so bile celične stene podvržene termični razgradnji hemiceluloz in lignina, kar bi lahko spremenilo odpornost lesa proti glivam. Ugotovljeno je bilo, da THM-obdelava ni izboljšala odpornosti lesa smreke ali bukve proti *Trametes versicolor* in *Trametes pubescens* (Skyba in sod., 2009). V zgoščenem lesu se namreč s stopnjo zgostitve znižuje prostornina praznih prostorov. V vzorcu z najmanj praznimi prostori v lesu so hife rasle primarno znotraj celičnih sten, medtem ko so pri ostalih vzorcih z nižjimi stopnjami zgoščenosti rasle tudi v celičnih lumnih (Lesar in sod., 2013). V celicah tenzijskega lesa, ki je bil okužen z glivo *Trametes*

vericolor se je med sekundarno steno in srednjo lamelo pojavil neselektiven tip razkroja (Blanchette in sod., 1994). Proces je povzročil spremembe v obliki želatinastega sloja, ki se je skrčil in v nekaterih primerih ločil od celične stene. Deformiran želatinasti sloj THM lesa je še dodatno spodbudil rast hif, česar posledica je bila večja absolutna izguba mase zgoščenih vzorcev (Slika 4) (Kutnar in sod., 2015).



Slika 4: 3-slojni VTC-kompozit iz zgoščenega lesa (Kutnar in Šernek, 2009)

Zgoščevanje po celotnem prerezu lesa ni potrebno, če je potrebujemo le izboljšanje površinske trdnosti naprimer za talne obloge. Pri površinski zgostitvi je debelina stisnjenega lesa le nekaj milimetrov, kjer gostota poveča. Pri tem so bistveni parametri začetna vlažnost, usmerjenosti vlaken, lesna vrsta, pritiska temperatura ter zaprti in odprti čas stiskanja. Do površinske zgostitve lesa vodi zgoraj omenjeni postopek VTC. Postopek je predvsem namenjen za tanke sloje z dimenzijami pod 10 mm. Stiskanje je zasnovano na prehodnih pogojih temperature in vlažnosti, ko je les nekje na točki steklastega prehoda. Izpostavljenosti tlaku za 1-3 min, sledi hitro enosmerno stiskanjein z visoko temperaturo in zaključí s hlajenjem pod točko steklastega prehoda, predno se sprosti tlačna sila. Neprekinjen komercialni proces je zasnovan na čase zgoščevanja krajše od 5 minut, odvisno od začetne debeline in želene stopnje zgostitve (Kutnar in sod., 2015).

2.4 POVRŠINSKA OBDELAVA LESA

Pojem »površinska obdelava lesa« obsega vse faze tehnološkega procesa, v katerem po določenem sistemu površino izdelka oplemenitimo z brušenjem in glajenjem, nanašanjem različnih tekočih ali pastoznih, barvnih ali brezbarvnih premaznih sredstev, s sušenjem oziroma utrjevanjem in dodelavo končno lakirane površine (Kotnik, 2003).

Pri sušenju hlapne snovi iz premaza izhlapijo v zrak, v suhi snovi pa lahko dodatno potečejo tudi različni kemijski procesi. V prvem primeru govorimo o fizikalnem, v drugem pa o kemijskem sušenju oz. utrjevanju. Les lahko zaščitimo pred delovanjem visokih temperatur, pred različnimi agresivnimi snovmi, pred ultravijolično svetlobo ter izboljšamo mehansko odpornost površine (Petrič, 2012).

Površinska obdelava lesa je ena izmed pomembnejših operacij v procesu izdelave in obdelave lesenih izdelkov. Za doseganje želenega učinka je potrebno dobro poznavanje lastnosti nosilnih materialov, ki so bolj ali manj delujoče biološke snovi. Poznavanje anatomske zgradbe lesa, fizikalnih, fizikalno-kemičnih in mehanskih lastnosti lesa in drugih nosilnih materialov je potrebno za uspešno in usklajeno načrtovanje in izvajanje površinske obdelave (Vranjek, 2009).

2.4.1 Namen površinske obdelave lesa

- zaščitni – les zaščitimo pred delovanjem visokih temperatur, pred različnimi agresivnimi snovmi, pred delovanjem UV žarkov, pred mehanskimi in kemijskimi vplivi okolja. S površinskimi premazi uravnavamo vlažnost lesa in s tem vplivamo na dimenzijsko stabilnost izdelka. Pri lesu, ki je izpostavljen zunanji klimi (padavinam), preprečimo prodiranje vlage v les, s tem pa zmanjšamo možnost okužb z glivami in propadanje lesa zaradi izpiranja;
- omogočimo lažje čiščenje in vzdrževanje lesnih površin;
- estetski – poudarimo teksturo lesa, spremenimo naravno barvo lesa in njegov videz, dosežemo lahko različne stopnje sijaja, dosežemo videz starosti lesa, ipd.;
- izdelku povečamo njegovo tržno vrednost (Vranjek, 2009).

2.4.1.1 Zaščita lesa

Les je nepogrešljiv del sodobnega doma. Je praktično povsod, tako znotraj kot zunaj hiše. Izpostavljen je različnim vplivom in zato ga je treba ustrezno zaščititi. Zaščita lesa spada med osnovna dela pri zaključku gradnje in kasneje med osnovna vzdrževalna dela. Dobra izbira zaščitnih sredstev lahko vzdrževanje lesa precej poenostavi.

Splošni pojem zaščite lesa je tako širok, da ga je treba bolj natančno opredeliti. Najprej je pomembno, ali je les znotraj ali zunaj zgradbe in tudi, ali les na prvem mestu ščitimo pred biološkimi škodljivci ali pred vremenskimi vplivi. Če je znotraj, ni izpostavljen ekstremnim vremenskim razmeram in sončnemu UV sevanju. Zato od površinskih zaščitnih sredstev ne pričakujemo vrhunske zaščite proti vlagi in UV-sevanju, ker niti ni potrebna, pač pa od njih pričakujemo, da so prijazni do ljudi. So torej nestrupeni in v okolje ne oddajajo hlapov, ki bi lahko škodovali našemu zdravju.

Les, ki je zunaj, potrebuje bistveno bolj učinkovito zaščito, hkrati z UV-filtrom, ki zmanjšuje učinke sončnega UV-sevanja. Izbiramo sredstva, ki so najbolj učinkovita, čeprav tudi v tem segmentu iščemo premaze, ki so okolju in ljudem prijazni.

Les je gradivo, ki propada pod vplivom okolja hitreje kot nekatera druga gradiva, a si zaradi svoje žlahtnosti in neponovljivosti zasluži, da ga uporabljamo in primerno zaščitimo. Primerno zaščiten nas bo s svojo toplino razveseljeval vrsto let.

2.5 LESNI PREMAZI

Premazi so snovi, ki praviloma tvorijo film in ki jih v tekoči, pastozni ali praškasti obliki nanašamo na površino lesnih tvoriv ali lesa. Premaz opredeljuje skupino premaznih sredstev, ki jih običajno razvrščamo v naslednje skupine: Barve, laki ali emajli, lazurni premazi in voski, olja, smole.

2.5.1 Poliuretanski premazi za les

Poliuretan je makromolekulska snov, nastala s poliadicijo polifunkcionalnih izocianatov in alkoholov, s splošno formulo $[-O-R-O-CO-NH-R'-NH-CO-]_n$. $(-C-CO-NH-)$ je uretanska skupina, $(R$ in $R')$ so divalentni alifatski ali aromatski ostanki. Pri reakciji dialkoholov in diizocianatov z nizkimi molekulskimi masami nastane poliuretan z linearnimi molekulami, ki ga predelajo v vlakna in ščetke. Pri reakciji med večvalentnimi alkoholi z višjo molekulsko maso in diizocianati pa nastanejo elastomerni produkti, uporabni za proizvodnjo elastičnih vlaken, plastičnih mas, ipd. (Leksikon kemija, 2004).

S poliuretani se srečujemo v vsakdanjem življenju in so pomemben polimerni material. Zelo so pomembni tudi v lesni industriji kot poliuretanski lesni premazi, poliuretanska lepila in poliuretanske pene, ki jih največkrat uporabljamo kot polnila pri oblazinjenju pohištva. Kot začetnika sinteze poliuretana se šteje Otto Bayer-ja, ki je poliuretan sintetiziral leta 1937 skupaj s sodelavci. Leta 1952 pa je poliuretan prešel v komercialno rabo. Poliuretan srečujemo v obliki toplotnih izolacijskih materialov, poliuretanskih (PU) vlaken, PU cevi in pen, delih vodil v pohištveni industriji in še bi lahko naštevali. (Petrič, 2012)

Poliuretanski premazi vsebujejo med 30 % in 60 % suhe snovi. Pri normalnih pogojih poteka sušenje in utrjevanje od 2 uri do 24 ur. Pri povišanju temperature (največ 60 °C do 80 °C) pa se čas utrjevanja skrajša na od 15 min do 60 min. Poznamo več vrst PU lakov. Razlikujejo se po namenu uporabe in kemijski sestavi (Kotnik, 2003).

2.5.1.1 Vrste PU lakov

- izolacijski PU
 - nizko viskozni, brezbarvni,
 - na nekatere vrste lesov jih nanašamo pred nadaljnjo obdelavo s poliestrskimi laki; zagotovijo boljši oprijem.
- brezbarvni PU
 - tvorijo polne filme, zagotavljajo dobro oprijemnost, trajno elastičnost, veliko žilavost, enakomeren sijaj,
 - dobro se brusijo,
 - po trdoti zaostajajo za poliestrskimi laki,
 - najpogosteje jih nanašamo z brizganjem (nanosi med 20 g/m² in 200 g/m²).
- akrilni PU laki
 - od drugih PU lakov se razlikujejo po tem, da namesto alkidnih vsebujejo akrilne smole,
 - zaradi spremenjene kemijske sestave imajo boljši oprijem, elastičnost, izboljšani sta mehanska in kemijska odpornost, svetlobna obstojnost filmov je večja v primerjavi z ostalimi PU laki.

Kot tudi navaja Kotnik (2003), so se PU laki na začetku najbolj uveljavili na italijanskem trgu, ki ga poznamo po kvalitetni površinski obdelavi lesenih izdelkov. Sledil je porast uporabe tovrstnih lakov v ZDA in drugod v Evropi. Poleg dobrih lastnosti, ki jih PU laki zagotavljajo v kombinaciji z UV temelji in PU končnimi laki, le-ti ne zahtevajo posebne opreme za sušenje, so primerni za elektrostatski način nanašanja na podlago in lahko vsebujejo visok delež suhe snovi, kar jih uvršča med ekološko sprejemljivejše sisteme (Kotnik, 2003).

2.6 UTEKOČINJEN LES

Najpogosteje opisana metoda utekočinjenja lesa je utekočinjanje s polihidričnimi alkoholi, in sicer tako, da lesno surovino (sekance ali lesno moko) v določenem času utekočinimo pri visoki temperaturi (npr. pri 150 °C). Kot reagente pri tej metodi uporabljamo polietilen glikol in/ali glicerol, lahko pa tudi najrazličnejše druge poliole. Kot katalizator uporabljamo žveplovo(VI) kislino. Različni raziskovalci so spreminjali pogoje utekočinjanja. Ugotovili so, da je mogoče les utekočiniti tudi pri 250 °C v časovnem intervalu med 15 in 180 minutami z uporabo drugih polihidričnih alkoholov (npr. 1,6-heksandiol in 1,4-butandiol), glicerola ter s hidroksi etri, kot so na primer dieten glikol, trieten glikol in polietilen glikol (Tišler, 2002).

Prevladujoča načina utekočinjenja lesa sta utekočinjenje s fenoli in utekočinjenje s polioli. Utekočinjenje lesa s fenoli uspešno poteka v alkalnem mediju, kjer kot katalizator uporabimo NaOH. Pri tem je pomembno razmerje med količinami lesa, fenola in NaOH. Najboljše lastnosti so dosegli z razmerjem med količino lesa in količino fenola 3:7 pri 5 % deležu NaOH. Druga metoda utekočinjenja s fenoli je z uporabo kislinskih katalizatorjev kot sta H_3PO_4 in H_2SO_4 (Maldas in Shiraishi, 1996).

Negativen pojav pri utekočinjenju lesa je ponovna kondenzacija že razgrajenih komponent lesa, ki poteka predvsem ob uporabi kislinskih katalizatorjev. Izkazalo se je, da je reakcija rekondenzacije značilna za utekočinjenje mešanice celuloze in lignina, ki hkrati predstavljata glavni komponenti lesa, medtem ko pri utekočinjenju same celuloze ali lignina do rekondenzacije ne pride. Domnevno do rekondenzacije pride zaradi medsebojne reakcije med depolimerizirano celulozo in aromatskimi derivati lignina (Kobayashi in sod., 2004).

Rekondenzacija se odraža v večanju deleža ostanka lesa, na podlagi katerega določamo učinkovitost utekočinjenja. Ne glede na to, kakšna je nadaljnja uporaba utekočinjenega lesa, želimo doseči čim večji izkoristek utekočinjenja in s tem čim manjši ostanek. Le-ta je predvsem pomemben, kadar želimo utekočinjen les uporabiti za proizvodnjo poliuretanskih pen, saj je pri tem potrebno morebitni ostanek odstraniti, kar pa vpliva na visoke dodatne stroške. Pri uporabi utekočinjenega lesa za proizvodnjo lepil so manjše količine ostanka lesa dovoljene (Tohmura in sod., 2005).

Poleg utekočinjenja lesa s polioli in fenoli so obravnavali tudi možnost utekočinjenja lesa z ionskimi tekočinami, ki jih lahko dokaj enostavno pridobimo iz številnih anorganskih, organskih in polimernih snovi. Po končani reakciji utekočinjenja jih lahko odstranimo iz utekočinjene mešanice in ponovno uporabimo. Na tak način so utekočinjali les z ionskimi tekočinami na osnovi imidazola in pri temperaturi 120 °C ter času reakcije 25 minut dosegli popolno utekočinjenje lesa (Honglu in Tiejun, 2006). NESKLADNA IMENA V VIRIH

Ena izmed možnosti pri utekočinjenju lesa je tudi segrevanje z uporabo mikrovalovnega sevanja. Na takšen način lahko pri uporabi enostavnih glikolov (propilen glikol, etilen glikol, dietilen glikol) in organskih kislinskih anhidridov (andihrid maleinske kisline, anhidrid ftalne kisline) z dodatkom fosforjeve(V) kisline kot katalizatorja, že v času 20 minut dosežemo popolno utekočinjenje lesa. Z večanjem moči in časa mikrovalovnega sevanja ter z večanjem dodatka fosforjeve(V) kisline se učinkovitost utekočinjenja lesa povečuje (Kržan in Kunaver, 2005).

Poleg utekočinjenja lesa v te namene lahko uporabimo tudi drevesno skorjo. Drevesno skorjo so utekočinjali s fenolom ob uporabi kislinskih katalizatorjev (H_2SO_4 , HCl) ter iz nje izdelali rezolno smolo, katero so uporabili za izdelavo vlaknene plošče. Vlaknena plošča, izdelana iz utekočinjene skorje, z uporabo H_2SO_4 , je imela zelo dobre mehanske lastnosti in sicer visoko upogibno trdnost ter majhen debelinski nabrek (Lee in Liu, 2003).

2.6.1 Poliuretanski premazi iz utekočinjenega lesa

Izvedene so bile tudi raziskave na področju poliuretanskih premazov iz utekočinjenega lesa. V kombinaciji polietilen glikola s povprečno molekulsko maso 400 (PEG 400) in glicerola (G) so utekočinjali les *Cryptomeria japonica*. Razmerje med reaktanti G:PEG: H_2SO_4 je bilo 10:90:3 pri čemer je reakcija potekala 75 min pri temperaturi 150 °C. PU-filme so pripravili tako, da so utekočinjen les raztopili v diklorometanu, ki so mu dodali metilen difenil diizocianat (PMDI). Ugotovitve so pokazale, da je UL prispeval k večji togosti PU-filma.

Jan (2013) je naredil raziskavo na osnovi utekočinjene skorje smreke tudi v kombinaciji med polietilen glikolom in glicerolom z razmerjem 80:20 in dodatkom 3 %. Postopek je trajal 2 uri pri temperaturi 160 °C. Ugotovljeno je bilo, da je v poliuretanskem premazu delež skorje med 8 % in 17 % in bi bilo potrebno narediti dodatne raziskave.

3 MATERIALI IN METODE

3.1 UTEKOČINJANJE LESA

Utekočinjen les smo pripravili iz smrekovega lesa (*Picea abies* Karst.) s postopkom solvolize. Smrekov les smo zmleli z mlinom za les (Slika 5). 100 g zmlete smrekovine (Slika 6) smo vsuli v reaktorsko posodo, ter dodali topili in katalizator. Topili sta bili glicerol in etilen glikol, kot katalizator pa smo uporabili žveplovo(VI) kislino. Masno razmerje med topili in lesom je bilo 3 : 1, tako da je bila masa topil 300 g. Delež katalizatorja, torej žveplovo(VI) kisline je bil 3 % glede na maso topila, kar je znašalo 9 g. Kislina depolimerizira lesne polimere, kar vpliva na reološke lastnosti materiala. Na viskoznost utekočinjenega lesa vpliva velikost delcev in sicer manjši kot so delci, manjša je viskoznost zmesi. Celoten postopek utekočinjanja je trajal 120 min pri temperaturi 180 °C.



Slika 5: Mlin za mletje lesa



Slika 6: Lesni prah oz. drobni sekanci

Po končanem postopku smo dobili tekoči produkt, ki smo ga raztopili v zmesi destilirane vode in dioksana (Slika 8), ki smo ga prefiltrirali s pomočjo črpalke in filtrirnem papirjem (Slika 9) granulacije 84 g/m^2 . Na filtrirnem papirju so ostale netopne snovi (Slika 10) ki smo jih sušili 25 ur pri temperaturi $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ in stehali. Te snovi so predstavljale suhi ostanek oz. predstavljajo neutekočinjen les. Iz količine suhega ostanka lahko izračunamo delež utekočinjenja, ki nam pove, koliko lesa se je med kemijsko reakcijo dejansko utekočinilo. Suhi ostanek smo stehali in na osnovi te mase izračunali delež utekočinjenja (DUL, enačba 1).



Slika 7: Črpalka za filtriranje utekočinjenega lesa



Slika 8: Filtriranje produkta



Slika 9: Filtrirni papir



Slika 10: Netopne snovi na filtrirnem papirju

Delež utekočinjenja smo izračunali po enačbi (1):

$$DUL = \left(1 - \left(\frac{W_1 - W_2}{W_3} \right) \right) \times 100\% \quad \dots(1)$$

DUL.....delež utekočinjenja [%]

W₁.....masa suhega ostanka [g]

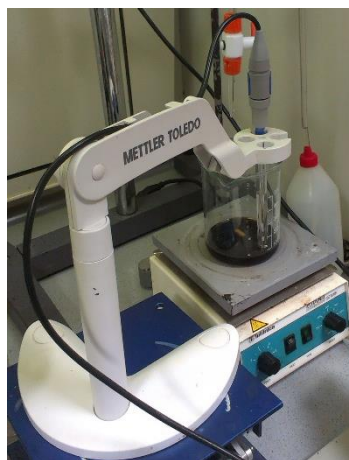
W₂.....masa filtrirnega papirja [g]

W₃.....masa lesa [g]

Topna faza oziroma snovi, ki so topne, so stekle v čašo. Ker je tekoča oziroma topna faza vsebovala topila, smo le-te morali odpraviti. Nezreagirana topila, katera so ostala v zmesi, smo odstranili z rotavapiranjem (Slika 11). Po končanem rotavapiranju oz. odstranitvi topil, je bilo potrebno še uravnati vrednost pH in sicer na 3,5 in določiti –OH-število (Slika 12).



Slika 11: Rotavapiranje oz. odparjevanje nezreagiranih topil



Slika 12: Merjenje vrednosti pH

3.1.1 Reagenta

I. Reagent 1: GLICEROL

Glicerol (Slika 13) je najpreprostejši trivalentni alkohol. Je zelo viskozna snov, ki je sladkega okusa in brez barve ter vonja. Je higroskopska tekočina. Najdemo ga kot sestavni del rastlinskih in živalskih maščob ter nastaja kot stranski produkt pri reakciji umiljenja le-teh. Sintetizirajo ga iz propena s kloriranjem in hidrolizo nastalega produkta. Po kemijskih lastnostih je podoben drugim alifatskim alkoholom. Uporablja se kot sestavina zavornih tekočin, hladilnih tekočin, kot sredstvo za ohranjanje vlažnosti v živilski in kozmetični industriji itd. Prav tako je pomembna surovina pri proizvodnji plastičnih mas (Leksikon kemija, 2004).



