

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Uroš FIRŠT

**VPLIV VRSTE LEPILA PRI IZDELAVI IVERNIIH
PLOŠČ NA TLAK SPROŠČANJA OB IZPOSTAVITVI
DELOVANJU VODE**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

**IMPACT OF ADHESIVE TYPE AT PARTICLEBOARD
MANUFACTURING AT PRESSURE RELAX WHEN
EXPOSED TO WATER ACTIVITY**

GRADUATION THESIS

University studies

Ljubljana, 2008

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija lesarstva. Delo je bilo opravljeno v laboratoriju Katedre za žagarstvo in lesna tvoriva Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval doc. dr. Sergeja Medveda, za recenzentko pa doc. dr. Dominiko Gornik Bučar.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

KLJUČNA INFORMACIJSKA DOKUMENTACIJA

- ŠD Dn
- DK UDK 630*862.2:630*824.86
- KG iverna plošča/UF lepilo/MF lepilo/debelinski nabrek/sila nabreka
- AV FIRŠT, Uroš
- SA MEDVED, Sergej (mentor)/GORNIK BUČAR, Dominika (recenzentka)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
- LI 2008
- IN VPLIV VRSTE LEPILA PRI IZDELAVI IVERNIH PLOŠČ
NA TLAK SPROŠČANJA OB IZPOSTAVITVI DELOVANJU VODE
- TD Diplomsko delo (univerzitetni program)
- OP VIII, 45 str., 18 pregl., 24 sl., 11 vir.
- IJ sl
- Jl sl/en
- AI Raziskali smo vpliv vrste in deleža lepila na debelinski nabrek in tlak sproščanja pri nabreku. Za izdelavo plošč smo uporabili iverje iz tovarne Otiški Vrh, UF in MF lepilo. Plošče smo izdelali pri laboratorijskih pogojih s 6,00 % do 9,00 % deleži lepila v srednjem sloju ter 10,00 % do 13,00 % v zunanjem. Med stiskanjem smo merili spremembo temperature v sredini plošče, v prehodu med zunanjim in srednjim slojem ter prehodom med iverno in grelno ploščo stiskalnice. Debelinski nabrek smo določevali z metodo 24 urne potopitve preizkušancev v vodo. Silo oz. tlak sproščanja ob potopitvi smo merili 24 ur. Ugotovili smo, da imajo plošče zlepljene z melamin-formaldehidnim lepilom manjši debelinski nabrek kot tiste zlepljene z urea-formaldehidnim. Pri uporabi melamin-formaldehidnega lepila smo prav tako ugotovili manjše sile, ki se sprostijo ob nabrekanju. Z manjšanjem debelinskega nabreka se manjša tudi sila (tlak sproščanja ob nabreku). Pri UF lepilu smo dosegli večje spremembe sile (tlak sproščanja ob nabreku) pri spreminjanju deleža lepila v srednjem sloju. Sila (tlak sproščanja ob nabreku) in debelinski nabrek hitreje naraščata v začetni fazi izpostavitve vodi.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
DC UDC 630*862.2:630*824.86
CX particleboard/UF resin/MF resin/thickness swelling/swelling stress
AU FIRŠT, Uroš
AA MEDVED, Sergej (supervisor)/GORNIK BUČAR, Dominika (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2008
TI IMPACT OF ADHESIVE TYPE AT PARTICLEBOARD MANUFACTURING AT PRESSURE RELAX WHEN EXPOSED TO WATER ACTIVITY
DT Graduation Thesis (University studies)
NO VIII, 45 p., 18 tab., 24 fig., 11 ref.
LA sl
AL sl/en
AB The impact of adhesive type and its share on swelling stress and thickness swelling of particleboards was researched. To make particleboards particles from Otiški Vrh Particleboard Factory were glued with urea-formaldehyde or melamine-formaldehyde resin. Particleboards were made in laboratory conditions with 6.00 % – 9.00 % share of glue in the core layer, and 10.00 % – 13.00 % in the surface layer. During the compression the temperature change was measured in the middle of the particleboard, intersection core and surface layer, and in intersection between surface layer and heating plate. Thickness swelling was determined with 24 hour water immersion test. Swelling stresses were measured for 24 hours. It was determined that particleboards glued with MF resin had lower thickness swelling than those glued with UF resin. Particleboards glued with MF resin had a lower swelling stress. It was also determined that by reducing the thickness swelling the swelling stress reduces too. Using UF resin we achieved bigger changes of swelling stress by changing the share of glue in core layer. Swelling stress and thickness swelling increase faster in 1st. phase when exposed to water.