Slika 13: Glicerol v steklenici

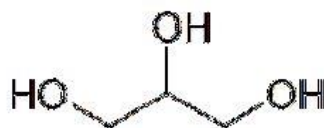
Proizvajalec: Carlo Erba Reagents S.r.l, Italija

Formula: $C_3H_8O_3$

Agregatno stanje: tekoče

Gostota: $1,25 \text{ g/cm}^3$ pri 20°C

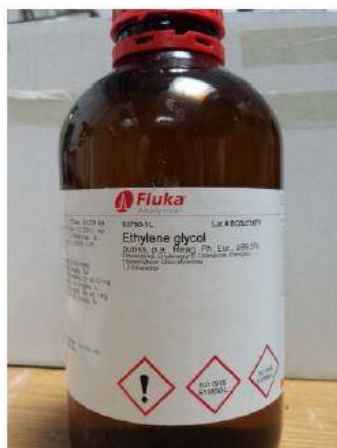
CAS št.: 56-81-5



Slika 14: Strukturna formula glicerola (Leksikon kemija, 2004)

II. Reagent 2: ETILEN GLIKOL

Etilen (Slika 15) glikol lahko uporabljamo kot nadomestek za glicerol. Je brezbarvna tekočina in je strupena. Vrelišče ima pri 197,8 °C. Gostota pri 20 °C znaša 1,12 g/cm³. Uporablja se kot surovina za pridobivanje estrov in etrov, itd. (Leksikon kemija, 2001).



Slika 15: Etilen glikol v steklenici

Proizvajalec: Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Riedstrasse 2, D-89555 Steinheim, Nemčija

Formula: C₂H₆O₂

Agregatno stanje: tekoče

Tališče: -13 °C

Molekulska masa: 62,07 g/mol

CAS št.: 107-21-1



Slika 16: Strukturna formula etilen glikola (Leksikon kemija, 2004)

3.1.2 Katalizator

Žveplova kislina, oz. žveplova(VI) kislina (Slika 17), je zelo korozivna močna mineralna kislina. Je brezbarvna ali rahlo rumena viskozna, ki se pri vseh koncentracijah popolnoma topi v vodi.

Je diprotična kislina, ki ima pri različnih koncentracijah različne lastnosti. Najedanje kovin, kamnin, kože, tkiv in drugih snovi lahko pripišemo predvsem njenim močno kislim lastnostim, pri visokih koncentracijah pa pridejo do izraza tudi njene dehidracijske in oksidacijske lastnosti. Je higroskopna in veže vlago iz zraka.

Zaradi tako različnih kemijskih lastnosti ima zelo široko področje uporabe, na primer kot elektrolit v svinčevih akumulatorjih, sredstvo za rafiniranje mineralnih olj in obdelavo odpadnih voda, v proizvodnji umetnih gnojil, in eksplozivov, kemijskih sintezah in v raznih čistilih za industrijsko in domačo rabo.



Slika 17: Žveplova(VI) kislina v reagenčni steklenici

Proizvajalec: Kemika d.d., Heinzlova 53, Zagreb, Hrvaška

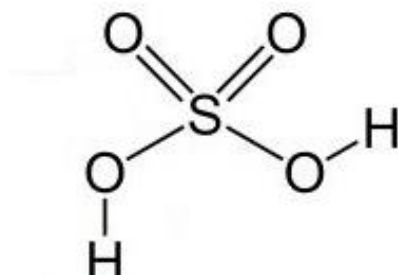
Formula: H_2SO_4

Agregatno stanje: tekoče

Tališče: -14°C

Gostota: $1,84\text{ g/cm}^3$ pri 20°C

CAS št.: 7664-93-9



Slika 18: Strukturna formula žveplove(VI) kisline(Leksikon kemija, 2004)

3.1.3 Izocianat

DESMODUR 75

Proizvajalec: Bayer MaterialScience LLC, 100 Bayer Road, Pittsburgh, PA 15205-9741,
ZDA (Bayer, 2010)

Gostota: pribl. 1,17 g/mL pri 20 ° C

Viskoznost: 1,600 mPa·s ± 400 mPa·s

CAS št.: 9081-90-7

3.1.4 Določitev hidroksilnega in kislinskega števila

3.1.4.1 Hidroksilno število

Za pripravo premaznega sredstva iz utekočinjenega lesa smo utekočinjenemu lesu določili hidroksilno število (OH), da smo lahko izračunati količino izocianata, ki ga je bilo potrebno dodati. Potrebovali smo: vodo, 0,5 M raztopino NaOH in raztopino fenolftaleina v piridinu. V erlenmajerico smo tako natehtali med 0,5 g in 1,0 g utekočinjenega lesa, ter dodali 25 mL reagenta, da smo raztopili utekočinjen les.

Z dodajanjem raztopine NaOH utekočinjenemu lesu in fenolftaleina v piridinu in destilirani vodi, se je spremenila barva. Hidroksilno število smo tako izračunali glede na porabljen volumen NaOH.

Istočasno smo pripravili tudi tako imenovani slepi vzorec, ki je vseboval samo reagent.

Opisanemu postopku je sledila titracija, s katero smo dobili podatke, ki smo jih potrebovali za izračun hidroksilnega števila (enačba 2).

$$OH = \frac{(B-A) \times M \times 56,1}{m} + AN \quad \dots(2)$$

OH.....hidroksilno število [mg KOH/g]

B.....volumen porabljenega NaOH za slepi vzorec [mL]

A.....volumen porabljenega NaOH za vzorec utekočinjenega lesa [mL]

M.....molarost NaOH [mol/L]

m.....masa vzorca utekočinjenega lesa [g]

AN.....kislinsko število [mg KOH/g]

3.1.4.2 Kislinsko število

Pri postopku za določitev hidroksilnega števila smo pripravili tudi vzorec utekočinjenega lesa, ter slepega vzorca, ki smo ju titrirali z 0,1 M raztopino kalijevega hidroksida (KOH) v etanolu. Pri postopku smo opazovali, pri kolikšnem volumnu dodane raztopine KOH v etanolu bo prišlo do spremembe barve vzorcev, oziroma bo vrednost pH znašala 8,5. Podatke smo vstavili v enačbo (enačba 3) in izračunali kislinsko število.

Z izračunom kislinskega števila, smo ugotovili, koliko je prostih karboksilnih skupin v enem gramu vzorca.

$$AN = \frac{(C-B) \times M \times 56,1}{m} \quad \dots(3)$$

AN.....kislinsko število [mg KOH/g]

C.....volumen porabljenega KOH za vzorec utekočinjenega lesa [mL]

B.....volumen porabljenega KOH za slepi vzorec [mL]

M.....molarlost KOH [mol/L]

m.....masa vzorca utekočinjenega lesa [g]

3.1.5 Izdelava poliuretanskega premaza iz utekočinjenega lesa

Za izdelavo poliuretanskega premaza iz utekočinjenega lesa smo morali poznati razmerje med količino izocianatnega utrjevalca in količino utekočinjenega lesa, ki smo ga izračunali osnovi hidroksilnega števila. Izračun hidroksilnega števila je opisan v poglavju 3.1.4.1, v tem poglavju pa je naveden izračun potrebnega razmerja med izocianatnim utrjevalcem in utekočinjenim lesom (enačbe 4, 5, 6).

$$x_1 = \frac{OH}{1000 \times M_{KOH}} \quad \dots(4)$$

$$x_2 = \frac{D_{iz}}{x_1} \quad \dots(5)$$

$$IZ = \frac{100g}{1 \times x_2} \quad \dots(6)$$

x_1število molov OH skupin v 1 g utekočinjenega lesa [mol]

x_2razmerje med deležem izocianata in številu molov OH skupin v UL [/]

IZ.....količina izocianata za pripravo 100 g premaza iz utekočinjenega lesa [g]

OH.....hidroksilno število [mg KOH/g]

M_{KOH}molekulska masa KOH [g/mol]

D_{iz}delež izocianatnih skupin v 1 g utrjevalca [/]

3.2 PREMAZI IN TEKOČINE, KI SMO JIH UPORABILI PRI PREIZKUSIH

3.2.1 Voda

Vodo smo pri vseh meritvah in testiranjih uporabili kot testno kontrolno tekočino. Z njo smo izvedli meritve pred meritvami z drugimi premazi, ker se interakcije lesa z vodo najbolj raziskane.

3.2.2 Olje za les

Olje za les Belinka Belles d.o.o. (Slika 19) uporabljamo za impregnacijo in vzdrževanje masivnih ter furniranih lesenih površin, ki so namenjene pripravi hrane (kuhinjski pulti, mize, servirni vozički, ipd.), kar potrjuje tudi certifikat IOS-PRG-0021. Impregnacija se globoko vpije v les in naredi površino ne vpojno za vodo.

Olje Belinka za les v stiku z živili uporabimo tudi kot impregnacijski temelj pri prvi obdelavi lesa z oljem za les Belinka z dodanimi voski (Belinka, 2012).

Površine, premazane z oljem Belinka za les v stiku z živili, negujemo z istim izdelkom. Interval potrebne nege je odvisen od vrste lesa, mehanskih obremenitev in izpostavljenosti vlagi. Kuhinjske elemente, ki so pogosto izpostavljeni vlagi, je treba negovati pogosteje.



Slika 19: Olje za les interior

3.2.3 Akrilni vodni lak AMAL

AMAL 3020 (Slika 20) je brezbarvni, okolju prijazen in neškodljiv lak na akrilni osnovi, ki ga redčimo z vodo. Uporabljamo ga za zaščito lesenih površin pohištva, vrat, lesenih stenskih in neobremenjenih talnih oblog. Na prostem ga lahko uporabimo za dodatno zaščito že barvanih površin. Lak je paropropusten, pa vendar dobro odporen proti vodi in vremenskim vplivom. Ima veliko odpornost proti obrabi in razenju. Zaščitni premaz po daljšem času ne porumeni, ker je odporen proti ultra vijoličnemu sevanju. Po premazovanju z lakom les obdrži svojo osnovno barvo. Amal 3020 je svilen sijajni lak (Amal, 2016).

Proizvajalec: AMAL d.o.o.



Slika 20: Akrilni vodni lak AMAL

3.2.4 Poliuretanski lak AMAL z redčilom

AMAL 4001 in 4002 (Slika 21) je brezbarvni poliuretanski lak na osnovi topil in je primeren za vse notranje lesene površine. Primeren je za parket, pluto, stavbno pohištvo, vrtno pohištvo, in vse ostale lesene površine. Lak je enostaven za nanašanje, nudi dobro pokrivnost, je visoko elastičen, odporen proti razenju, obrabi in blagim čistilnim sredstvom, ki jih uporabljamo v gospodinjstvih. Površina po lakiranju je trdna. V utrjenem stanju je fiziološko nevtralen in higiensko neoporečen .

AMAL 1030 je visoko kvalitetno razredčilo, ki ga uporabljamo za redčenje lakov AMAL PU kot so AMAL 4001, AMAL 4002, AMAL 5001 in AMAL 5002. Prav tako ga uporabljamo za redčenje lakov drugih znamk, na osnovi sintetičnih smol. Namenjeno je tudi za čiščenje delovnega orodja (Amal, 2016).

Proizvajalec: AMAL d.o.o., Koprška 72a, SI-1000 Ljubljana



Slika 21: Poliuretanski lak AMAL

3.2.5 Utekočinjen les

Kot premaz smo pri preskusih uporabili tudi utekočinjen les (Slika 22), katerega izdelava je opisana v poglavju 3.1.



Slika 22: Utekočinjen les

3.2.6 Premaz iz utekočinjenega lesa

Poliuretanski premaz iz utekočinjenega lesa smo pripravili sami. Utekočinjenemu lesu smo dodali PU redčilo in sredstvo za utrjevanje DESMODUR L 75 (Slika 23), postopek izdelave pa je opisan v poglavju 3.1.5.



Slika 23: Priprava premaza iz utekočinjenega lesa (levo), PU redčilo (sredina) in DESMODUR L 75 (desno)

3.3 NAVZEM

Navzem predstavlja količino kemičnega sredstva, ki ga vnesemo v les pri postopku zaščite. Običajno je izražen z maso sredstva na enoto prostornine lesa (npr. kg/m^3), lahko pa tudi z maso sredstva na enoto površine (npr. g/m^2) ali v obliki prostornine sredstva na enoto prostornine lesa (npr. L/m^3). V nekaterih primerih je navzem smiselno podati v obliki relativnega povečanja mase vzorca glede na začetno maso.

Ločiti je potrebno med tim. mokrim in suhim navzemom. Mokri navzem izraža celotno količino vnesenega pripravka (celotna suha snov s topilom in redčilom vred), s suhim navzemom pa podajamo količino vnesene suhe snovi. V laboratoriju določamo mokre navzeme s tehtanjem vzorcev pred postopkom impregnacije in po njem. S tehtanjem lahko določamo tudi suhe navzeme: počakamo da tekoča faza izhlapi, razlika v masah pa predstavlja količino vnesene suhe snovi. Ob tem je potrebno paziti, da je vlažnost lesa pri obeh meritvah enaka. (Rep, 2008).

3.3.1 Vzorci za določanje navzema

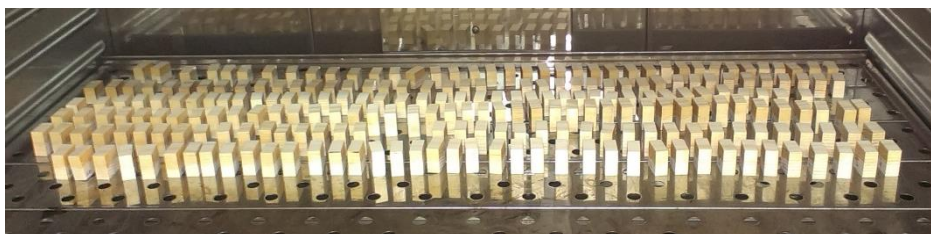
Za raziskave smo uporabili vzorce smrekovine (*Picea abies*) in borovine (*Pinus sylvestris*). Raziskave smo opravljali na normalnih vzorcih in na vzorcih, ki so bili predhodno površinsko zgoščeni s postopkom OWRK (Owens Wendr Rabel in Kaelble metoda). Vzorci začetne debeline 22 mm so bili zgoščeni na ciljno debelino 15 mm in obdelana s temperaturo 200 °C ob prisotnosti pare.

Vzorci smo narezali na dimenzije: dolžina 30 mm, širina 30 mm in debelina 10 mm. Pri tem smo pazili, da so bili vzorci orientirani čim bolj radialno, aksialno in tangencialno (Slika 24). Vzorci smo obrusili z zelo finim brusnim papirjem granulacije 600, da smo odstranili morebitno umazanijo. Vse izbrane vzorce smo tudi oštevilčili z oznakami S1 do S10 za smrekovino, SZ1 do SZ10 za zgoščeno smrekovino, B1 do B10 za borovino in BZ1 do BZ10 za zgoščeno borovino. Za vsako vrsto in stanje vzorcev oziroma lesa smo pripravili 6 krat po 10 preskušancev. Skupaj smo tako pripravili 240 vzorcev.

Opisane vzorce smo najprej sušili v sušilni komori pri temperaturi $(103 \pm 1) ^\circ\text{C}$ in 24 ur do 0 % lesne vlažnosti (absolutno suho stanje) (Slika 25). Sledilo je uravnovešanje vzorcev na ravnovesno vlažnost pri konstantni relativni zračni vlažnosti 65 %, pri 20 °C.



Slika 24: Vzorci za določitev navzema



Slika 25: Vzorci v sušilni komori, kjer so se sušili in uravnovešali

3.3.2 Določitev navzema premaznega sredstva s tenziometrom

Pripravljenim vzorcem smo na radialni strani začrtali sredino, kamor smo zabili žebliček, ki je moral biti postavljen čim bolj pravokotno na ploskev. Pri tem smo pazili, da lica nismo prijemali z rokami in onesnažili. Tako pripravljene vzorce smo vpeli v tenziometer, pri tem pa smo pazili, da sta spodnja ploskev vzorca in gladina premaznega sredstva bili čim bolj vzporedni. V čašah tenziometra (Slika 26) smo pripravili premazna sredstva, ki smo jih obravnavali v raziskavi.

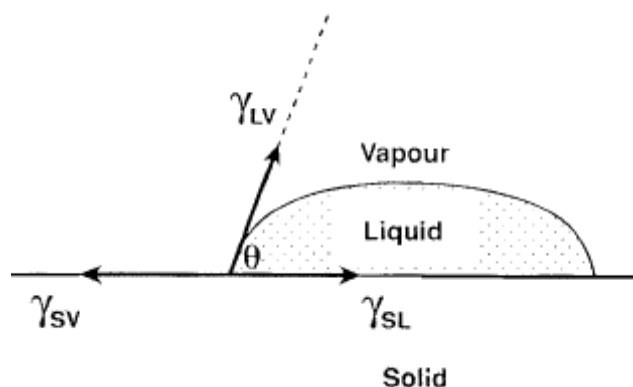


Slika 26: Tenziometer Krüss K100

Nato smo začeli z meritvami. Mizica s premaznim sredstvom se počasi dviguje do točke, ko se gladina sredstva in površina vzorca stakneta. Ob stiku se prične meritev, ki traja 200 s. Vsaki 2 s se računalniško odčita teža vzorca, ki je vpet na tehtnico v tenziometru. Torej pridobimo po 100 meritev za posamezni vzorec. Skupaj smo imeli 240 vzorcev, tako da smo s tenziometrom izvedli 24000 meritev. Rezultate smo obdelali s programom MS Excel®, pri čemer smo za prikaz rezultatov v grafih v tej nalogi-le strnili v povprečja.

3.4 STIČNI KOT (KOT OMOČITVE)

Stični ali stični kot oz. kot omočitve je eden od najpomembnejših parametrov, ki pove kako tekočina oz. premaz omaka podlago (Slika 27).



Slika 27: Stični kot tekočine in podlage (Petrič, 2012)

Za idealno podlago velja, da je stični kot tekočine na tej podlagi odvisen od površinske napetosti tekočine, površinske energije podlage in medfazne napetosti na stiku tekočine s trdno podlago. Zvezo opisuje Youngova enačba (enačba 7):

$$\gamma_{SV} = \gamma_{LV} \times \cos \vartheta + \gamma_{SL} \quad \dots(7)$$

$$\cos \vartheta = \frac{\gamma_{SV} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LV}} \quad \dots(8)$$

Kjer je:

γ_{SV} površinska energija podlage [$\frac{N}{m}$]

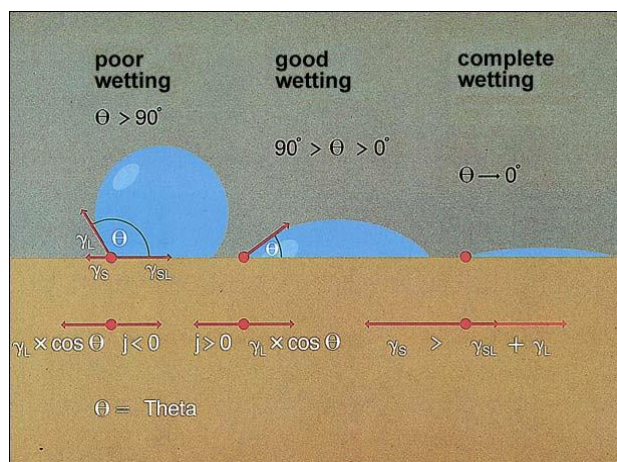
γ_{LV} površinska napetost tekočine [$\frac{N}{m}$]

γ_{SL} medfazna napetost [$\frac{N}{m}$]

Nizka površinska napetost premaza pomeni, da bo kot omočitve majhen oz. da bo premaz dobro omakal podlago. Po drugi strani pa tekočine z visoko površinsko napetostjo podlago slabše omakajo. Površinsko napetost učinkovito zmanjšamo že z zelo majhnim deležem površinsko aktivnih snovi (surfaktantov).

Na kot omočitve po Youngovi enačbi vpliva tudi površinska energija podlage. Pri dani vrsti lesa nanjo ne moremo vplivati, razen s posebnimi postopki (npr. z modifikacijo lesa, obdelavo površine s plazmo, ipd.)

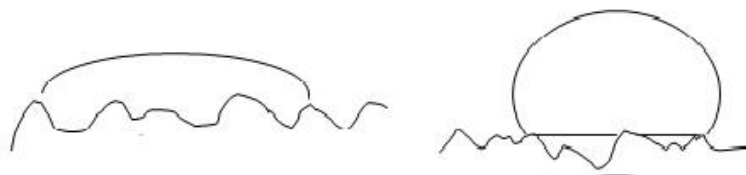
Poudariti je potrebno, da Youngova enačba velja za idealne, to je homogene in popolnoma gladke podlage (Slika 28). Sistem premaz – les je zelo daleč od idealnih pogojev. Les je heterogen, neenakomerne kemijske sestave, podlaga je hrapava zaradi strukturnih značilnosti kakor tudi zaradi predhodnih postopkov mehanske obdelave (npr. brušenja) ipd.



Slika 28: Stični kot: slabo omakanje (levo), dobro omakanje (sredina), popolno omakanje (desno) (Petrič, 2012)

Le z dobro omočitvijo podlage lahko zagotovimo dober stik po celotni obdelani površini oz. dobro zalivanje por. To pa je pomembno zaradi zagotovitve dovolj dobre oprijemnosti (oprijemljivosti) utrjenega premaza.

Na Slika 29 je na levi strani prikazano dobro omakanje podlage in med lesom in premazom ni ujetih mehurčkov zraka. Nasprotno je na desni strani, kjer so se pod premaz zaradi slabe omočitve ujeli mehurčki (Slika 29). Velikost stične površine med lakom in lesom je v tem primeru manjša, zato bo po utrditvi filma adhezija (oprijemnost) slabša.



Slika 29: Omočitev glede na površino (Petrič, 2012)

Omočitev lesa z lakom je dinamičen proces. Ves čas odparevajo hlapne substance, zato se viskoznost premaza spreminja, poteka pa tudi penetracija (prodor) premaza v podlago.

V sistemu les-premaz na stični kot vplivajo:

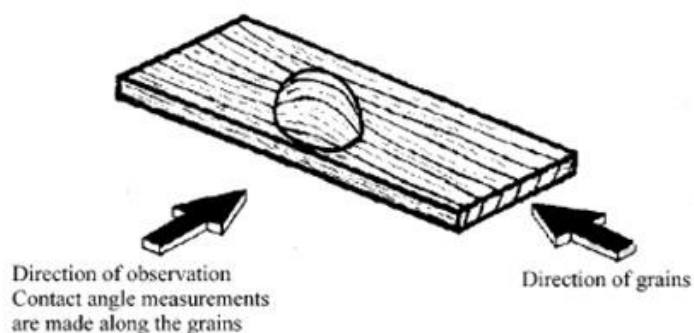
Pri premazu:

- viskoznost
- delež suhe snovi
- temperatura
- aditivi

Pri lesu:

- hrapavost
- smer vlaken
- temperatura površine
- predhodna kemična ali toplotna obdelava

Stični kot najpogosteje merimo s kapljično metodo (fotografija in analiza oblike in dimenzije kapljice) (Slika 30).



Slika 30: Kapljična metoda merjenja stičnega kota (Petrič, 2012)

Za določanje stičnega kota smo uporabili tako imenovano metodo s kapljico (*sessile drop method*, Slika 30). Ta metoda predvideva, da je oblika, ki jo kapljica do velikosti 5 µm zavzame na podlagi, del sfere. Tako lahko z merjenjem višine kapljice in širine meje med substratom in tekočino izračunamo stični kot med tekočino in podlago (enačba 9).

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{2h}{d} \quad \dots(9)$$

Kjer je:

θ stični kot [°]

d širina meje med substratom in tekočino [mm]

h višina kapljice [mm]

Če je stični kot manjši od 90 °, kapljica, kljub temu da miruje, spreminja svoje dimenzije zaradi penetracije v les in razlivanja. Zato se kapljici tudi spreminja stični kot. Zaradi tega pojava se moramo pravilno odločiti kdaj pričeti z meritvami. Največkrat se stični kot meri po 3 do 5 sekundah, medtem ko nekateri priporočajo merjenje v prvi sekundi (Pavlič, 2009).

3.4.1 Vzorci za določanje stičnega kota

Pri določanju stičnega kota smo morali pripraviti vzorce drugačnih velikosti, ker morajo biti ploskve, kjer se opravlja meritev čimbolj tangencialne. Zato morajo biti pravilno orientirani radialno, aksialno in tangencialno (Slika 31), dimenzij debeline 10 mm, dolžine 100 mm in širine 50 mm, da se vzorec lažje nastavi v čim boljši položaj. Vzorce smo obrusili z zelo finim brusnim papirjem granulacije 600, da smo odstranili morebitno umazanijo maščobo ali morebitne poškodbe. Vse vzorce smo tudi označili: S1 do S10, za smrekovino, SZ1 do SZ10 za zgoščeno smrekovino, B1 do B10 za borovino in BZ1 do BZ10 za zgoščeno borovino, prav tako kot pri vzorcih, katere smo uporabili za določanje navzema. Za vsako vrsto in stanje lesa smo imeli po 10 preskušancev, torej skupno 40 vzorcev. Na vsakem vzorcu smo naredili po eno meritev vsakega premaznega sredstva, torej po 10 meritev za vsako premazno sredstvo.

Vzorci smo zložili v sušilno komoro (Slika 32), kjer smo jih pri temperaturi $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ in v času 24 ur osušili do absolutno suhega stanja in jih uravnovesili na ravnovesno vlažnost 65 %, pri $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Slika 31: Vzorci lesa bora in smreke, pripravljeni za določanje stičnega kota



Slika 32: Sušilna komora

Vsak posamezni vzorec smo postavili na stojalo, in stojalo nastavili tako, da se je na ekranu videlo del čela. Ko je bilo stojalo z vzorcem nastavljeno, smo na drugo stojalo vpeli inekcijo z premaznim sredstvom in jo prav tako uravnali, da se je videla le konica igle. Potem smo pričeli s snemanjem videa s pomočjo stereomikroskopa Olympus SZH (Slika 33) in previdno iztisnili kapljico premaznega sredstva na vzorec. Po 30-60 s smo video zaključili in meritve nadaljevali tako da smo z računalniškim programom posnetek kapljice nastavili na trenutek

ko se je kapljica dotaknila vzorca in prevrteli na 5 s. To je trenutek, ko smo izmerili dimenzije kapljice s pomočjo zajema slike in merila. Mere kapljice smo vnesli v enačbo (9) in izračunali stični kot.



Slika 33: Stereomikroskop Olympus SZH z računalniškim zajemom slike stičnega kota

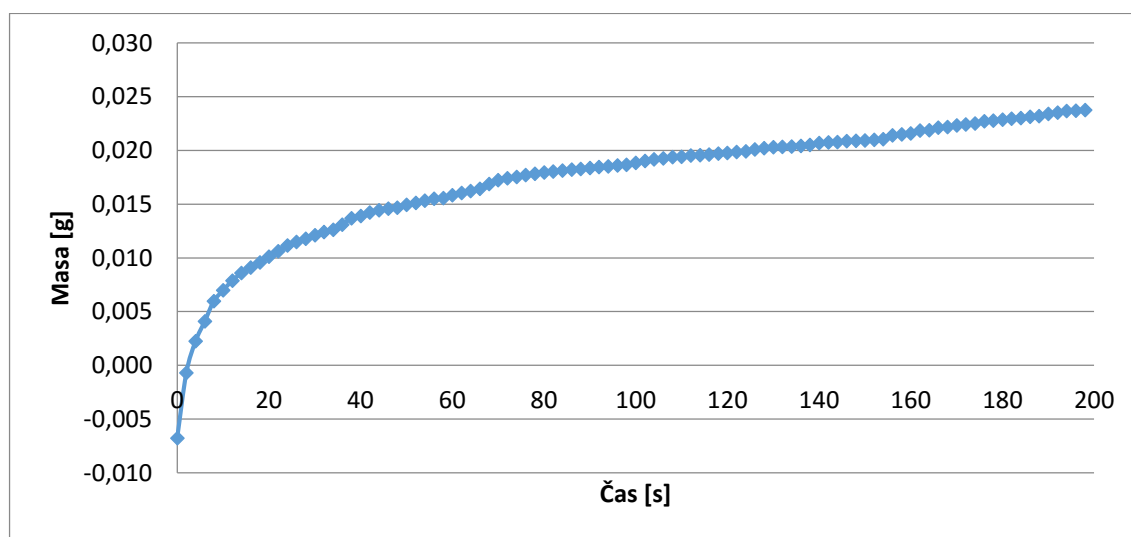
4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 NAVZEM

4.1.1 Navzem vode

4.1.1.1 Nezgoščena smrekovina

Pri smrekovini vidimo, da je navzem vode v času 200 s (po približno treh minutah) znašal 0,024 g kar pomeni, da se je vzorcem v povprečju masa povečala za 0,024 g. Kot vidimo iz grafikona (Slika 34) je bilo v prvih 20 sekundah vpijanje vode zelo intenzivno, s strmim naraščanjem krivulje v območju navzema od 0 g do 0,010 g. Nato je bilo naraščanje mase vzorcev zaradi navzema vode bolj umirjeno in se je masa vzorcev le počasi zviševala. Od 0,01 po 20 sekundah, se je v naslednjih 180 s masa povečala za 0,014g.

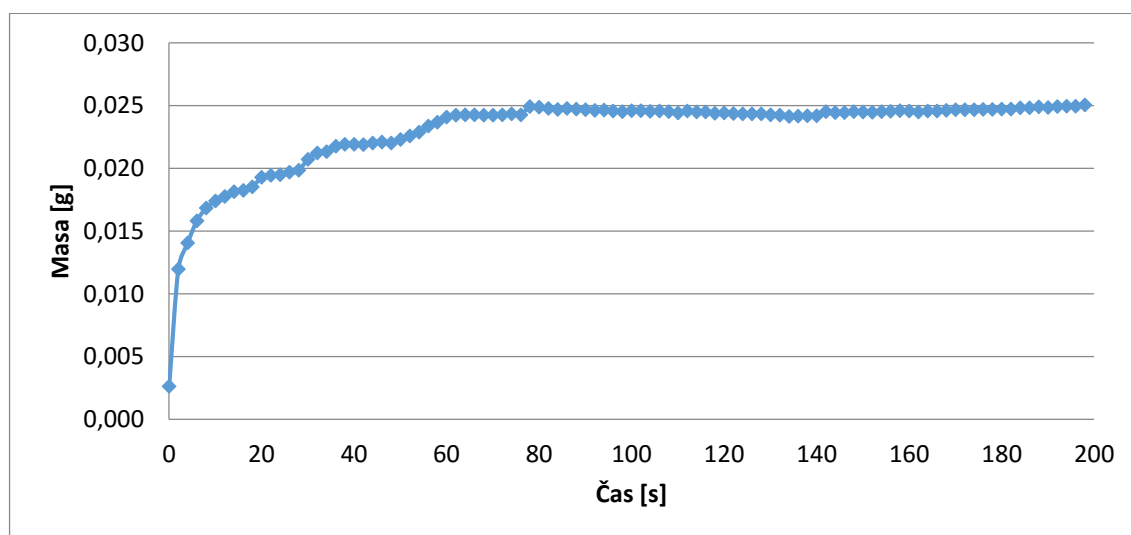


Slika 34: Dinamika navzema vode v nezgoščeno smrekovino

4.1.1.2 Zgoščena smrekovina

Vpijanje vode (navzem) v zgoščeno smrekovino je bil povsem podoben tistemu v nezgoščeno smrekovino. Pri tem primeru iz grafikona na Slika 35 vidimo, da je povprečni navzem vode znašal 0,025 g. Od te točke naprej pa navzem ni več naraščal, za razliko od nezgoščene smrekovine, kjer je iz krivulje na Slika 34 razvidno, da se je vpijanje vode v les najverjetneje nadaljevalo tudi še po koncu meritve.

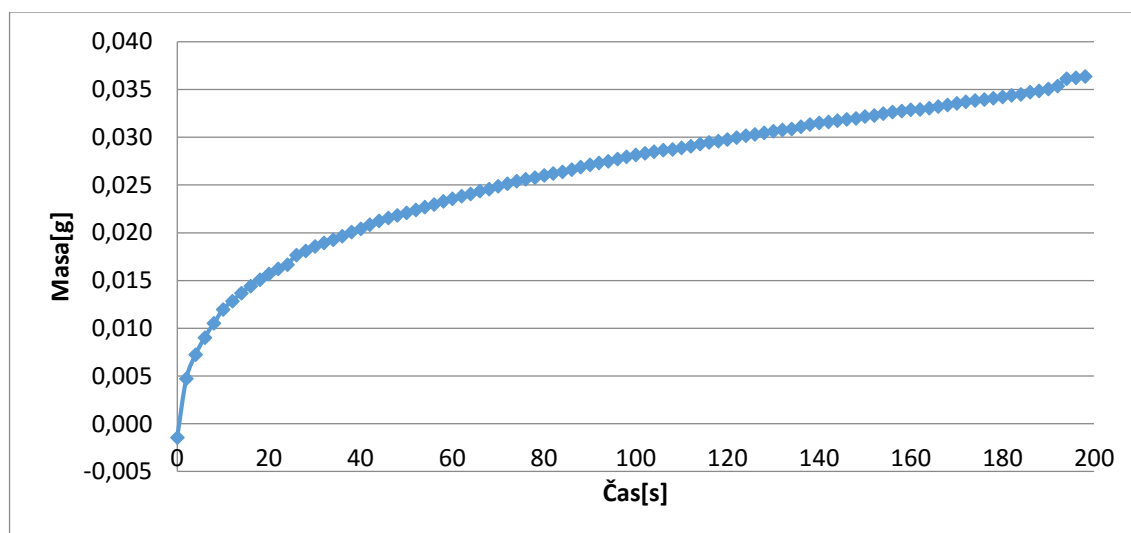
Pri zgoščeni smrekovini je navzem vode v 10 sekundah znašal kar 0,015 g. V tem času je bilo vpijanje vode tudi najintenzivnejše. Nato pa se je v naslednjih 50 sekundah konstantno povečeval do 0,025 g. Od te točke pa vse do 200 s pa vzorci praktično niso več vpijali vode in je masa navzete vode ostala pri 0,025 g.



Slika 35: Diagram navzema vode v zgoščeno smrekovino

4.1.1.3 Nezgoščena borovina

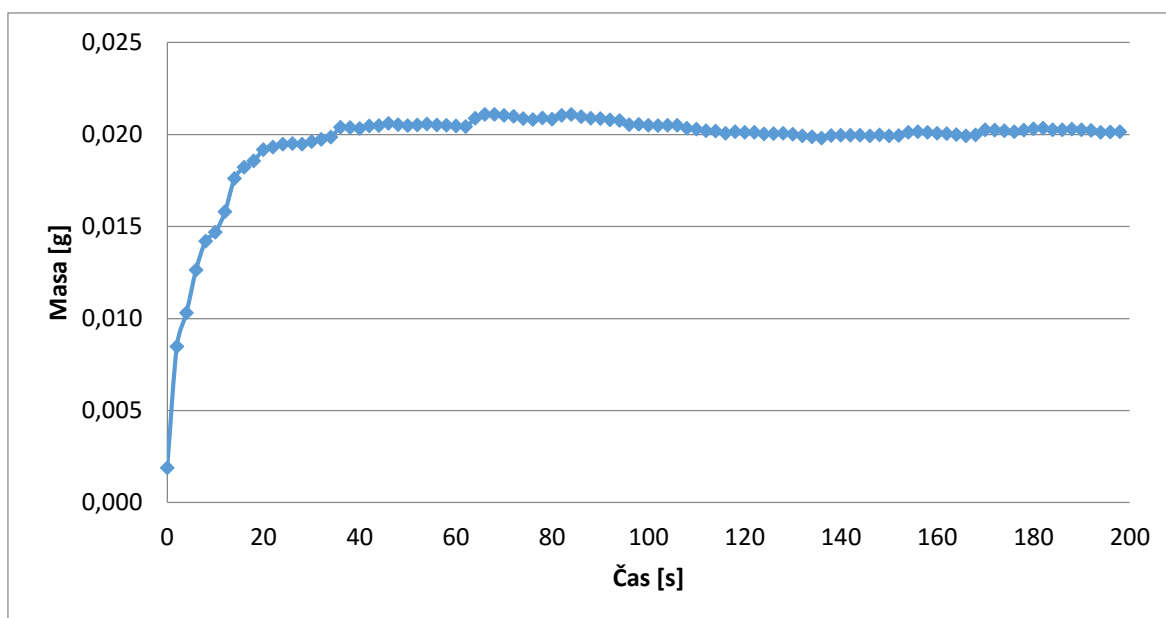
Pri borovini smo zaznali večji navzem kot pri smrekovini, saj vidimo, da je bila masa vpite vode po 200 sekundah 0,036 g. To je bilo pričakovano, saj je znano, da je smrekovina zaradi anatomskih posebnosti bistveno slabše impregnabilna od borovine. V suh les iglavcev proces prodiranja zaščitnega sredstva vanj otežuje aspiracija pikenjskih membran in nalaganja ekstraktivnih snovi na membrane pikenj kot so lipidi, voski in pa predvsem pri smreki – smole (Thaler, 2010). Iz grafikona na Slika 36 vidimo, da je bilo vpijanje vode prvih 10 s najhitrejše, saj je bila masa vpite vode po 10 s že 0,012 g. Nato pa se je naslednjih 180 s vpijanje vode konstantno nadaljevalo, z bolj umirjeno dinamiko.



Slika 36: Dinamika vpijanja vode v nezgoščeno borovino

4.1.1.4 Zgoščena borovina

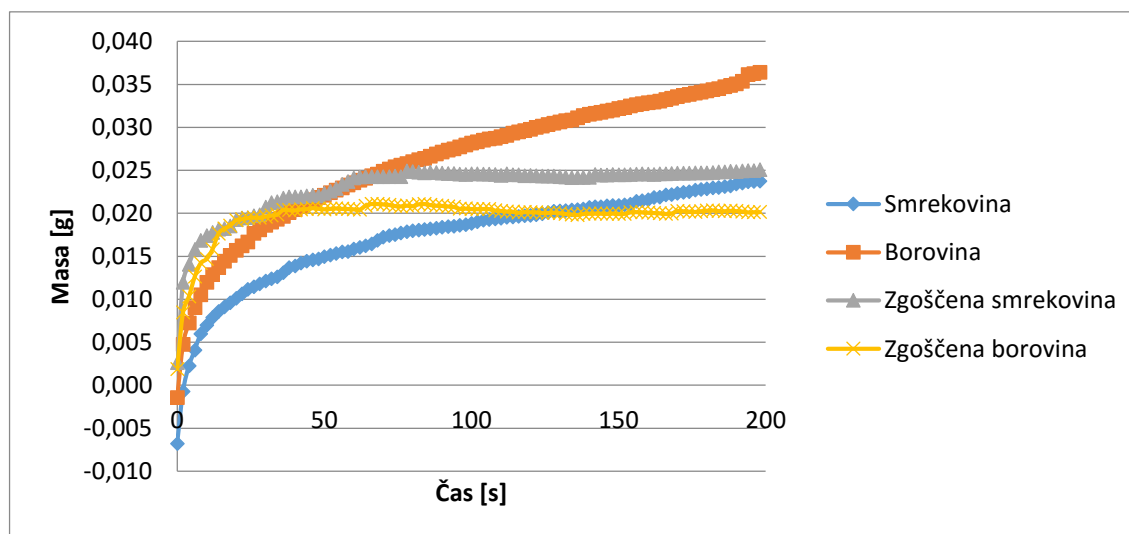
Pri zgoščeni borovini smo določili manjši navzem vode v primerjavi z navzemom v nezgoščen borov les (skupno okrog 0,020 g, v primerjavi z navzemom 0,036 g pri nezgoščenem lesu). Na Slika 37 vidimo, da je bil v prvih 20 sekundah navzem najhitrejši in sicer je v tem času dosegel vrednost 0,019 g. Nato se je vpijanje vode nadaljevalo do 81 s, ko je navzem dosegel vrednost 0,021 g. Od tega časa pa do konca testa po 200 s dodatnega vpijanja vode ni bilo več, kar pomeni da se masa ni spremenila, oziroma da se masa vzorcev ni več povečevala.



Slika 37: Diagram navzema vode v zgoščeno borovino.