KAZALO VSEBINE

	stran
KLJUČNA INFORMACIJSKA DOKUMENTACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 DELOVNE HIPOTEZE	2
1.3 CILJI NALOGE IN NAMEN	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 DEBELINSKI NABREK	3
2.2 SILA (TLAK SPROŠČANJA OB NABREKU).....	4
3 MATERIAL IN METODE	5
3.1 MATERIAL	5
3.1.1 Lepilo in dodatki	5
3.1.2 Iverje	5
3.2 METODE	5
3.3 MERJENJE SILE (TLAK SPROŠČANJA OB NABREKU).....	8
4 REZULTATI	10
4.1 VLAŽNOST IVERJA	10
4.2 GOSTOTA IVERNIH PLOŠČ	11
4.3 GRADIENT TEMPERATURE V IVERNI PLOŠČI	11
4.4 DEBELINSKI NABREK	13
4.4.1 Debelinski nabrek po 24 urah	14
4.5 SPREMEMBA MASE	15
4.6 SILA (TLAK SPROŠČANJA OB NABREKU).....	16
4.6.1 Vzorec plošče UF(10,00/7,50)	17
4.6.2 Vzorec plošč UF(11,50/7,50)	18
4.6.3 Vzorec plošč UF(13,00/7,50)	19
4.6.4 Vzorec plošč UF(13,00/6,00)	20
4.6.5 Vzorec plošč UF(11,50/9,00)	21

4.6.6	Vzorec plošč MF(11,50/7,50)	22
4.6.7	Vzorec plošč MF(13,00/7,50)	23
4.6.8	Vzorec plošč MF(10,00/7,50)	24
4.6.9	Vzorec plošč MF(13,00/6,00)	25
4.6.10	Vzorec plošč MF(11,50/9,00)	26
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	30
5.1	MAKSIMALNA SILA V ODVISNOSTI OD DELEŽA IN VRSTE LEPILA.....	30
5.1.1	Sila pri uporabi UF lepila	30
5.1.2	Sila pri uporabi MF lepila	31
5.2	KORELACIJA MED SILO IN DEBELINO NABREKA.....	32
5.3	ČAS, V KATEREM JE BILA HITROST NABREKANJA NAJVEČJA	34
5.4	NAJVEČJI TER NAJMANJŠI NABREK GLEDE NA SPREMEMBO DELEŽA IN VRSTE LEPILA	36
5.5	POVEZAVA TEMPERATURE IN VLAŽNOSTI SLOJA.....	37
5.6	ČAS, KO TEMPERATURA V POSAMEZNEM SLOJU PLOŠČE DOSEŽE 100°C	37
5.7	DEBELINSKI NABREK TER SILA IN OBLEPLJENOST POSAMEZNEGA SLOJA.....	38
5.8	SKLEPI	40
6	POVZETEK (SUMMARY).....	41
7	VIRI.....	43
ZAHVALA		

KAZALO PREGLEDNIC

	stran
Preglednica 1: Lastnosti lepila, ki smo ga uporabili za izdelavo ivernih plošč.	5
Preglednica 2: Parametri lepljenja oz. stiskanja.....	6
Preglednica 3: Vsebnost vlage neoblepljenega in oblepljenega iverja glede na vrsto plošče. 10	10
Preglednica 4: Gostota posamezne iverne plošče glede na vrsto in delež lepila.....	11
Preglednica 5: Debelinski nabrek in sprememba mase po 24 urni izpostavitvi vodi.....	13
Preglednica 6: Sprememba debeline glede na čas potopitve.....	13
Preglednica 7: Debelinski nabrek pri uporabi urea - formaldehidnega lepila ter različnih oblepljenjih.....	14
Preglednica 8: Debelinski nabrek pri uporabi melamin - formaldehidnega lepila ter različnih oblepljenjih.....	14
Preglednica 9: Sprememba mase pri uporabi urea - formaldehidnega lepila ter različnih oblepljenjih.....	15
Preglednica 10: Sprememba mase pri uporabi melamin - formaldehidnega lepila ter različnih oblepljenjih.....	15
Preglednica 11: Sila po 24h izpostavitvi vodi pri uporabi urea – formaldehidnega lepila	27
Preglednica 12: Sila po 24h izpostavitvi vodi pri uporabi melamin – formaldehidnega lepila	27
Preglednica 13: Naklon premice α in β pri uporabi urea – formaldehidnega lepila	28
Preglednica 14: Naklon premice α in β pri uporabi melamin – formaldehidnega lepila	28
Preglednica 15: Čas, v katerem se premici stikata pri uporabi urea – formaldehidnega lepila	29
Preglednica 16: Čas, v katerem se premici stikata pri uporabi melamin – formaldehidnega lepila	29
Preglednica 17: Čas, ko temperatura v posameznem sloju doseže 100°C	38
Preglednica 18: Sila pri različnih deležih lepila.....	39

KAZALO SLIK

	stran
Slika 1: Naprava za merjenje vlažnosti iverja.....	6
Slika 2: Razporeditev merilcev za merjenje temperature v plošči med stiskanjem.....	7
Slika 3: Shema razžagovanja.....	7
Slika 4: Shema testiranja sile (tlak sproščanja ob nabreku).....	8
Slika 5: Prikaz kota α in kota β	9
Slika 6: Gradient temperature v iverni plošči.....	12
Slika 7: Potek sile za plošči 01,02.....	17
Slika 8: Potek sile za plošči 03,04.....	18
Slika 9: Potek sile za plošči 05,06.....	19
Slika 10: Potek sile za plošči 07,08.....	20
Slika 11: Potek sile za plošči 09,10.....	21
Slika 12: Potek sile za plošči 11,12.....	22
Slika 13: Potek sile za plošči 13,14.....	23
Slika 14: Potek sile za plošči 15,16.....	24
Slika 15: Potek sile za plošči 17,18.....	25
Slika 16: Potek sile za plošči 19,20.....	26
Slika 17: Maksimalna sila pri uporabi UF lepila.....	30
Slika 18: Maksimalna sila pri uporabi MF lepila.....	31
Slika 19: Razmerje med debelinskim nabrekom in silo pri uporabi UF lepila.....	32
Slika 20: Razmerje med debelinskim nabrekom in silo pri uporabi UF lepila.....	33
Slika 21: Naklon premice α in kota β pri uporabi UF lepila.....	34
Slika 22: Naklon premice α in kota β pri uporabi MF lepila.....	34
Slika 23: Čas sekanja premice pri določenem deležu ter vrsti lepila.....	35
Slika 24: Debelinski nabrek glede na vrsto in delež lepila.....	36

1 UVOD

Iverna plošča je vsestransko uporaben lesni ploščni kompozit, predvsem zaradi njene ploskovitosti, dimenzijske stabilnosti (predvsem v horizontalni smeri) in homogenosti. Izdelane so iz iverja lesa ali drugih lignoceluloznih materialov, zlepljenih s pomočjo sintetičnih lepil, toplote in visokega tlaka. Mehanske in fizikalne lastnosti ivernih plošč so v veliki meri odvisne od uporabljene vhodne surovine, torej drevesne vrste in vezivnega sredstva. Uporabimo lahko tako les iglavcev (smreka) kot les listavcev (bukev, hrast, topol, jelša, ...). Velika prednost ivernih plošč je možnost uporabe manjvrednih sortimentov (krajniki, veje, furnirski ostanki, skobljanci, ...). S tem se je povečal izkoristek lesa kot surovine, močno pa se je poenostavil tudi tehnološki postopek izdelave lesnih izdelkov. Kot vezivno sredstvo največkrat uporabljamo urea – formaldehidno lepilo (poceni), fenol – formaldehidno, melamin – formaldehidno ter izocianatno lepilo.