4.1.1.5 Primerjava navzema vode

Iz diagrama povprečnih navzemov (Slika 37Slika 38) vseh vzorcev vidimo, da je največ vode navzela nezgoščena borovina. To smo tudi pričakovali, saj je smrekovina slabše impregnabilna (Thaler, 2010). Vendar se je v našem preizkusu izkazalo, da je bila za impregnacijo z vodo najbolj težavna zgoščena borovina. To lahko razložimo tako, da ima verjetno zgoščena borovina najbolj deformirane celice in zaradi tega najbolj zaprto površino, prek katere impregnacijska tekočina težko prodira. Pri zgoščeni in nezgoščeni smrekovini pa smo po 200 sekundah ugotovili skoraj identični navzem vode. Razlika pa je v tem, da je zgoščen smrekov les v zadnjih 120 s vpil 0 g vode, kar smo opazili tudi pri zgoščeni borovini. Zato lahko rečemo, da ima zgoščen les nekje svoj maksimum navzema vode (smrekovina 0,025 g, borovina 0,020 g), nezgoščenemu lesu pa se navzem konstantno povečuje. Torej je bil navzem vode pri nezgoščenem lesu večji kot pri zgoščenem.

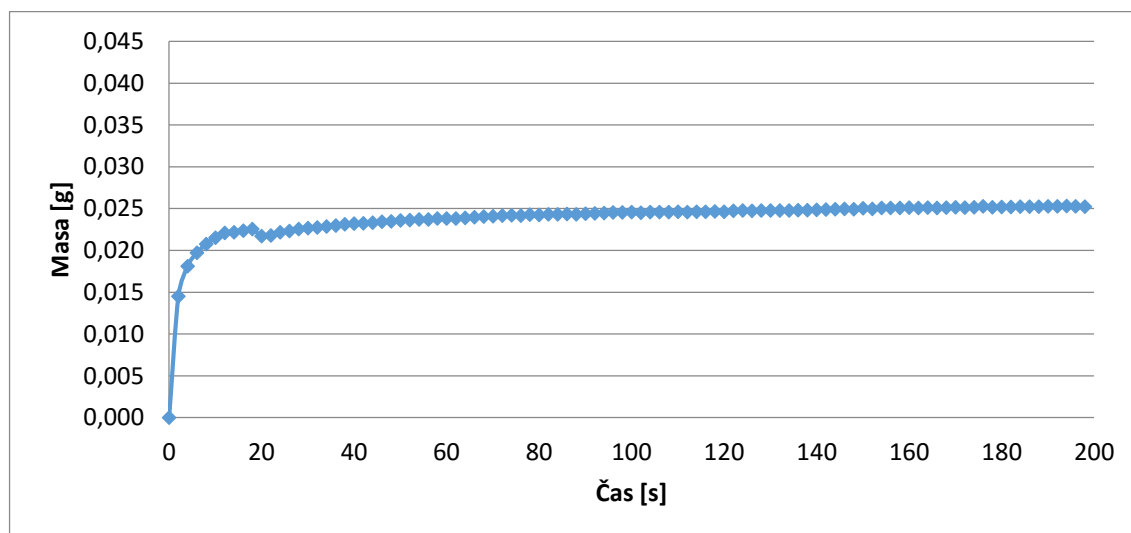


Slika 38: Dinamika vpijanja vode v nezgoščeno in zgoščeno borovino in smrekovino

4.1.2 Navzem olja

4.1.2.1 Nezgoščena smrekovina

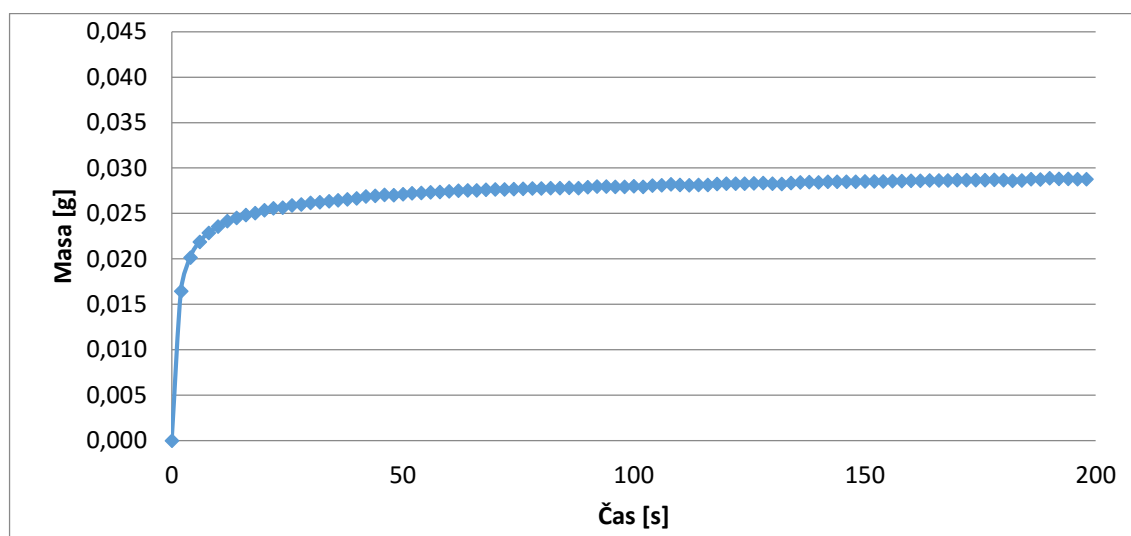
Pri preizkusu navzema olja smo ugotovili, da je bil navzem najhitrejši in najbolj intenziven v prvih 20 sekundah, ko je masa vpitega olja dosegla 0,023 g. V tem času se je masa vzorca najhitreje povečevala. Od časa 20 s pa do 160 s trajanja preizkusa se je masa vzorca konstantno povečevala do vrednosti 0,025g. Nato pa se ni več spreminjala (Slika 39). Ugotavljamo, da je bil navzem olja enak navzemu vode v zgoščeno smrekovino.



Slika 39: Navzem olja v nezgoščeno smrekovino

4.1.2.2 Zgoščena smrekovina

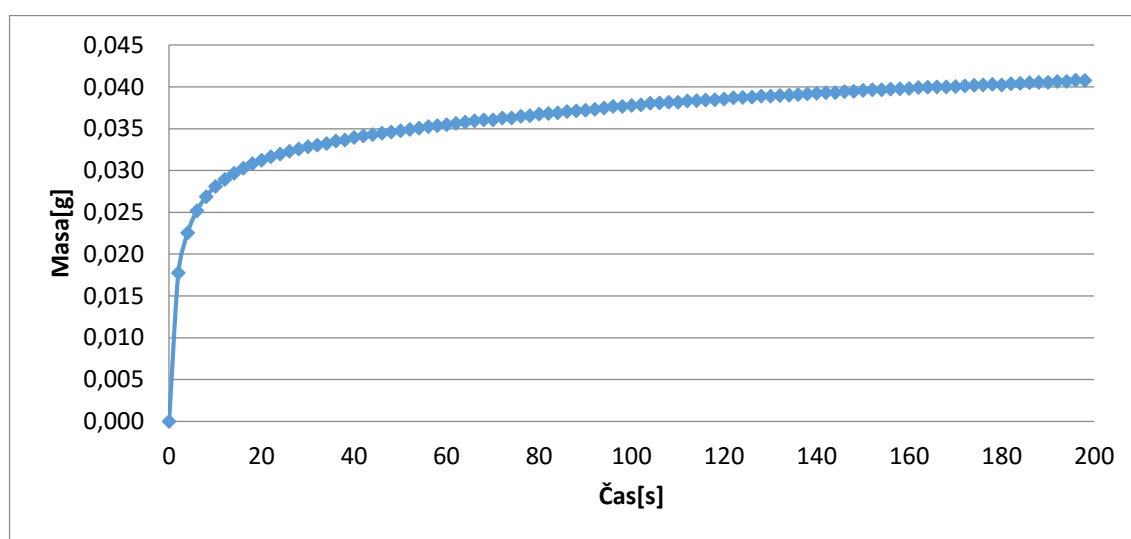
Navzem olja v zgoščeno smrekovino je bil nekoliko večji od navzema v nezgoščeno smrekovino, saj z grafa na Slika 40 vidimo, da je končni navzem olja znašal 0,029 g. Kot pri vseh dosedanjih poskusih, je bil tudi v tem primeru najintenzivnejši navzem na začetku. Tedaj je v prvih 20 sekundah znašal 0,025 g. Nato pa je vse do konca testa konstantno in počasi naraščal, do končne vrednosti. Če bi bil test daljši, predvidevamo, da bi bil navzem še večji.



Slika 40: Navzem olja v zgoščeno smrekovino

4.1.2.3 Nezgoščena borovina

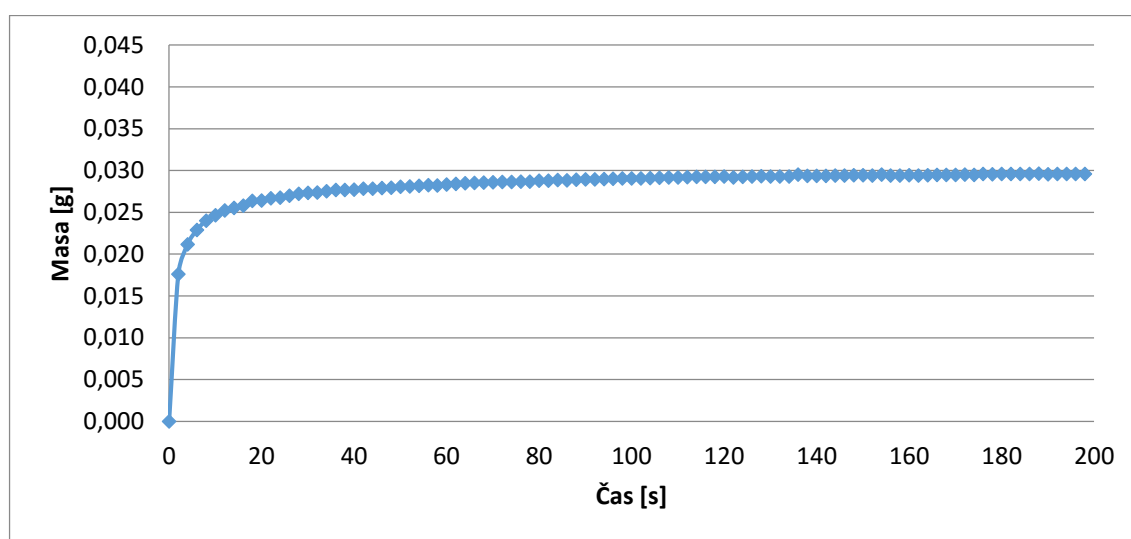
Pri nezgoščeni borovini je bil navzem olja večji kot pri smrekovini, saj je končni navzem po 200 s zanašal kar 0,040 g. Tudi tu je borovina olje najbolj intenzivno vpijala v prvih 20 sekundah, saj se je v tem času masa spremenila za 0,031 g. Nato pa je konstantno naraščala vse do konca testa. Z grafa na Slika 41 lahko sklepamo, da bi borov les olje vpijal tudi še po koncu poskusa.



Slika 41: Vpijanje olja olja v nezgoščeno borovino

4.1.2.4 Zgoščena borovina

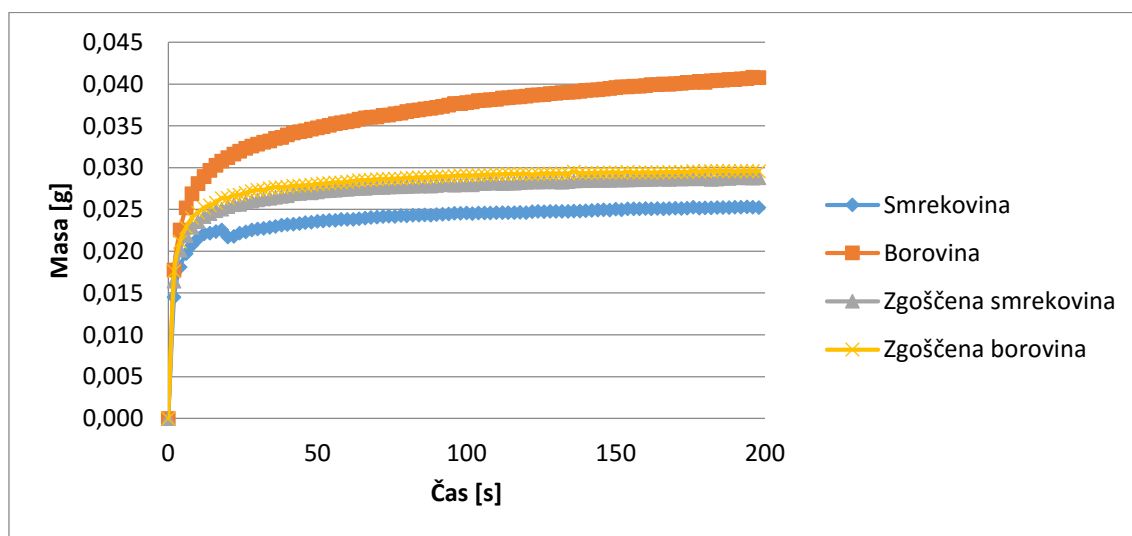
Pri zgoščeni borovini smo najintenzivnejši navzem olja prav tako zaznali v prvih 20 sekundah, le da je bil nekoliko manjši kakor pri nezgoščeni borovini, saj je v tem času dosegel vrednost 0,260 g. Nato pa se je masa vzorcev, kot kaže graf na Slika 42, konstantno povečevala do časa 140 s, ko je navzem dosegel maksimalno vrednost 0,030 g. Do konca testa je bila nato masa konstantna in se ni več povečevala.



Slika 42: Navzem olja v zgoščeno borovino

4.1.2.5 Primerjava navzema olja

Če pogledamo vsa povprečja navzema na eni Slika 43 vidimo, da je bil navzem olja največji v nezgoščeno borovino. To z drugimi besedami pomeni, da najlažje oljimo nezgoščeno borovino. Kot je bilo že navedeno, je borovina v 200 sekundah navzela 0,40 g olja. Najslabše impregnabilna je bila nezgoščena smreka, podobno kot pri vodi in kar je v skladu z anatomskimi razlikami med smrekovim in borovim lesom. Pri nezgoščenem smrekovem lesu je navzem olja po 200 sekundah znašal le 0,025 g. Malo večjo impregnabilnost od nezgoščene smrekovine pa sta izkazali zgoščena smrekovina in nato zgoščena borovina, z navzemoma 0,029 g in 0,030 g olja. Pri dinamiki vpivanja olja je zanimivo, da smo pri vseh vrstah uporabljenih preskušancev najhitrejšo vpivanje in največji navzem olja ugotovili v prvih 20 sekundah.

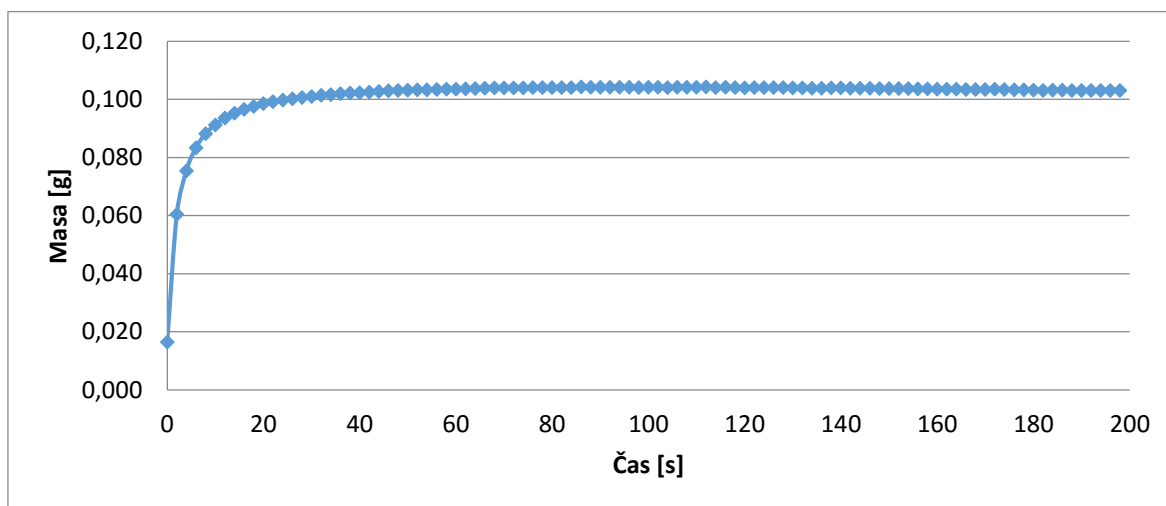


Slika 43: Dinamika vpivanja olja v nezgoščeno in zgoščeno borovino in smrekovino

4.1.3 Navzem vodnega akrilnega laka

4.1.3.1 Nezgoščena smrekovina

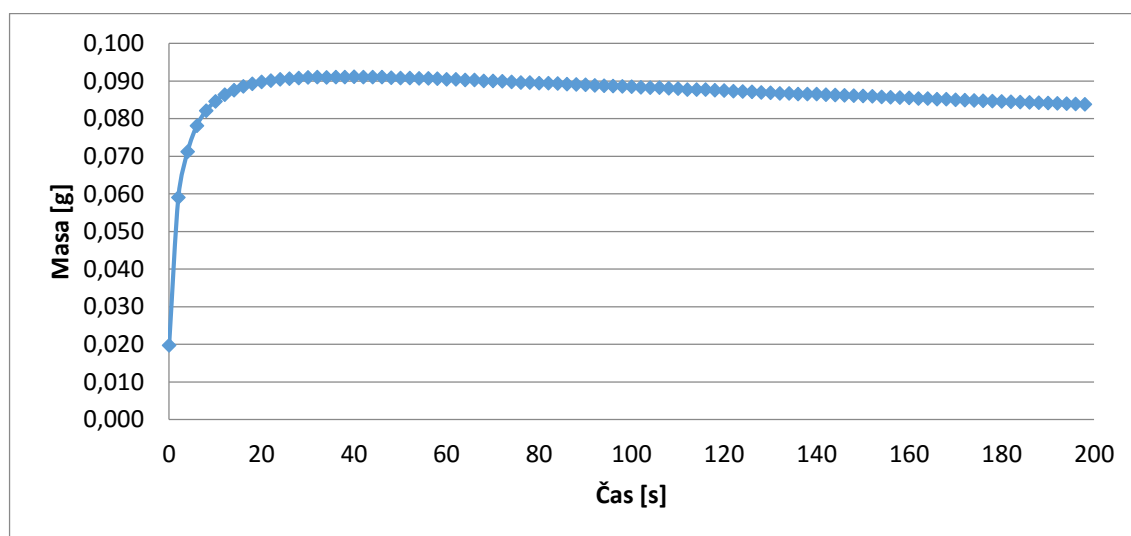
Pri testu navzema akrilnega vodnega laka vidimo (Slika 44), da je bil navzem večji kot pri vodi in olju, saj je po 200 sekundah znašal 0,103 g. V prvih 12 sekundah je bil navzem največji, saj se je masa vzorcev zaradi vpitega laka spremenila za 0,090 g, nato pa je bila konstantna do 50 sekunde, ko je dosegla maksimalno vrednost. Nato je do konca testa masa ostala praktično nespremenjena.



Slika 44: Diagram navzema akrilnega vodnega laka v nezgoščeno smrekovino

4.1.3.2 Zgoščena smrekovina

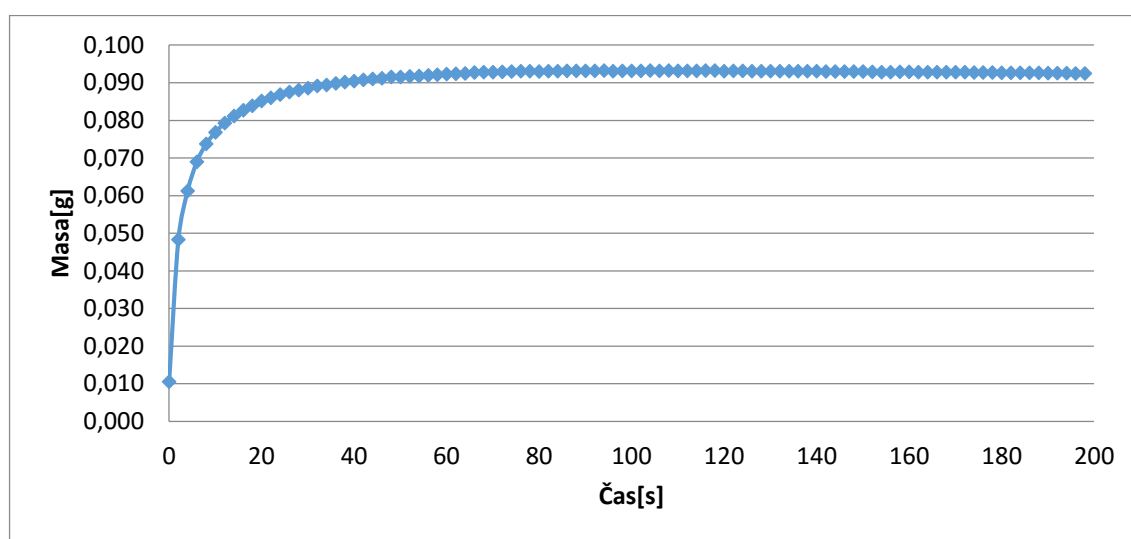
Pri zgoščeni smrekovini je graf navzema praktično enak tistemu za nezgoščen smrekov les (Slika 45). Le končni navzem laka je bil nekoliko majši, 0,084 g. Manjši navzem je najverjetneje posledica porušitve celic pri zgoščevanju lesa in zato je imel les manjšo kapaciteto za navzem premaza. Vpijanje je bilo najbolj intenzivno do časa 20 s, ko je bil dosežen maksimum, 0,090 navzetega laka g. Nato pa se je masa za malenkost zmanjšala, tako kot pri nezgoščeni smrekovini.



Slika 45: Vpijanje akrilnega vodnega laka v zgoščeno smrekovino

4.1.3.3 Nezgoščena borovina

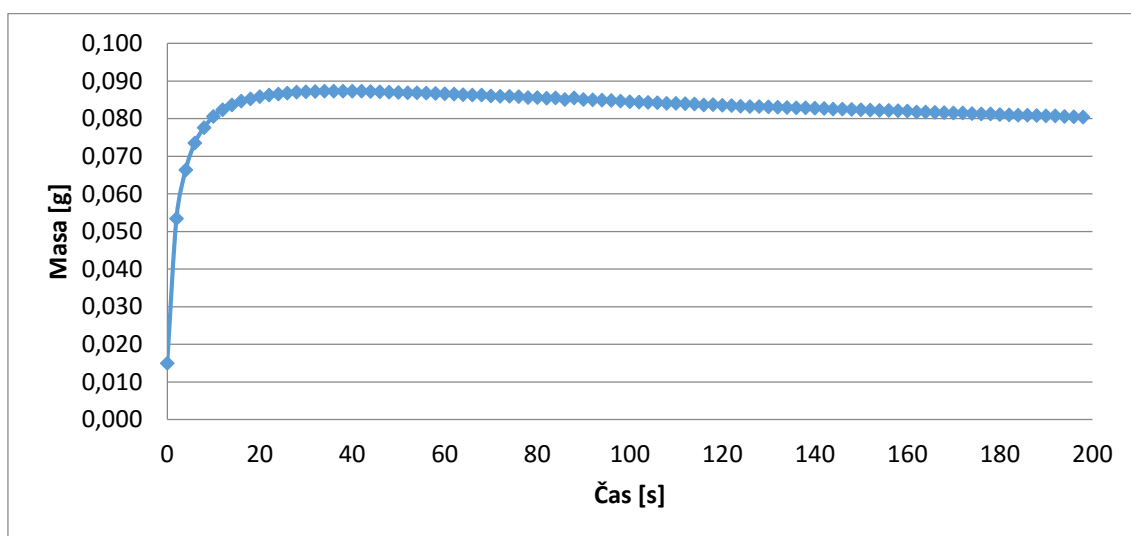
Pri navzemu akrilnega vodnega laka v borovino je zanimivo, da je bil le-ta manjši kakor pri smrekovini, saj je do konca testa dosegel vrednost 0,093 g. Največ laka je les navzel v prvih 14 s, ko je znašala sprememba mase vzorca 0,08g, nato pa je bilo do časa 60 s vpijanje sredstva v les enakomerno. Takrat je bil dosežen maksimalni navzem, nato pa se masa ni spreminjala več (Slika 46).



Slika 46: Dinamika vpijanja akrilnega vodnega laka v nezgoščeno borovino

4.1.3.4 Zgoščena borovina

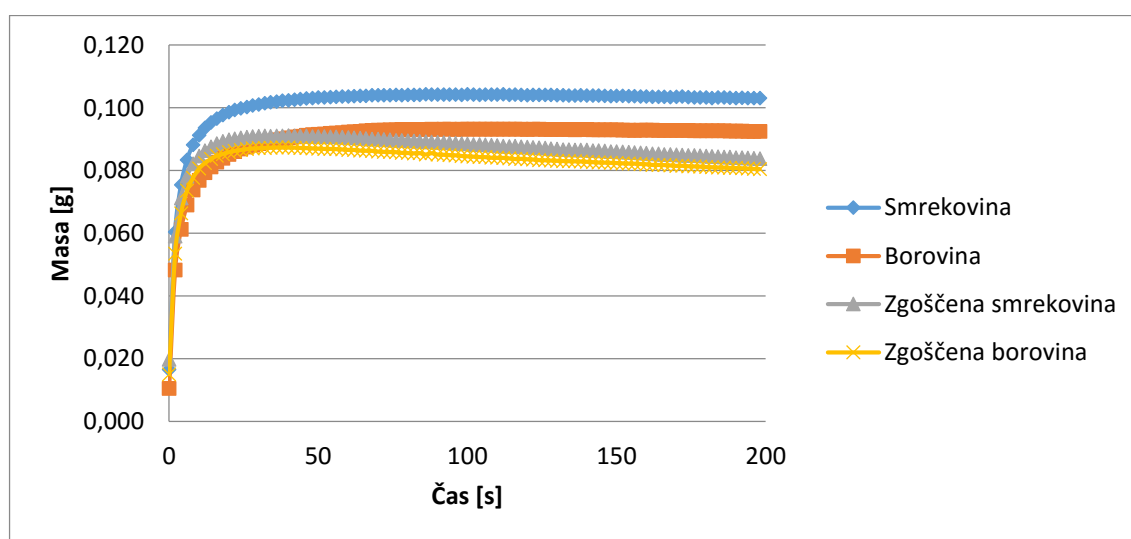
Prav tako kot v primeru smrekovega lesa, smo tudi pri borovini določili enako manjši navzem laka pri zgoščeni borovini, kar je prikazano na Slika 47. Navzem po 200 s pa je znašal 0,080 g. Vzrok za to, da je bila masa na koncu testa manjša kot na sredini, oziroma da se je zmanjšala še med potekom testa, je najverjetneje enak kot v prejšnjih podobnih primerih in sicer zaradi merilne napake. Največji navzem smo zaznali v prvih 14 sekundah poskusa, nato pa se je začel uravnovešati do končne vrednosti.



Slika 47: Diagram navzema akrilnega vodnega laka v zgoščeno borovino

4.1.3.5 Primerjava navzema akrilnega vodnega laka

Pri diagramu navzemov za akrilni vodni lak (Slika 48), pri vseh štirih vrstah preskušancev vidimo, da je bil navzem največji pri nezgoščeni smrekovini, sledi borovina, nato zgoščena smrekovina in na koncu še zgoščena borovina. Pri tem testu in vrsti premaza je zanimivo, da je v obeh primerih izkazala večji navzem smrekovina, čeprav bi z ozirom na njeno anatomsko zgradbo pričakovali drugače.

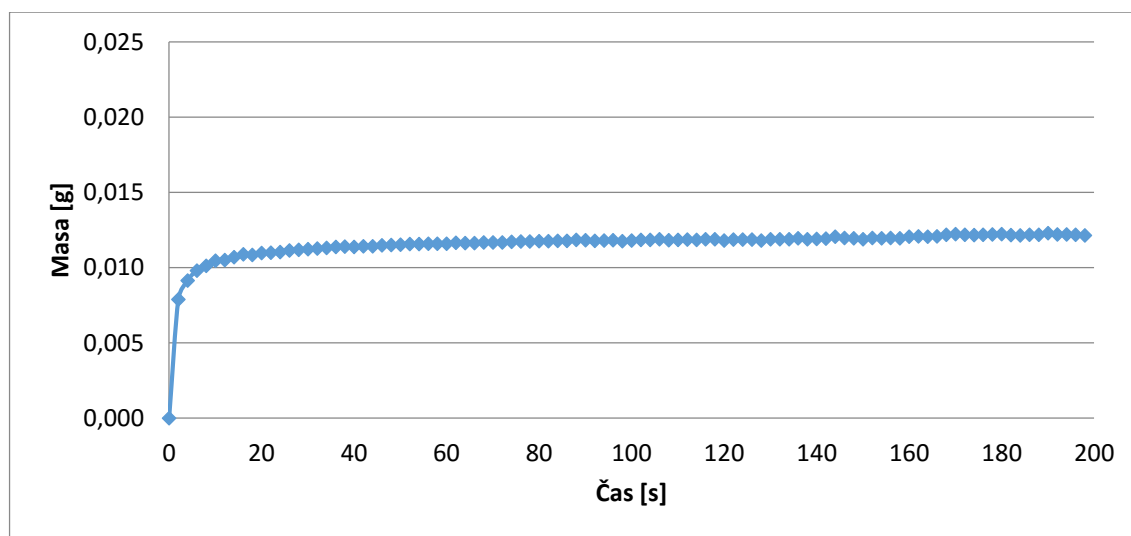


Slika 48: Navzemi akrilnega vodnega laka

4.1.4 Navzem poliuretanskega (PU) laka

4.1.4.1 Nezgoščena smrekovina

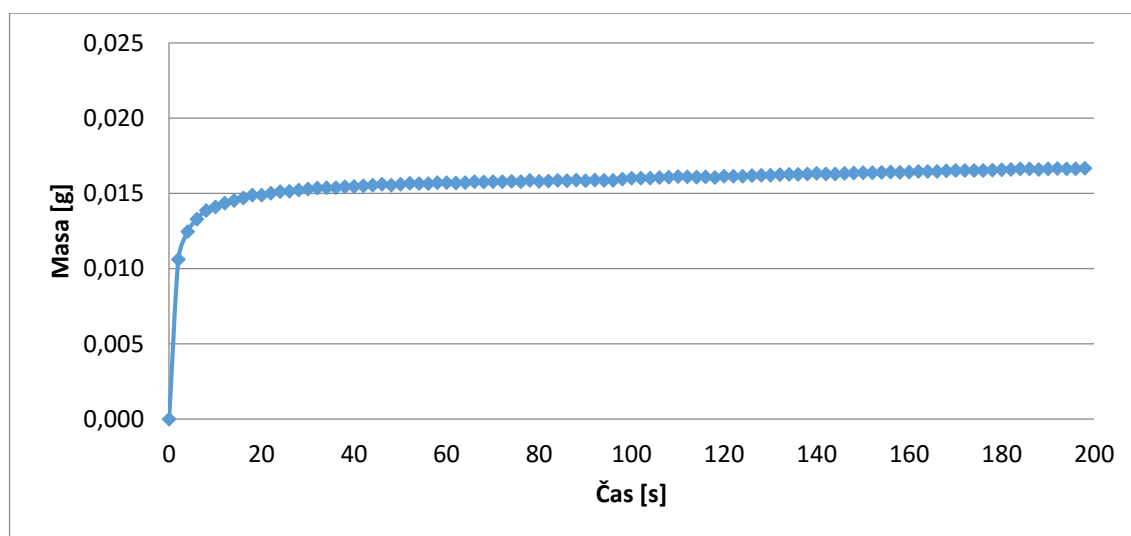
Pri navzemu PU laka v nezgoščeno smrekovino z grafa na Slika 49 vidimo, da je bilo vpijanje najbolj intenzivno prvih 10 s (0,010 g). Nato pa se je vpijanje do konca testa ustalilo in je bilo skorajda konstantno. Končni navzem je tako znašal 0,012 g.



Slika 49: Vpijanje PU laka v nezgoščeno smrekovino

4.1.4.2 Zgoščena smrekovina

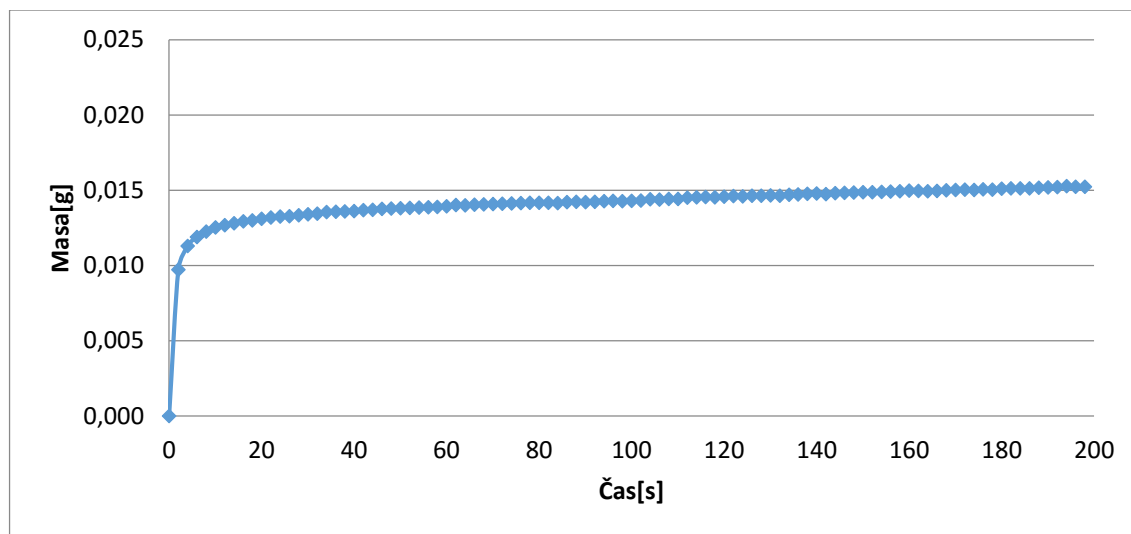
Pri zgoščeni smrekovini je bilo navzemanje PU laka najbolj intenzivno do 10 sekunde (0,014 g). Nato pa se je tudi v tem primeru absorpcija laka ustalila, do 0,017 g ob koncu testa. Iz grafa (Slika 50) je razvidno tudi, da je vrednost navzema že pri 2. sekundi testa znašala kar 0,011 g.



Slika 50: Absorpcija PU laka v zgoščeno smrekovino

4.1.4.3 Nezgoščena borovina

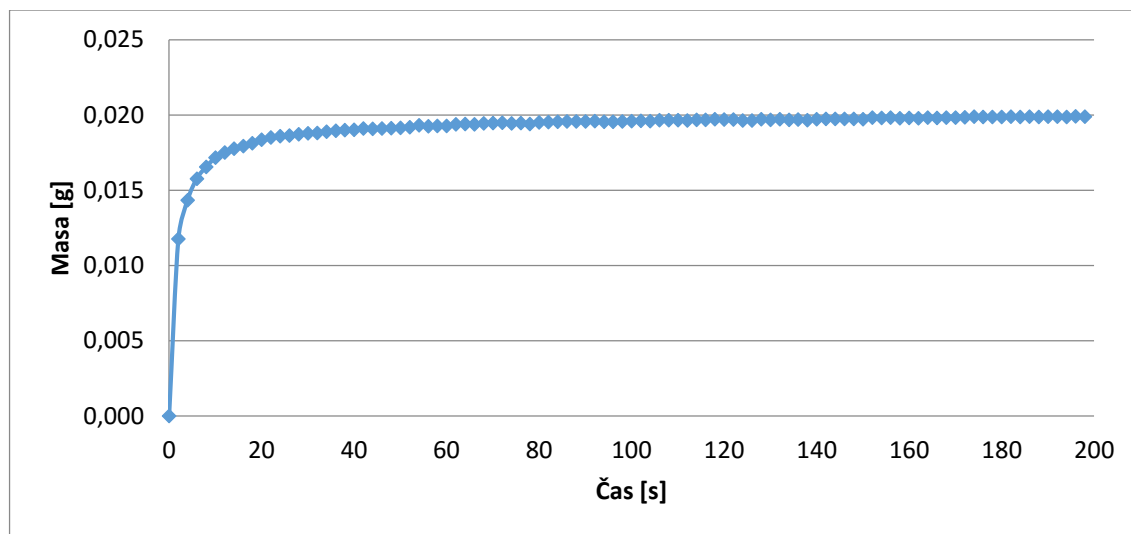
Pri borovini je navzem PU laka v prvih 10 sekundah dosegel vrednost 0,013 g, nato pa konstantno naraščal do konca poskusa (200 s), ko je dosegel vrednost 0,0152 g. Iz grafa na Slika 51 je razvidno, da bi navzem najverjetneje še naraščal tudi po poteku testa.



Slika 51: Navzem PU laka v nezgoščeno borovino

4.1.4.4 Zgoščena borovina

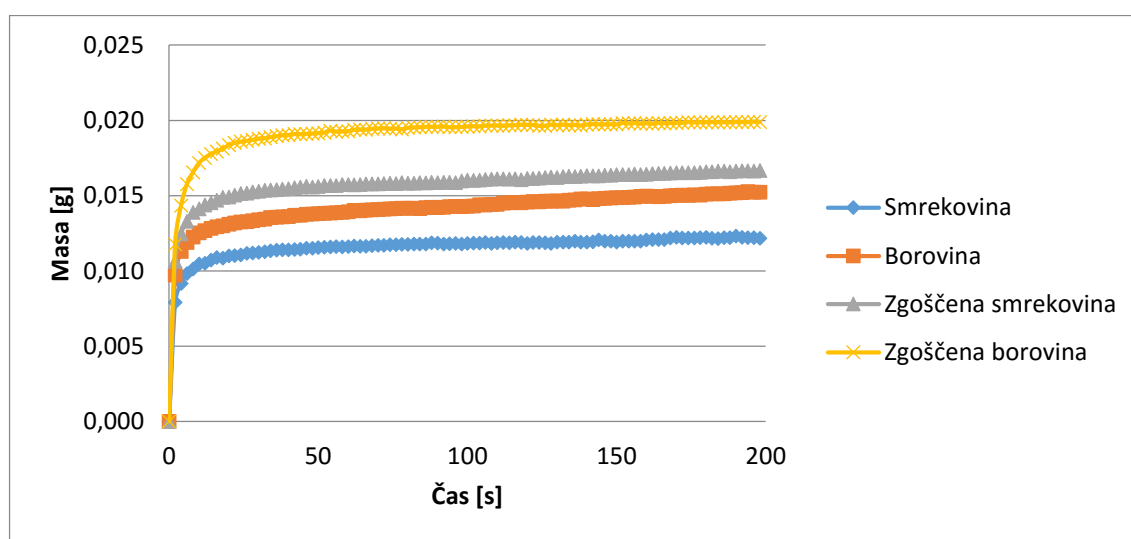
Čeprav smo v tem primeru pričakovali manjši navzem kot pri nezgoščeni borovini, je le-ta pri zgoščeni borovini po prvih 20 sekundah dosegel vrednost kar 0,018g, v naslednjih 180 sekundah pa je konstantno naraščal do končne mase 0,020 g (Slika 52).



Slika 52: Vpijanje PU laka v zgoščeno borovino

4.1.4.5 Primerjava navzema PU laka

Primerjava navzemov PU laka v vse vrste vzorcev pokaže, da je med testom največ PU laka vpila zgoščena borovina 0,020 g. Sledila ji je zgoščena smrekovina z 0,017 g, ter na koncu še nezgoščena borovina (0,0152 g) in nezgoščena smrekovina (0,012 g). Ob primerjavi krivulj na Slika 53 oziroma navzemov je zanimivo, da je pri PU laku le-ta večji pri zgoščenih vzorcih in ne pri nezgoščenih, kakor bi pričakovali zaradi porušitve zgradbe lesa.