Iverne plošče in lesna tvoriva nasploh so v primerjavi z masivnim lesom dimenzijsko bolj stabilna v horizontalni smeri (dolžini in širini). Pri ivernih ploščah se dimenzijska nestabilnost kaže predvsem v vertikalni smeri in sicer po debelini (debelinski nabrek).

Dimenzijska stabilnost je odvisna tako od uporabljenega lesa, kakor tudi od uporabljene vrste vezivnega sredstva. Čeprav je vezivnega sredstva v ivernih ploščah v primerjavi z lignoceluloznim materialom malo (približno 10%), pa je pomemben dejavnik pri zmanjševanju nabreka plošč. V proizvodnji ivernih plošč se v današnjem času uporabljata predvsem urea-formaldehidno in melamin-formaldehidno lepilo.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Pri uporabi ivernih plošč se kot velika pomanjkljivost omenja debelinski nabrek, zato smo se odločili raziskati vpliv UF lepila ter MF lepila na nabrek in silo (tlak sproščanja ob nabreku) iverne plošče. Že lastnosti lepila nam nakazujejo, da bo nabrek in sila manjša pri uporabi MF lepila. Pomembnost pri nabreku in sili ima tudi delež lepila v posameznem sloju. Iverna plošča z večjim deležem lepila v pogači bo imela manjši nabrek in silo.

1.2 DELOVNE HIPOTEZE

Za ugotavljanje vpliva vrste lepila na nabrek ivernih plošč smo uporabili UF in MF lepilo. Glede na lastnosti omenjenih lepil predvidevamo, da:

- zaradi dejavnika, da uporaba melamin – formaldehidnega lepila ustvarja kvalitetnejše spoje v iverni plošči, predvidevamo, da bodo plošče, kjer uporabljamo urea – formaldehidno lepilo imele večji debelinski nabrek ter tudi večjo silo.
- debelinski nabrek pri isti oblepljenosti iverne plošče bo večji pri uporabi urea – formaldehidnega lepila kot pri uporabi melamin – formaldehidnega lepila.
- Sila (tlak sproščanja ob nabreku) pri isti oblepljenosti iverne plošče bo večja pri uporabi urea – formaldehidnega lepila kot pri uporabi melamin – formaldehidnega lepila.
- tako pri debelinskem nabreku, kot tudi pri sili, bodo večje spremembe vidne pri spremembi oblepljenosti iverja v srednjem sloju iverne plošče kot pri spremembi oblepljenosti iverja v zunanjem sloju.

1.3 CILJI NALOGE IN NAMEN

Namen raziskave je ugotoviti, kako vrsta lepila uporabljenega za izdelavo ivernih plošč vpliva na tlak sproščanja, če le te izpostavimo delovanju vode ter kakšne so razlike, če spreminjamo delež lepila v posameznem sloju iverne plošče.

2 PREGLED OBJAV

2.1 DEBELINSKI NABREK

Debelinsko nabrekanje ivernih plošč je poleg upogibne trdnosti, modula elastičnosti in razslojne trdnosti, najpomembnejša lastnost. Na debelinsko nabrekanje vplivajo številni dejavniki, kot so uporabljena drevesna vrsta, velikost iverja, deleža lepila in parafinske emulzije, debelina plošč, prostorninska masa plošč in velikost obruska. Poleg navedenega vpliva na nabrekanje tudi čas izpostavitve delovanja vode, velikost vzorcev in delež površine roba. V prvih šestih urah debelinski nabrek narašča hitreje, nekoliko počasneje pa nadaljnjih 18 ur.

Velikost nabreka pri ivernih ploščah pri potapljanju se v veliki meri odraža zaradi napetosti lesa, ki hoče nazaj v prvotno pozicijo. (Klauditz 1956)

Pri razmerju med nabrekom, vrsto lepila ter faktorjem oblepljenja je ugotovljeno, da je vez med lepilom in iverjem močnejša, če povečamo faktor oblepljenja, medtem ko se debelinski nabrek in absorpcija vode zmanjšata (Schneider 1996).

Stegmann in Kratz sta raziskovala nabrek z urea-formaldehidnim lepilom lepljene iverne plošče različnih gostot ($0,45 - 0,75\text{g/cm}^3$) in z različnimi faktorji oblepljenja (7,4 – 13,8%). Pri potapljanju sta pri tem ugotovila, da tako gostota, kot vsebnost veziva vplivata na nabrek iverne plošče v vodi, gostota celo bolj, kot vsebnost veziva. S povečanjem gostote iverne plošče se je povečal tudi nabrek, medtem ko je dodajanje gostote veziva povzročilo ravno obraten proces.

Mehansko – tehnološke lastnosti ivernih plošč so odvisne tudi od njihove dimenzije in oblike lesnih delcev, kot tudi od tega, kako se jih v ploščo vgradi. Poleg tega pa na lastnosti iverne plošče odločilno vpliva tudi razporeditev in količina veziva (May 1978).

Lehmann (1974) sicer ni našel odločilnega vpliva debeline plošč na njihovo obnašanje v vlažnem okolju, kljub temu pa se je v tendenci izkazal manjši nabrek pri dolgih vzorcih, kot pri ploskih in širokih.

2.2 SILA (TLAK SPROŠČANJA OB NABREKU)

Sila (tlak sproščanja ob nabreku) je odvisna od nabreka samega ter od gostote materiala. Ko se sila povečuje, je večji tudi debelinski nabrek. To je najbolj očitno vidno, ko so uporabljeni bolj zgoščeni materiali (Niemz and Steinmetzler, 1992).

Sila (tlak sproščanja ob nabreku) se pojavi, ko se voda vpije v celično steno in mikroskopsko majhne prazne prostore. Sila pri sobni temperaturi presega 148 N/mm^2 , pri pogoju, ko je les izpostavljen 30% relativni vlažnosti ter je vzorec izpostavljen v nasičenem okolju. Sila v lesu se poveča s povečanjem gostote lesa. Sila ni edini razlog, da les nabrekne, ampak so razlog tudi zlomi znotraj vlaken (Tarkov and Turner, 1958).

Difuzija se zgodi, ko so prazni prostori majhni. Ko se vodni hlapci vpijejo v celično steno in prazne prostore, to povzroči premik tankih vlaken, kar posledično povzroči silo (Skaar, 1988).

Ko so lesene plošče izpostavljene tekoči vodi ali vodnim hlapom, se začnejo lepilne vezi razdirati, zaradi česar kot posledica nastane sila (Rice and Wang, 2002).

Medved in sod. so ugotovili, da je sila višja v primeru večjih vzorcev ($50 \times 50 \text{ mm}$), kot pa pri manjših ($25 \times 25 \text{ mm}$). Tudi čas, da dosežemo želeno silo, je večji v primeru večjih vzorcev.

Zaradi prodora vode v vzorec nastanejo v vzorcu napetosti. Zaradi napetosti se pojavijo sile v vzorcih, zato smo se odločili, da predstavimo, kako se sila v vzorcih spreminja pri različnih oblepljenosti tako zunanje, kot tudi srednjega sloja.

3 MATERIAL IN METODE

3.1 MATERIAL

3.1.1 Lepilo in dodatki

Pri izdelavi ivernih plošč smo uporabili urea – formaldehidno ter melamin formaldehidno lepilo. Kot dodatek k lepilni mešanici smo dodali še parafinsko emulzijo (60% suhe snovi) in utrjevalec (20% raztopina NH_4Cl). Utrjevalec smo dodali zgolj mešanici za srednji sloj. Lastnosti lepila so predstavljene v preglednici 1.