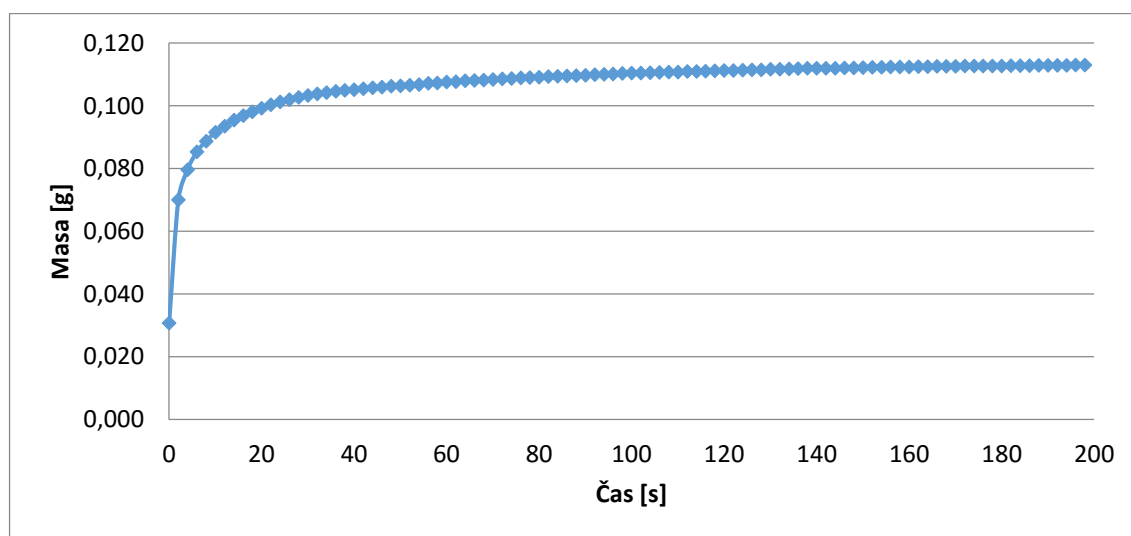


Slika 53: Navzemi PU laka v nezgoščeno in zgoščeno smrekovino in borovino

4.1.5 Navzem utekočinjenega lesa

4.1.5.1 Nezgoščena smrekovina

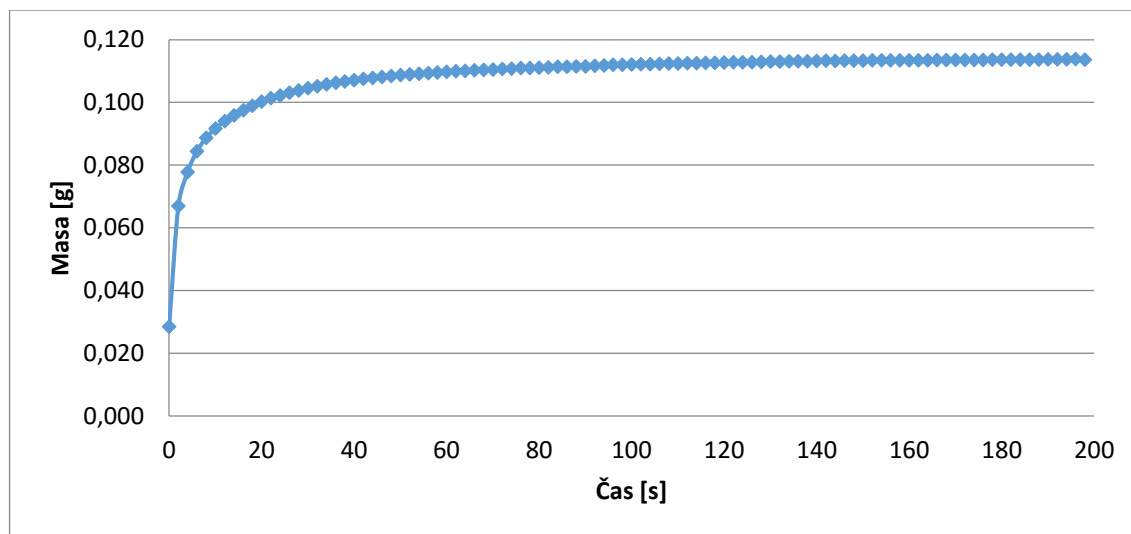
Ko smo testirali vzorce nezgoščene smrekovine z utekočinjenim lesom, se je tudi v tem primeru pokazalo (Slika 54), da je bilo vpijanje pripravka največje na začetku, do 20 sekunde poskusa, ko je navzem dosegel vrednost 0,100 g. Sledilo je rahlo naraščanje mase vpite tekočine do konca testa, do 0,113 g.



Slika 54: Vpijanje utekočinjenega lesa v nezgoščeno smrekovino

4.1.5.2 Zgoščena smrekovina

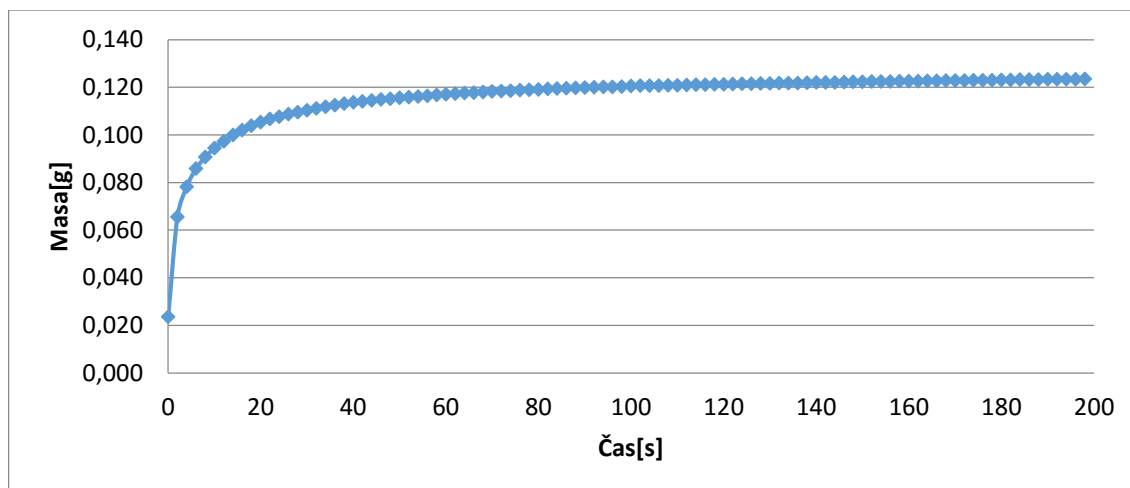
Pri zgoščeni smrekovini je navzemanje UL bilo prav tako najbolj intenzivno do 20 sekunde, 0,100 g. Od tu dalje pa vrednost do 200. sekunde počasi narastla na 0,114 g. Tudi tu v zadnjih sekundah vpijanja UL v vzorec skorajda ni bilo več (Slika 55).



Slika 55: Navzema utekočinjenega lesa v zgoščeno smrekovino

4.1.5.3 Nezgoščena borovina

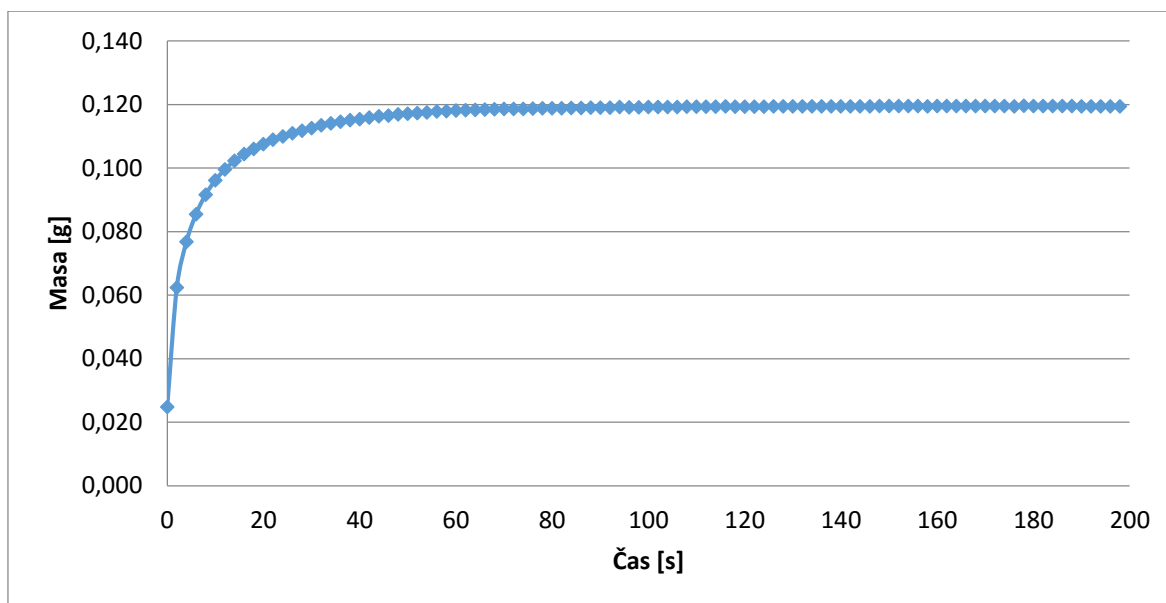
Za razliko od nezgoščene in zgoščene smrekovine je borovina izkazovala nekoliko višji navzem utekočinjenega lesa, kar nam prikazuje graf na Slika 56. A začetni je bil zelo podoben (v prvih 20 s 0,105 g). Od tu pa do konca testa pa je navzem konstantno naraščal, do 0,124 g.



Slika 56: Vpijanje utekočinjenega lesa v nezgoščeno borovino

4.1.5.4 Zgoščena borovina

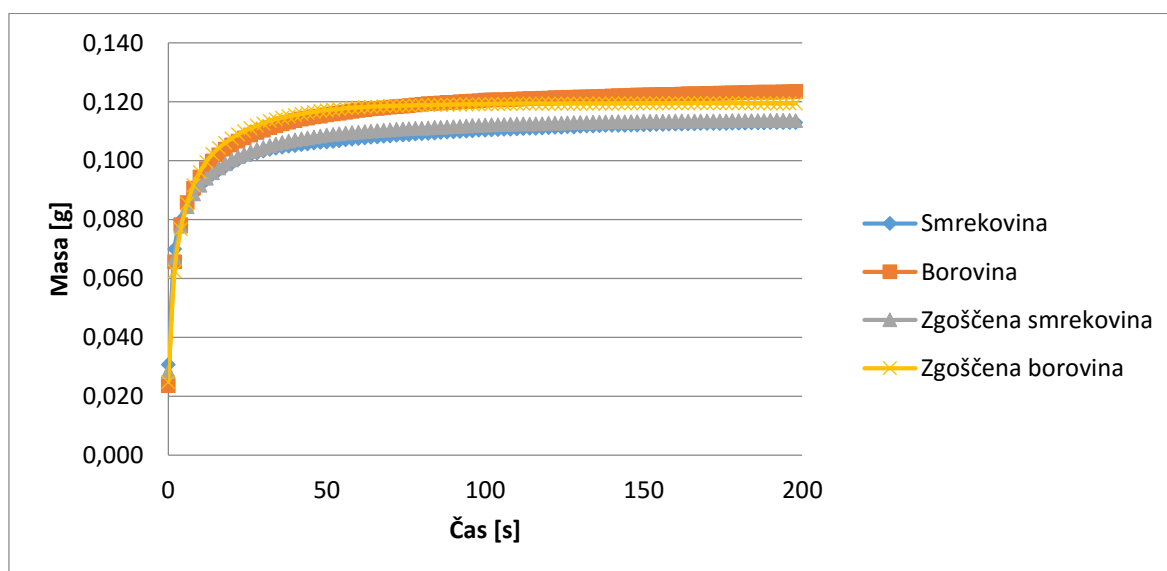
Pri zgoščeni borovini in utekočinjenem lesu pa je vrednost navzema do 20. sekunde dosegla 0,108 g. Tudi v tem primeru vidimo (Slika 57), da se je nato navzem konstantno povečeval, do časa 108 s (največja masa vpitega sredstva, 0,119 g). Od tu dalje pa vpijanja utekočinjenega lesa v vzorce ni več.



Slika 57: Navzema utekočinjenega lesa v zgoščeno borovino

4.1.5.5 Primerjava navzema utekočinjenega lesa

Ko primerjamo povprečja navzemov utekočinjenega lesa med seboj, opazimo, da se je največ utekočinjenega lesa vpilo v nezgoščeno borovino. Sledi ji zgoščena borovina, potem pa zgoščena smrekovina in nezgoščena smrekovina. Iz grafikona (Slika 58) vidimo, da so bili začetni navzemi nekoliko drugačni kakor na koncu. Tako je zgoščena borovina v prvih 20 s navzela več utekočinjenega lesa kakor nezgoščena, nato pa je bila hitrost vpijanja manjša od tiste pri nezgoščeni borovini. Pri smrekovini pa je bilo obnašanje obrnjeno, tako da je bil začetni navzem v nezgoščeno smrekovino manjši od navzema v zgoščen smrekov les. Nadaljnje vpijanje je bilo nato v nezgoščeno smrekovino nekoliko bolj intenzivno kot v zgoščeno, tako da je bil do konca testa rezultat praktično enak (Slika 58).

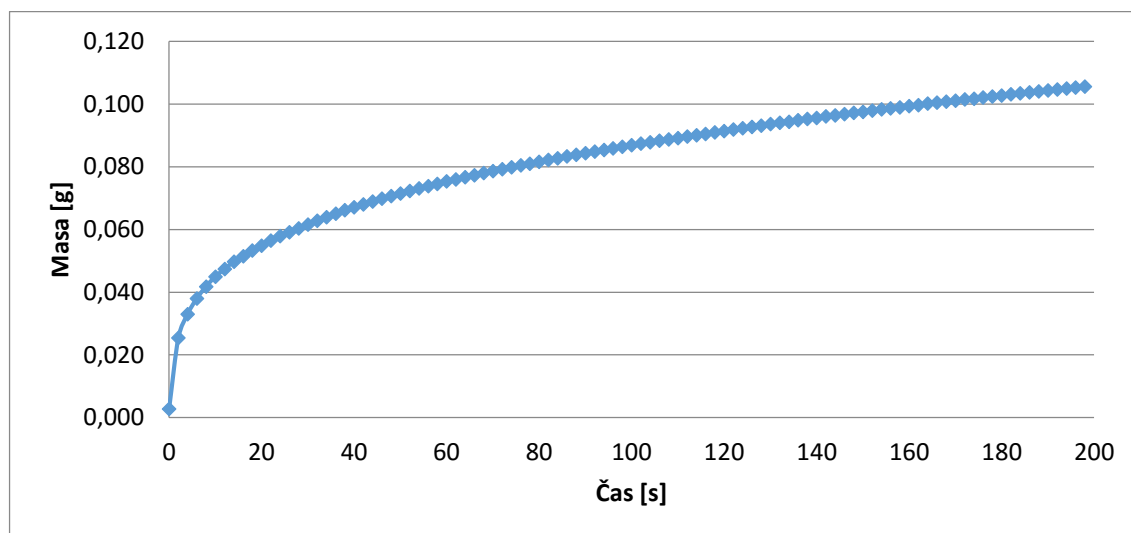


Slika 58: Absorpcija utekočinjenega lesa v zgoščeno in nezgoščeno borovino in smrekovino.

4.1.6 Navzem PU premaza iz utekočinjenega lesa

4.1.6.1 Nezgoščena smrekovina

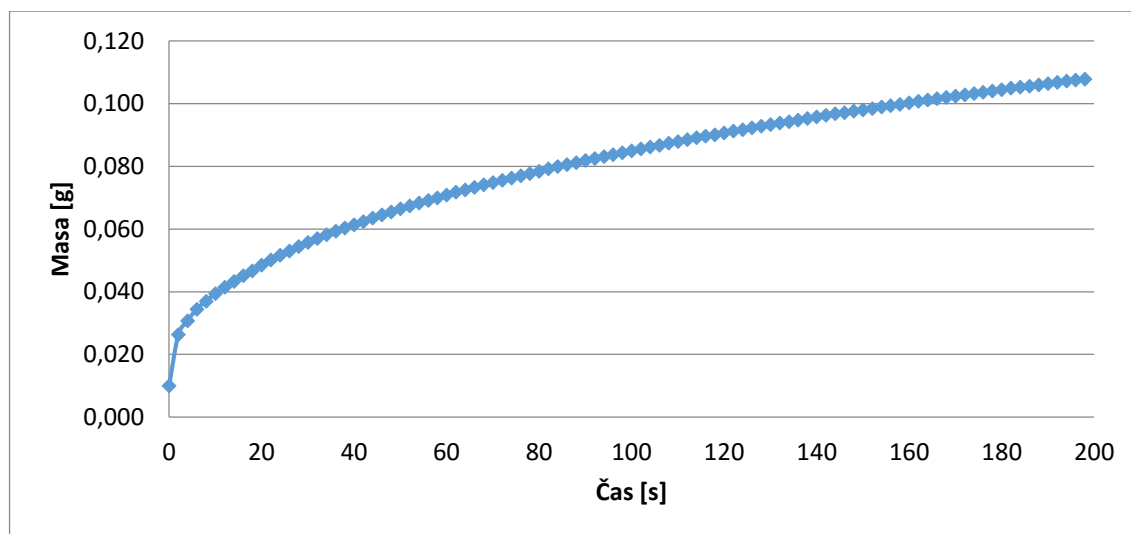
Pri nezgoščeni smrekovini lahko iz grafa vidimo (Slika 59), da je bila začetna masa navzetega PU premaza iz utekočinjenega lesa največja do 14 sekunde (0,050 g). Nato se je navzem postopoma povečeval do končne vrednosti 0,106 g. Zanimivo je, da je bilo naraščanje mase hitrejše kakor v prej opisanih primerih, kar se lepo vidi iz naklona krivulje (Slika 59).



Slika 59: Diagram navzema PU premaza iz utekočinjenega lesa v nezgoščeno smrekovino

4.1.6.2 Zgoščena smrekovina

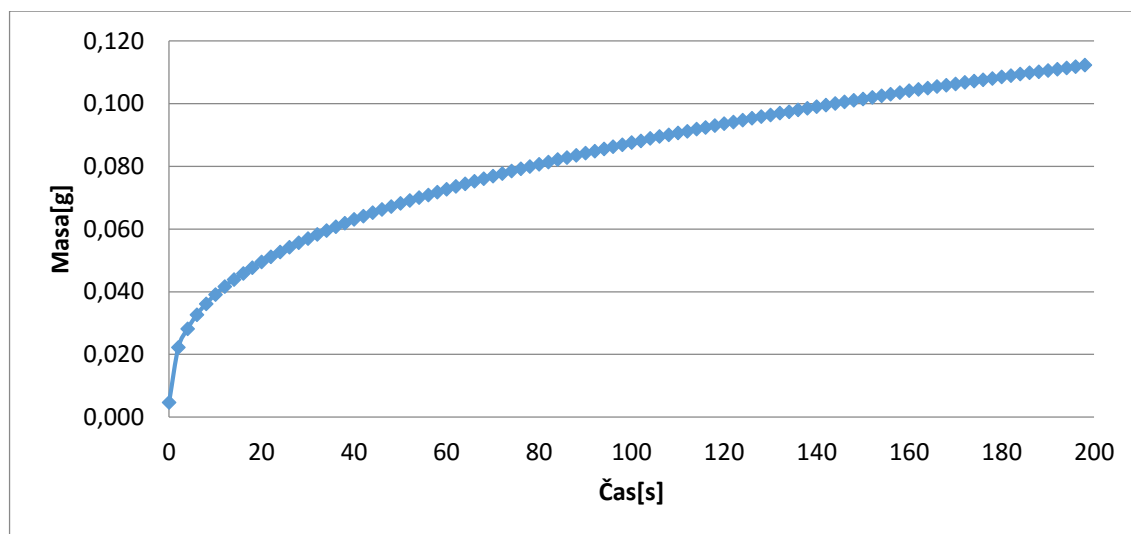
Pri zgoščeni smrekovini smo najbolj intenziven skok mase vpitega sredstva opazili že v času prvih 4 sekund poskusa (0,031 g). Nato pa je bilo naraščanje mase bolj postopno in konstantno kakor v predhodnem primeru. Končni navzem po 200 s je bil kar precejšen, saj se je do konca testa vpita masa povzpela na 0,108 g (Slika 60).



Slika 60: Dinamika navzema PU premaza iz utekočinjenega lesa v zgoščeno smrekovino

4.1.6.3 Nezgoščena borovina

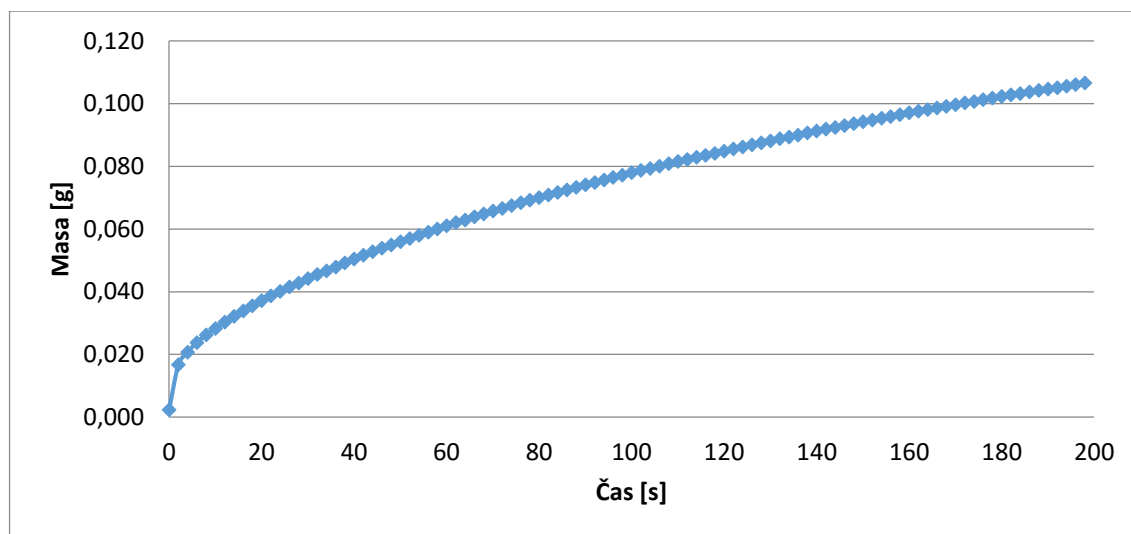
Kot vidimo, je diagram navzema za nezgoščeno borovino (Slika 61) povsem podoben kot pri zgoščeni in nezgoščeni smrekovini, le da je bil končni navzem večji (0,112 g). Tudi v tem primeru je masa vpitega sredstva v prvih 8 sekundah poskočila na 0,036 g. Sledilo je konstantno naraščanje mase navzetega sredstva.