Preglednica 1: Lastnosti lepila, ki smo ga uporabili za izdelavo ivernih plošč.

Lastnosti lepila		
	Urea-formaldehidno lepilo	Melamin-formaldehidno lepilo
Iztočni čas (s)	84,86	50,82
Vsebnost suhe snovi (%)	67,37	46,53
Čas želiranja (s)	77,95	98,51
Temperatura lepila (°C)	21,67	22,73
pH vrednost lepila (pH)	7,59	9,11

3.1.2 Iverje

Iverje za srednji in zunanji sloj smo dobili iz Tovarne ivernih plošč Otiški Vrh. Iverje je bilo odvzeto pred strojem za oblepljenje. Iverje je ploščato ter sestavljeno iz iverja listavcev (25%), ter iverja iglavcev (75%).

3.2 METODE

Za izdelavo iverne plošče smo uporabili 1028 g iverja (H = 0%) za izdelavo dveh zunanjih slojev ter 1543 g iverja (H = 0%) za izdelavo srednjega sloja iverne plošče. Za izdelavo zunanjega sloja smo porabili 17,14 g lepilne mešanice (S. S. =100%), za izdelavo srednjega sloja pa 46,93 g lepilne mešanice (S. S. =100%).

Iverje smo sušili pri temperaturi 65°C do vlažnosti pod 4% .

Vlažnost iverja smo merili v laboratorijskem merilniku vsebnosti vlage (MOISTURE meter / balance – UM 200 IMAL), ki deluje na gravimetrijskem principu (slika 1).



Slika 1: Naprava za merjenje vlažnosti iverja

Po končanem sušenju smo iverje oblepili v laboratorijskem stroju za oblepljanje. Delež dodanega lepila je bil med 10,00% do 13,00% za zunanji in 6,00% do 9,00% za srednji sloj.

Z vsakim lepilom smo naredili 5 vrst plošč, pri katerih sta bila tako srednji kot tudi zunanji sloj drugače oblepljena. Naredili smo plošče z naslednjimi faktorji oblepljenja:

- Zunanji sloj 10,00%, srednji sloj 7,50%
- Zunanji sloj 11,50%, srednji sloj 6,00%
- Zunanji sloj 11,50%, srednji sloj 7,50%
- Zunanji sloj 11,50%, srednji sloj 9,00%
- Zunanji sloj 13,00%, srednji sloj 7,50%

Oblepljeno iverje smo nato natresli v okvir dimenzij 500×500 mm. Okvir je bil nameščen na natresno pločevino. Lepljenje oz. stiskanje je potekalo v laboratorijski stiskalnici. Parametri lepljenja oz. stiskanja so vidni v preglednici 2.

Preglednica 2: Parametri lepljenja oz. stiskanja

Temperatura plošče (°C)	Tlak (bar)	Čas (s)
180	90	240

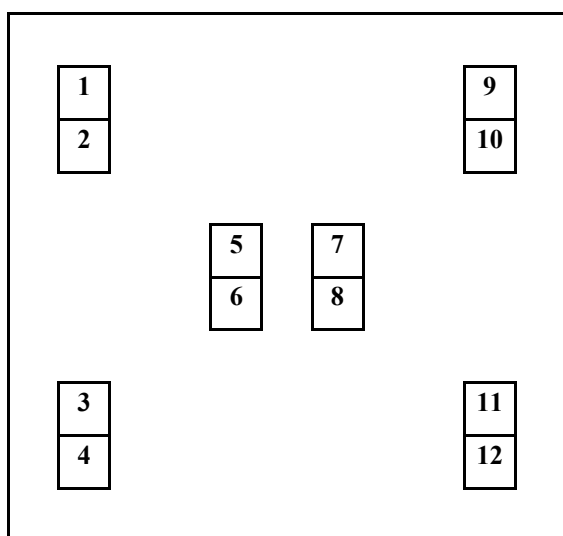
Med stiskanjem smo merili spremembo temperature v plošči. Spremembo smo merili v sredini plošče, na prehodu med zunanjim in srednjim slojem plošče ter na prehodu med ploščo stiskalnice in iverno ploščo (Slika 2).



Slika 2: Razporeditev merilcev za merjenje temperature v plošči med stiskanjem

Po stiskanju smo ploščo 60 minut ohlajali pri temperaturi 25°C in relativni zračni vlažnosti 45±5%. Po 60 minutah smo ploščo postavili v komoro s temperaturo 20°C in relativno zračno vlažnostjo 65%.

Na formatnem krožno razžagovalnem stroju smo ploščo razžagali, glede na shemo razžagovanja (Slika 3) in vzorce ponovno postavili v komoro, da se klimatizirajo.

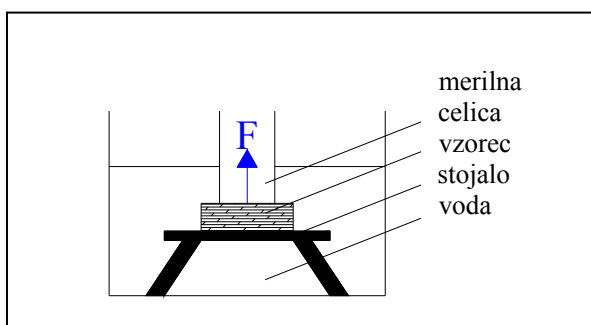


Slika 3: Shema razžagovanja

Po končani klimatizaciji smo eno serijo (vzorci 2, 4, 6, 8, 10, 12) preizkušancev potopili v vodo, s ciljem določitve debelinskega nabreka v odvisnosti od časa izpostavitve delovanju vode. Debelinski nabrek smo ugotavljali eno, dve, tri, štiri, šest in štiriindvajset ur po potopitvi.

3.3 MERJENJE SILE (TLAK SPROŠČANJA OB NABREKU)

Silo smo merili z napravo Zwick Z100. Naprava je sestavljena iz ogrodja in delovne glave na kateri smo imeli merilni trn, ki se pomika v vertikalni smeri. Trn je povezan z računalnikom in programom, ki nam zapisuje meritve na vsakih 15 sekund (oz. glede na nastavitve programa). Zaradi daljšega časa merjenja in nadaljnje obdelave podatkov smo se odločili za zapis meritev vsakih 15 sekund. V spodnjem delu naprave je bil fiksno pritrjen podstavek na katerega smo položili plastično čašo, v kateri je bilo nameščeno stojalo na katerega smo postavili preskušanec. Stojalo je imel izvrtane luknje, da je voda prišla do vzorca tudi iz spodnje strani. Preskušanec smo postavili na perforirano stojalo in mu približali merilno tipalo, preko katerega smo merili silo nabrekanja (slika 4). Tako vpet preskušanec smo, po preteku 100 s prelili s 700 ml destilirane vode, ki je imela temperaturo 20° C in vrednostjo pH=7. Količina 700 ml je bila potrebna zato, da so bili vsi preskušanci obdani z enako količino vode. Nad preskušanci je bilo vedno 25 mm vode, kar je pomenilo, da je bil tlak vode, ki je deloval na preskušanec, vedno enak. Voda je lahko prodirala v preskušanec s petih strani. Edina zaprta površina je bila površina, ki je bila v stiku z merilnim tipalom. Površina merilnega tipala je bila 380 mm².