Slika 61: Navzem PU premaza iz utekočinjenega lesa v nezgoščeno borovino

4.1.6.4 Zgoščena borovina

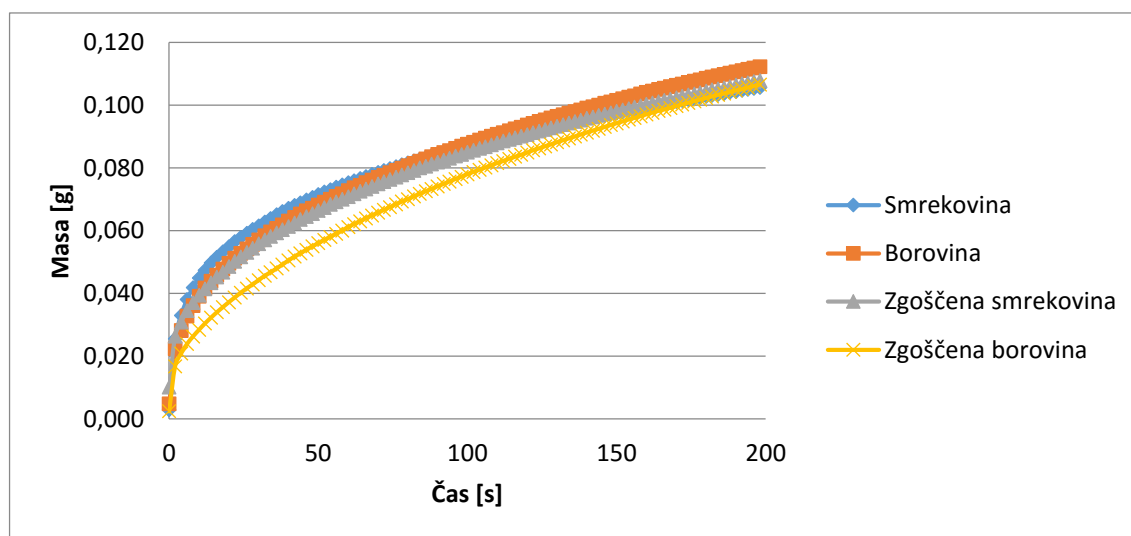
Krivulja navzema PU premaza iz utekočinjenega lesa je za zgoščeno borovino (Slika 62) povsem podobna krivulji pri nezgoščeni borovini, le da je bil končni navzem po koncu testa nekoliko manjši (0,107 g). Tudi v tem primeru je masa vpitega sredstva najhitreje naraščala do 6. sekunde (0,024 g).



Slika 62: Vpijanje PU premaza iz utekočinjenega lesa v zgoščeno borovino

4.1.6.5 Primerjava navzema PU premaza iz utekočinjenega lesa

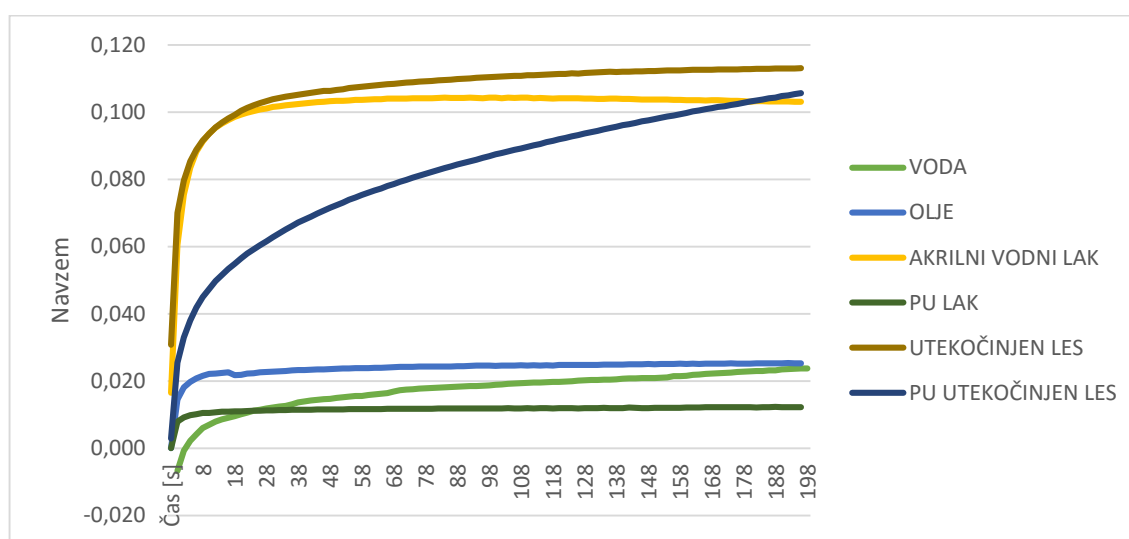
Iz diagrama s primerjavo navzemov v vse vrste preskušancev (Slika 63) vidimo, da je bil največji navzem izkazan v nezgoščeno borovino in to kar 0,112 g. Nato je sledila zgoščena smrekovina z 0,106 g. V zgoščeno borovino se je vpilo 0,107 g sredstva, v nezgoščeno smrekovino pa 0,106 g. Iz grafikona (Slika 63) vidimo, da je v tem primeru iztopala le nezgoščena borovina, pri ostalih treh vrstah vzorcev pa so navzemi praktično dosegli skoraj enake končne vrednosti, le dinamika vpijanja je bila različna. Najbolj strma je bila krivulja navzema v zgoščeno borovino.



Slika 63: Primerjava navzemov PU premaza iz utekočinjenega lesa v nezgoščene in zgoščene lesne vzorce

4.1.7 Primerjava navzemov različnih tekočin oz. premazov v nezgoščeno smrekovino

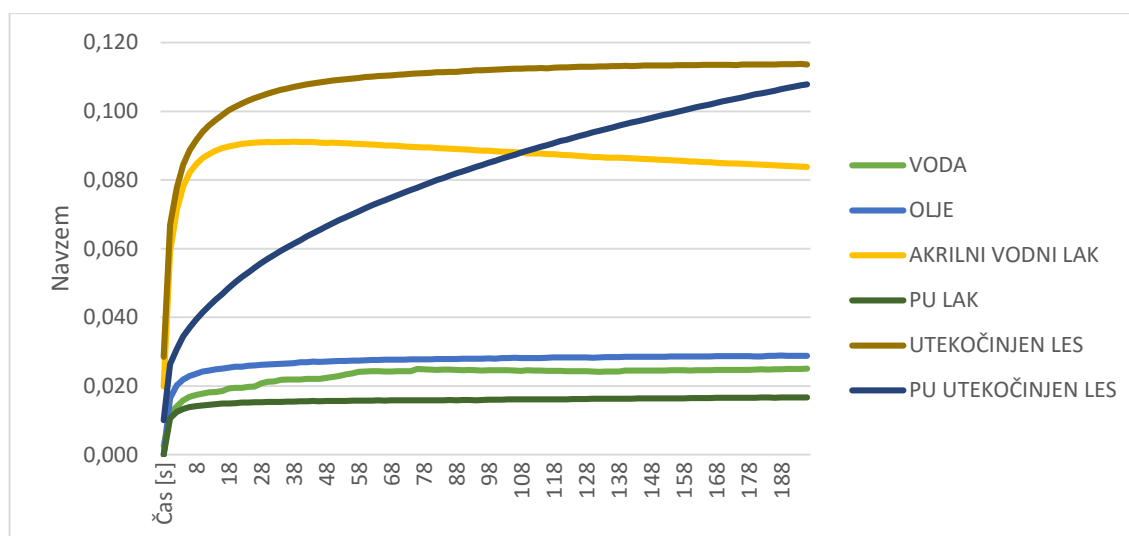
Na diagramu (Slika 64), kjer smo primerjali vpijanje vseh testnih tekočin v isto vrsto preskušancev vidimo, da je največji navzem izkazal utekočinjen les z 0,113 g. Nato je sledil PU premaz iz utekočinjenega lesa z vrednostjo 0,106 g. Zelo blizu po masi je bil tudi navzem akrilnega vodnega laka z 0,103 g. Bistveno nižje navzeme smo določili pri ostalih treh tekočinah in sicer pri olju 0,025 g, pri vodi 0,024 g ter nazadnje pri PU laku z 0,012 g.



Slika 64: Primerjava navzemov tekočin v nezgoščeno smrekovino

4.1.8 Primerjava navzemov različnih tekočin oz. premazov v zgoščeno smrekovino

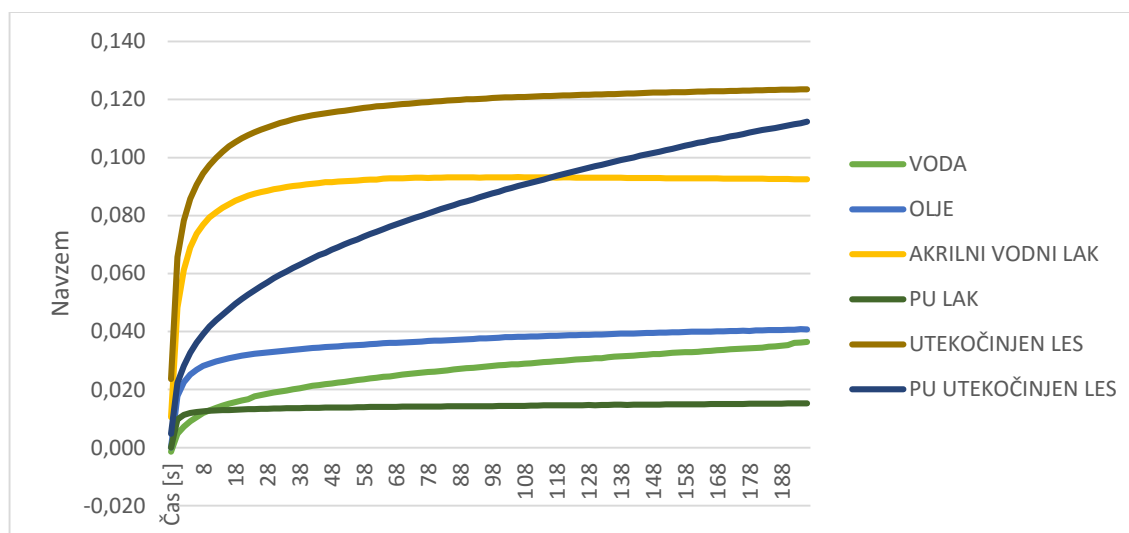
Pri zgoščeni smrekovini je iz diagrama na Slika 65 razvidno, da smo dosegli največji navzem z utekočinjenim lesom. Slednjemu se je najbolj strmo približal navzem z PU utekočinjenim lesom. Zanimivo bi bilo, če bi bi meritve potekale dalj časa, saj po krivulji vidimo, da bi bil po daljši meritvi morda navzem PU iz utekočinjenega lesa največji.



Slika 65: Primerjava navzemov testnih tekočin v zgoščeno smrekovino

4.1.9 Primerjava navzemov različnih tekočin oz. premazov v nezgoščeno borovino

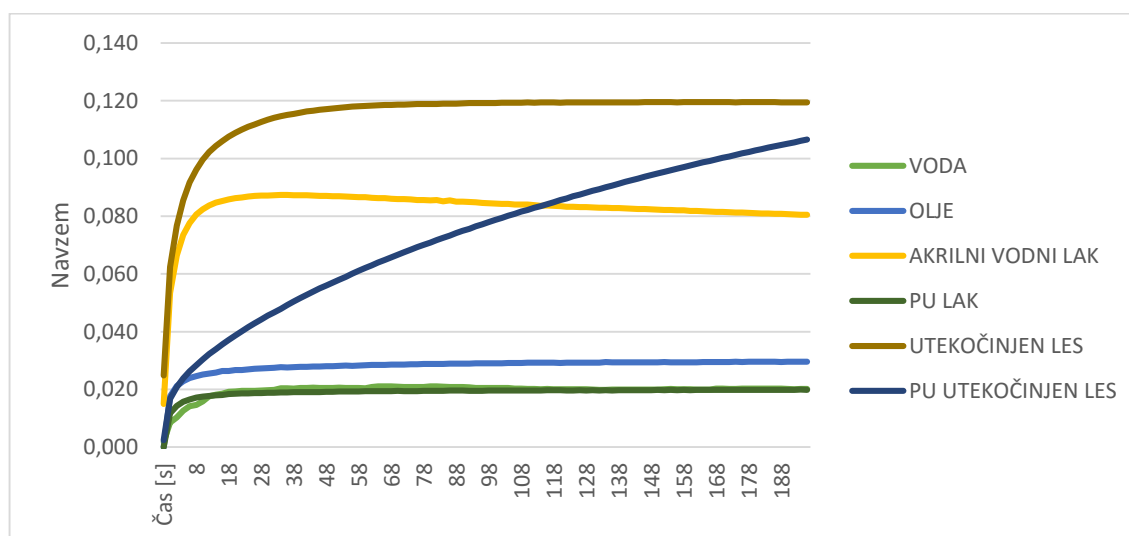
Na diagramu (Slika 66) navzemov nezgoščene borovine vidimo naslednje: tekočina z največjo vrednostjo navzema je bila utekočinjen les (končni navzem 0,124 g). Sledil mu je PU premaz iz utekočinjenega lesa, katerega krivulja navzema je ves čas poskusa strmo naraščala in verjetno bi po daljšem časovnem intervalu navzem tega premaza presegel navzem utekočinjenega lesa. Tudi v tem primeru utekočinjenemu lesu po vrednosti navzema sledi akrilni vodni lak. Kar precej nižji navzem smo ugotovili pri olju, saj je le ta znašal komaj 0,040 g. Sledila sta mu še voda in PU lak, ki je tudi v tem primeru izkazal zelo nizek navzem.



Slika 66: Primerjava navzemov testnih tekočin v nezgoščeno borovino

4.1.10 Primerjava navzemov različnih tekočin oz. premazov v zgoščeno borovino

Na zadnjem primerjalnem diagramu (Slika 67) navzemov, za zgoščeno borovino, lahko vidimo skoraj povsem enake rezultate kot pri nezgoščeni borovini. Spet je največji navzem izkazal utekočinjen les (0,120 g), sledil je PU premaz iz utekočinjenega lesa s strmo naraščujočo krivuljo vpijanja v vzorec, podobno kot v prej opisanih primerih (0,110 g), nato pa še akrilni vodni lak z (0,080 g). Precej manjše navzeme so izkazali naslednji premazi: olje (0,030 g), ter voda in PU lak s skoraj enakima vrednostma navzema (0,020 g).



Slika 67: Primerjava navzemov testnih tekočin v zgoščeno borovino

4.2 STIČNI KOT

4.2.1 Povprečna vrednost stičnih kotov vode

Če primerjamo stične kote vode na različnih vrstah podlage med seboj (preglednica 1), vidimo, da so vsi koti večji od 90° . To pomeni, da voda vseh podlage relativno slabo omaka. Ko pogledamo bolj podrobno, vidimo nekaj razlik in sicer je voda najslabše omakala zgoščeno smrekovino, kar pripisujemo porušeni strukturi zgoščenega lesa, gladkosti površine in morda tudi kemijskim spremembam, do katerih je prišlo med postopkom zgoščevanja. Nekoliko nižja sta bila stična kota pri zgoščeni borovini in pri nezgoščenem smrekovem lesu. Najboljšo omočitev pa smo zaznali pri nezgoščeni borovini. Do takšne razlike pri borovini pride zaradi porušitve zunanje plasti, zaradi zgostitve površine in verjetno zaradi ostalih vzrokov, ki smo jih navedli za primer omakanja zgoščenega smrekovega lesa. Če podatke primerjamo z navzemom vode, se jasno pokaže povezava med stičnimi koti in navzemom. Tako je na primer navzem bil največji pri nezgoščeni borovini, katera je imela tudi najmanjši stični kot, torej najboljše omakanje. Enake korelacije veljajo tudi za druge vrste vzorcev.

Preglednica 1: Povprečne vrednosti stičnega kota vode na vseh vrstah preskušancev.

voda [°]		σ [°]
nezgoščena smrekovina	102,4	12,6
zgoščena smrekovina	110,7	5,3
nezgoščena borovina	95,3	13,2
zgoščena borovina	103,8	10,0

4.2.2 Povprečna vrednost stičnih kotov olja

Pri olju so bili stični koti na vseh podlagah bistveno nižji kot pri vodi – lahko rečemo, da je olje za zaščito lesa zgoščeno in nezgoščeno borovino in smrekovino zelo dobro omakalo (preglednica 2). V primeru stičnih kotov olja in njegovega navzema, ta povezava ni izrazita, saj je navzem največji pri nezgoščeni borovini, stični kot pa je bil prav v tem primeru največji. Pri drugih vrstah vzorcev so rezultati stičnih kotov in navzemov med seboj nekoliko bolj primerljivi. Npr., stični kot olja na zgoščeni borovini je bil najmanjši, navzem pa je bil po vrednosti na drugem mestu. Če pogledamo stične kote, vidimo da so bili skoraj enaki, le pri zgoščeni borovini je bil za 2° manjši. Razlike so bile minimalne prav tako tudi pri navzemu, ki je bil tudi precej večji od navzema vode. Tako nam tudi stični koti potrjujejo večje navzema olja, saj so bili koti manjši kot pri vodi.

Preglednica 2: Povprečne vrednosti stičnega kota olja na vseh vrstah preskušancev.

olja [°]		σ [°]
nezgoščena smrekovina	30,7	4,9
zgoščena smrekovina	30,5	7,2
nezgoščena borovina	30,9	4,9
zgoščena borovina	28,0	7,0

4.2.3 Povprečna vrednost stičnih kotov akrilnega vodnega laka

Če primirjamo stične kote akrilnega vodnega laka na vseh površinah, vidimo, da je bila omočitev najboljša pri zgoščeni smrekovini ($85,6^\circ$). Nad 90° pa je bil kot omočitve v vseh ostalih primerih. Kot omočitve je na zgoščeni borovini izkazal vrednost približno okrog 90° , na nezgoščeni borovini in nezgoščeni smrekovini pa sta bili ti vrednosti $93,4^\circ$ oz. 95° (preglednica 3). Če primerjamo stične kote in navzem za akrilni vodni lak, se tudi v tem primeru pokaže povezava med stičnimi koti in navzemom. Edino odstopanje je pri nezgoščeni smrekovini, ki ima v našem testu največji navzem, obenem pa tudi največji stični kot.

Preglednica 3: Povprečne vrednosti stičnega kota akrilnega vodnega laka na vseh vrstah preskušancev.

akrilni vodni lak [$^\circ$]		σ [$^\circ$]
nezgoščena smrekovina	95,0	11,8
zgoščena smrekovina	85,6	9,1
nezgoščena borovina	93,4	9,8
zgoščena borovina	90,1	5,8

4.2.4 Povprečna vrednost stičnih kotov poliuretanskega laka

Pri poliuretanskem laku smo ugotovili še nižje vrednosti stičnih kotov kot pri olju. Verjetno je to posledica dejstva, da smo v tem primeru uporabili lak na topilni osnovi in iz prakse je dobro znano, da sredstva na topilni osnovi (zaradi nizke površinske napetosti in dobre penetracije v les) les boljše omakajo kot napolarna sredstva. To je najverjetneje tudi vzrok za nizke stične kote pri olju. Navzem pri poliuretanskem laku je sicer nižji od navzema prej obravnavanih premazov in tekočin. Zanimivo pri tem premazu je to, da se stični koti in navzem ne ujemajo popolnoma. Premaz je najslabše omakal zgoščeno borovino, ki je bila po količini navzena na drugem mestu, nato nezgoščeno smrekovino z najslabšo količino navzema in nazadnje nezgoščeno borovino (preglednica 4). Slednja je imela navzem 0,015 g. Vendar pa so bile razlike v stičnih kotih zanemarljivo majhne.

Preglednica 4: Povprečne vrednosti stičnega kota poliuretanskega laka na vseh vrstah preskušancev.

poliuretanski lak [°]		σ [°]
nezgoščena smrekovina	26,1	4,3
zgoščena smrekovina	24,0	3,7
nezgoščena borovina	25,8	2,5
zgoščena borovina	26,8	2,5

4.2.5 Povprečna vrednost stičnih kotov utekočinjenega lesa

Ker ima utekočinjen les visoko viskoznost, smo pričakovali, da bodo odčitani stični koti višji kot v nekaterih drugih primerih, npr. pri poliuretanskem topilnem laku ali pri olju. Viskoznost sama po sebi po termodinamski Youngovi enačbi na stični kot ne vpliva, vendar moramo upoštevati, da smo v našem primeru – omakanje realnih podlag iz zgoščenega in nezgoščenega lesa – daleč od idealnih pogojev in v takih primerih je vpliv viskoznosti na odčitane realne stične kote lahko zelo pomemben. Tako vidimo (preglednica 5), da so bile vrednosti kotov omakanja v območju med 62° in 79° . Lahko rečemo, da utekočinjen les izkazuje srednje dobro omakanje površin, ter odličen navzem, saj imajo vse podlage končni navzem okoli 0,120 g. Skladno s stičnimi koti je bilo začetno vpijanje utekočinjenega lesa zelo intenzivno. Manjši koti omočitve so bili pričakovano z večjimi navzemi in obratno. Utekočinjen les je najslabše omakal nezgoščeno smrekovino, nekoliko boljše zgoščeno smrekovino, še nekoliko nižja pa sta bila stična kota pri zgoščeni in nezgoščeni borovini. V istem vrstnem redu si sledijo navzemi.

Preglednica 5: Povprečne vrednosti stičnega kota utekočinjenega lesa na vseh vrstah preskušancev.

utekočinjen les [°]		σ [°]
nezgoščena smrekovina	78,8	10,8
zgoščena smrekovina	69,8	10,3
nezgoščena borovina	62,8	12,1
zgoščena borovina	64,0	7,2

4.2.6 Povprečna vrednost stičnih kotov premaza iz utekočinjenega lesa

Rezultati določanja stičnih kotov so bili popolnoma drugačni, ko smo namesto omočljivosti podlag z utekočinjenim lesom merili stične kote poliuretanskega premaza iz utekočinjenega lesa (preglednica 6). V tem primeru je bila najnižja povprečna vrednost stičnega kota $116,6^\circ$, pri nezgoščeni smrekovini. Po velikosti izmerjenega stičnega kota je sledila zgoščena borovina, nato zgoščena smrekovina, najvišjo vrednost stičnega kota pa smo izmerili pri nezgoščeni borovini (128°). Kljub temu, da so stični koti pri poliuretanskem premazu iz utekočinjenega lesa po velikosti največji od vseh testiranih premazov, je navzem po končanem testu eden največjih. Zaključimo lahko, da premaz najslabše omaka površino, vendar po krivuljah iz Slika 63 vidimo, da je navzem premaza, po končanem testu, drugi največji. Če pogledamo krivulje navzema proti koncu testa, lahko ugotovimo enakomerno naraščanje navzema, ki je bolj strmo kot pri drugih premazih, zato sklepamo, da bi bil navzem premaznega sredstva po daljšem časovnem intervalu največji ravno pri poliuretanskem premazu iz utekočinjenega lesa.

Preglednica 6: Povprečne vrednosti stičnega kota poliuretanskega premaza iz utekočinjenega lesa na vseh vrstah preskušancev.

premaz iz utekočinjenega lesa [°]		σ [°]
nezgoščena smrekovina	116,6	9,2
zgoščena smrekovina	126,4	6,5
nezgoščena borovina	128,1	10,1
zgoščena borovina	124,3	7,1

Primerjava stičnih kotov glede na vrsto premaza pokaže, da je vse vrste podlag najslabše omakal ravno premaz iz utekočinjenega lesa (preglednica 6), vendar je imel drugi najboljši navzem (do 0,110 g), kakor je opisano v prejšnji točki. Nekoliko boljše je podlage omakala voda (nad 90°) z navzemom do 0,035g. Vrednosti okrog 90° je izkazoval tudi akrilni vodni lak, ki je dosegel tretji najvišji navzem (do 0,10 g). Naslednji po vrsti je bil utekočinjen les (do 79°), ki pa je imel največji navzem (do 0,12 g). najboljše pa sta podlage omakala olje (okrog 30°) in komercialni poliuretanski premaz (okrog 25°) (preglednica 5) s koti do 30° za olje ter njegovim navzemom do 0,04 g in do 27° za poliuretanski premaz z navzemom 0,02 g.

4.3 SPREMLJANJE IREVERZIBILNOSTI POVRŠINSKE ZGOSTITVE V ODVISNOSTI OD VRSTE PREMAZA

Ireverzibilnosti površinske zgostitve smrekovine in borovine nismo posebej preverili z dodatnimi testi in z mikroskopskim opazovanjem, temveč smo jo spremljali prek posnetkov, ki so nastali pri testih določanja navzema in stičnega kota. Pri nekaterih vzorcih se je ireverzibilna deformacija kar dobro opazila, saj se je del površine dvignol. Največjo ireverzibilno deformacijo smo opazili pri stiku zgoščenega lesa s premazi, ki površine slabo omakajo, saj je zaradi tega bila omočena releativno majhna površini in je bilo možno deformacije po stiku s površino lažje zaznati. Največjo deformacijo smo opazili pri vodi, sledil pa ji je poliuretanski premaz iz utekočinjenega lesa. Pri ostalih testnih premazih pa nismo zaznali večjih deformacij. Do ireverzibilne deformacije prihaja, ker se površina omoči in celična stena nabrekne, in se tako lumni deloma vrnejo v svojo prvotno obliko. Ob zaključku naj ponovimo, da je bila ireverzibilna deformacija najmanjša pri premazih z dobo omočljivostjo, torej manjšim stičnim kotom.

5 SKLEPI

Teste smo izvedli na realnih vzorcih površinsko zgoščene in nezgoščene smrekovine (*Picea abies*), ter zgoščene in nezgoščene borovine (*Pinus sylvestris*).

Določali smo navzem in stične kote šestih premazov in sicer:

- olje,
- akrilni vodni lak,
- poliuretanski lak,
- utekočinjen les, ki smo ga naredili sami iz smrekovine,
- poliuretanski premaz iz utekočinjenega lesa in
- vodo.

Navzemi oz. vpitje so si po velikosti sledili od največjega navzema do najmanjšega po navedenem vrstnem redu:

- utekočinjen les (od 0,080 - 0,120) g,
- poliuretanski premaz iz utekočinjenega lesa (0,040 - 0,110) g,
- akrilni vodni lak (od 0,080 - 0,100) g,
- olje (0,025 - 0,040) g,
- voda (0,010 - 0,035) g ter
- poliuretanski lak (0,010 - 0,020)

Stični koti oz. koti omakanja so nam povedali, kako premaz ali tekočina omaka površino testnega vzorca. pričakovali smo, da se bo z manjšim stičnim kotom oz. z boljšo omočljivostjo povečal tudi navzem. V praksi pa ni bilo povsem tako, saj so si stični koti od najboljšega do najslabšega omakanja sledili takole:

- poliuretanski lak (24°-27°),
- olje (28°- 31°),
- utekočinjen les (63°- 79°),
- akrilni vodni lak (85°- 95°),
- voda (95°-110°) ter
- poliuretanski premaz iz utekočinjenega lesa (116°-128°)

6 POVZETEK

Zaradi izboljšanja mehanske trdnosti les površinsko zgoštimo. Takšen površinsko zgoščen les bi lahko bil primeren za talne obloge, ki pa morajo biti ustrezno zaščitene z primernimi premaznimi sredstvi. Ker to področje še ni bilo raziskano, smo v magistrski nalogi testirali nekaj najpogostejših tekočin in premaznih sredstev, ki so bili voda, olje, akrilni vodni lak, poliuretanski lak na osnovi topil, utekočinjen les ter poliuretanski premaz iz utekočinjenega lesa. Ugotavljali smo navzem tekočin v površinsko zgoščeno in nezgoščeno borovino ter stične kote tekočin in premazov na površinah preizkušancev.

Prvi korak je bila priprava utekočinjenega lesa iz smrekovega lesa (*Picea abies*). Utekočinjanje je potekalo s pomočjo topil in katalizatorjev. Utekočinjenemu lesu smo določili hidroksilno število in ga uporabili za izdelavo poliuretanskega premaza, ki smo ga pripravili z dodajanjem izociatnega utrjevalca po izračunanem razmerju.

Določali smo navzem testnih tekočin in premazov v vzorce iz nezgoščene in zgoščene smrekovine in borovine. Narezane prizme smo obrusili s finim brusnim papirjem in jih označili z začetno črko vrste lesa in zaporedno številko. Vzorce smo posušili in jih klimatizirali. Vseh vzorcev za določanje navzema je bilo 240.

Pripravili smo tudi vzorce za določanje stičnega kota, ki pa so bili večji. Priprava vzorcev je potekala na enak način kot za določanje navzema. Vseh vzorcev za merjenje kota omočitve je bilo 40.

Nato je sledilo določanje navzema. Vzorcem smo na hrbtno stran na sredino ploskve zabili majhen žebliček, in preizkušanec nato vpeli v tenziometer Krüss K100. V čašico tenziometra smo nalili premaz in jo postavili na mizico tenziometra. Pri tem smo pazili, da sta bili ploskev vzorca in gladina premaznega sredstva vzporedni. Nato smo začeli z meritvijo, ki je potekala tako, da se je mizica tenziometra dvignila do stika z vzorcem, ko se je začelo avtomatsko tehtanje vzorca na vsaki 2 s. Podatke smo nato statistično obdelali s čimer smo prišli do ugotovitev da ima voda navzem (0,010 – 0,035) g, olje je imelo (0,025 – 0,040) g navzema, akrilni vodni lak (0,080 - 0,100) g, poliuretanski lak (0,010 - 0,020) g utekočinjen les (0,080 - 0,120) g poliuretanski premaz iz utekočinjenega lesa (0,040 - 0,110) g. Iz rezultatov vidimo, da je pri vseh vrstah podlage prišlo do dveh skupin premazov, in sicer prva skupina z dobrim navzemom v katero spadajo utekočinjen les, poliuretanski

premaz iz utekočinjenega lesa ter akrilni vodni lak. Drugo skupino s slabšim navzemom pa so sestavljali voda, olje in poliuretanski lak. Na vseh podlagah je največji navzem dosegel utekočinjen les, vendar sam kot tak ni primeren za površinsko zaščito. Iz diagramov pa je lepo razvidno, da bi v nekoliko daljšem časovnem intervalu vpijanja imel dosti večji navzem poliuretanski premaz iz utekočinjenega lesa, saj njegova krivulja pri obeh vrstah in lastnostih lesa najstrmeje narašča. Kot drugi najprimernejši premaz pa je akrilni vodni lak, ki dosega kar dobra omakanja.

Na koncu je sledil test določanja stičnega kota. Preizkuse smo izvedli s pomočjo stereomikroskopa Olympus SZH, ki je omogočal računalniški zajem slike oz. videa. Pred objektiv smo postavili stojalo, na katerega smo postavili vzorec. Na drugo stojalo smo vpeli injekcijo z iglo, v katero smo vsrkali premazno sredstvo. Stojalo z vzorcem smo nastavili tako, da sta se na zajeti sliki videla del čela in zgornja ravnina vzorca. Injekcijo smo postavili nad vzorec in iglo spustili do višine, da se je v programu videlo le delček konjice. Ko so bile mehanske nastavitve končane, smo začeli s snemanjem in na površino previdno iztisnili majhno kapljico premaza. Ko se je premaz dotaknil ravnine vzorca, smo po 10-15 sekundah prenehali s snemanjem. Posnetke smo obdelali tako, da smo 5 s po stiku kapljice z vzorcem zajeli sliko in izmerili širino in višino kapljice. Iz dobljenih podatkov smo izračunali stične kote, ki so potrdili teoretične hipoteze in sicer večji kot je bil kot, slabše je bilo omakanje in manjši navzem. Če gledamo stične kote z standardnim odklonom ugotovimo, da je razlika med stičnimi koti skorajda nična. Ob samih povprečjih kotov pa vidimo zanimivost, da ima premaz iz utekočinjenega lesa največje stične kote, kar pomeni, da kljub najslabšemu omakanju doseže dober navzem. Najbolje omaka poliuretanski lak zaradi svoje polarnosti, kljub njegovemu slabemu navzemu. V to skupino spada tudi olje, ki ima drugi najboljše rezultate. Ob PU laku ter olju pa imamo tudi utekočinjen les. Ostali premazi pa imajo stične kote nad približno 100° . Tako lahko zaključimo, da je za površinsko zgoščen les, za talne obloge, najbolj primeren poliuretanski premaz iz utekočinjenega lesa ter akrilnim vodni lak.

7 VIRI

Amal d.o.o.

<http://amal.si/sl-SI/47285/laki>

Bayer MaterialScience. 2010. Desmodur L 75 - Product information.

<http://www.bayermaterialsciencenafta.com/resources/d/document.cfm?Mode=view&f=102477A0-C0BA-9829-32F19B199E6A00FB&d=DE22473C-DB68-072A-9A9349AC510B9079> (18.6. 2010)

Belinka. 2012. Olje za les v stiku z živili

<http://www.belmojster.net/izdelki/?izdelek=1&ID=716>

Blanchette R. A., Obst J. R., Timell T. E. 1994. Biodegradation of compression wood and tension wood by white and brown rot fungi. *Holzforschung*, 48: 34–42

Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Opisi lesnih vrst. Gradivo za predavanja. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 185 str

Čuk N. 2008. Optimizacija utekočinjanja lesa različnih drevesnih vrst. Diplomsko delo, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 3-7

Fengel D., Wegener G. 1984. Wood: chemistry, ultrastructure, reaction. Berlin, Walter de Gruyter: 613 str.

Honglu X., Tiejun S. 2006. Wood liqefaction by ionic liquids. *Holzforsschung*, 60, 5: 509-512

Inoue M., Norimoto M., Tanahashi M., Rowell R. M. 1993. Steam or heat fixation of compressed wood. *Wood and Fiber Science*, 25, 3: 224-235

- Jan N., 2013. Sinteza in karakterizacija poliuretanskih premazov iz utekočinjene skorje. mag. delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, odd. za lesarstvo: 50 str
- Kamke F. A., Sizemore H. 2008. Viscoelastic thermal compression of wood. ZDA patentna prijava. ZDA št. patenta, 7.404.422
- Kobayashi M, Asano T., Kajiyama M., Tomita B. 2004. Analysis on residue formation during wood liquefaction with polyhydric alcohol. *Journal of wood science*, 50, 5: 407-414
- Kollmann F. P., Cote W. A. 1968. Principles of wood science and technology, solid wood. Heidelberg, Springer-Verlag: 592 str
- Kollmann F. P., Kuenzi E. W., Stamm A. J. 1975. Principles of wood science and technology, woodbased materials. Heidelberg, Springer- Verlag: 703 str.
- Kotnik D. 2003. Površinska obdelava v izdelavi pohištva. 2 izdaja. Brzovica, Finitura d.o.o.: 183 str.
- Kutnar A., Dick s., Peer H. 2015. Compressed and moduled wood from processing to product – a review, 69, 7: 1-13
- Kržan A., Kunaver M. 2005. Microwave heating in wood liquefaction. *Journal of applied polymer science*, 101, 2: 1051-1056
- Kutnar A., Kamke F. A. 2012. Compression of wood under saturated steam, superheated steam, and transient conditions at 150°C, 160°C, and 170°C. *Wood Science and Technology*, 46, 1/3: 73-88
- Kutnar A., Kamke F. A., Šernek M. 2008a. The mechanical properties of densified VTC wood relevant for structural composites. Review of research. *European Journal of Wood and Wood Products*, 66, 6: 439-446

- Kutnar A., Kamke F. A., Šernek M. 2009. Density profile and morphology of viscoelastic thermal compressed wood. *Wood Science and Technology*, 43, 1/2: 57-68
- Kutnar A., Petrič M., Kamke F. A., Šernek M. 2008b. The influence of viscoelastic thermal compression on the chemistry and surface energetics of wood. *Colloids and Surfaces A, Physicochemical and Engineering Aspects*, 329: 82-86
- Kutnar A., Šernek M. 2009 Vpliv viskoelastične toplotne zgostitve na adhezijski potencial lesa. *Les*, let. 61, št. 4, str. 134-140.
- Lee W.J., Liu C.T. 2003. Preparation of liquefied bark-based resol resin and its application to particle board. *Jurnal of applied polymer science*, 87, 11: 1837-1841
- Leksikon kemija. 2004. Tržič, Učila International, založba, d.o.o.: 442 str.
- Lesar B., Humar M., Kamke F.A., Kutnar A. 2013. Influence of the thermo –hydro - mechanical treatments of wood on the performance against wood - degrading fungi. *Wood Science and Technology*, vol. 47, str. 977-992
- Maldas D., Shiraishi N. 1996. Liquefaction of wood in the presence of phenol using sodium hydroxide as a catalyst and some of its characterizations. *Polymer-plastics technology and engineering*, 35: 917-933
- Morsing N. 2000. Densification of wood – the influence of hygrothermal treatment on compression of beech perpendicular to the grain. Department of structural engineering and materials technical university of Denmark, 79: 138 str.
- Pavlič M., 2009. Lastnosti površinskih premazov v odvisnosti od njihovih interakcij s termično modificiranim lesom. Doktorska disertacija, univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta., str.: 31-38
- Petrič M. 2012. Študijsko gradivo pri predmetu Površinska obdelava lesnih izdelkov.

Rep G. 2008. Modificiran les. Lesarski utrip, 14, 2:22-23

Rowell R.M. 2005. Handbook of wood chemistry and wood composites. Boca Raton, CRC Press: 487 str.

Seborg R. M., Millet M. A., Stamm A. J. 1945. Heat-stabilized compressed wood. Staypak. Mechanical engineering, 67: 25-31

Skyba O., Niemz P., Schwarze F. W. M. R. 2009. Resistance of thermohygro-mechanically (THM)-densified wood to degradation by white rot fungi. Holzforschung, 63, 639–646

Thaler N., 2010. Izboljšanje impregnabilnosti smrekovine z Biovrezovanjem. Ljubljana, Diplomsko delo: 47 str.

Tišler V. 2002. Utekočinjen les in njegova uporaba. Ljubljana, Revija Les: 281-284 str.

Tišler V. 2004. Kemična predelava lesa. Študijski pripomoček pri predmetu Kemična predelava lesa.

Tohmura S., Li G., Qin T. 2005. Preparation and characterization of wood polyalcoholbased isocyanate adhesives. Journal of applied polymer science, 98: 791-795

Vranjek M., 2009. Površinska obdelava in zaščita lesa. Ljubljana, gradivo za 1. letnik: 59 str

Zule J. 2004. Možnost celovite izrabe lignocelulozne biomase v celulozni in papirni industriji. Les, 56, 1-2: 4-9

ZAHVALA

Najlepše se zahvaljujem mentorju prof. dr. Marku Petriču za hitro in strokovno pomoč pri izvedbi eksperimentalnega dela in napotke z nasveti pri pisanju naloge. Zahvala gre tudi somentorju dr. Matjažu Pavliču, za vso pomoč in vodenje pri eksperimentalnem delu, ter napotke za pisanje naloge. Najlepša hvala tudi recenzentki dr. Andreji Kutnar za strokovno recenzijo.

Zahvalil bi se še mlademu raziskovalcu Pavlu Poriju in strokovnemu svetniku Borutu Kričanju za pripravo, podporo in izvedbo laboratorijskega dela.

Zahvalil bi se tudi vsem profesorjem in profesoricam za vso pomoči pri študiju in izdelavi te naloge.

Na koncu pa se še zahvaljujem staršem za moralno in finančno podporo ter vsem ostalim, ki so me v času izdelave magistrske naloge kakorkoli podpirali. Posebna zahvala pa gre moji partnerici Nini za vso pomoč in podporo skozi celotno nalogo.

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Tomaž ČERNE

**PENETRACIJA PREMAZOV V POVRŠINSKO
ZGOŠČEN LES**

MAGISTRSKO DELO

Magistrski študij – 2. stopnja

Ljubljana, 2016