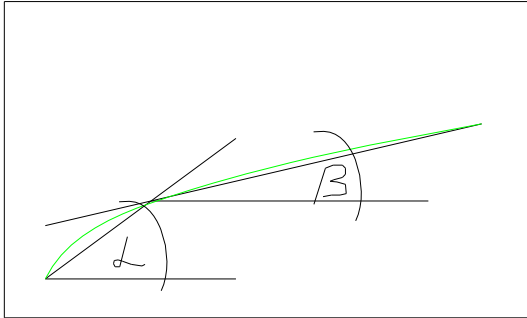


Slika 4: Shema testiranja sile (tlak sproščanja ob nabreku)

Iz dobljenih podatkov smo določili:

- silo po 24h (podatek, ki pove kakšna je sila pri 24 urni izpostavitvi vzorca v vodi),

- kot α , ki nam predstavi naklon premice ter kako narašča sila v začetni fazi izpostavitvi vodi (Slika 5),
- kot β , ki nam predstavi naklon premice in kako narašča sila v nadaljevanju, ko je vzorec izpostavljen vodi (Slika 5),
- čas, ko se premici sekajo.



Slika 5: Prikaz kota α in kota β

Zgornja slika (Slika 5) nam prikazuje potek sile (tlak sproščanja ob nabreku) ter kako smo glede na silo zastavili premici, ki jo razdelita na dve območji. Najprej smo glede na graf zarisali linearno premico, ki je prikazovala, od kdaj sila narašča približno linearno (Kot β). Točko, kjer se je graf odlepil od linearne premice, smo poimenovali čas, ko se premici sekata. Od začetka izpostavitve vodi pa do te točke smo zarisali drugo premico (Kot α). Glede premic smo se odločili, da jim določimo naklon, saj le-ta veliko pove o hitrosti naraščanja sile.

4 REZULTATI

4.1 VLAŽNOST IVERJA

V preglednici 3 lahko vidimo vsebnost vlage iverja po končanem sušenju in končanem oblepljenju.

Preglednica 3: Vsebnost vlage neoblepljenega in oblepljenega iverja glede na vrsto plošče.

Vzorec		Delež lepila		Vlažnost iveri (%)		Vlažnost oblepljenega iverja (%)	
		ZS	SS	Zunanji sloj	Srednji sloj	Zunanji sloj	Srednji sloj
C	UF lepilo	10,00	7,50	1,04	0,69	10,6	7,48
Č		10,00	7,50	1,04	0,69	10,6	7,48
D		11,50	7,50	1,06	1,29	10,6	7,3
E		11,50	7,50	1,06	1,29	10,6	7,3
F		13,00	7,50	1,06	1,29	10,4	7,3
G		13,00	7,50	1,06	1,29	10,4	7,3
H		11,50	6,00	1,11	0,65	8,72	7,6
I		11,50	6,00	1,11	0,65	8,72	7,6
J		11,50	9,00	2,83	3,06	9,39	7,47
K		11,50	9,00	2,83	3,06	9,39	7,47
L		MF lepilo	11,50	7,50	1,95	1,49	10,7
M	11,50		7,50	1,95	1,49	10,7	8,08
N	13,00		7,50	2,07	2,16	10,5	7,22
O	13,00		7,50	2,07	2,16	10,5	7,22
P	10,00		7,50	2,07	2,16	11,6	8,07
R	10,00		7,50	2,07	2,16	11,6	8,07
S	11,50		6,00	3,48	2,88	9,92	7,87
Š	11,50		6,00	3,48	2,88	9,92	7,87
T	11,50		9,00	3,48	2,88	10,7	8,27
U	11,50		9,00	3,48	2,88	10,7	8,27

Vsebnost vlage iverja po končanem sušenju je bila med 0,65% do 3,48%. Vsebnost vlage oblepljenega iverja za zunanji sloj je bila med 8,72 – 11,6%, pri srednjem pa med 7,22 – 8,27%. Nastale razlike imajo lahko v nadaljevanju vpliv pri stiskanju iverne plošče. Bolj kot je vlažno iverje, počasneje narašča temperatura v posameznem sloju.

4.2 GOSTOTA IVERNIH PLOŠČ

V preglednici 4 vidimo, kakšna je povprečna gostota posamezne plošče pri določenem deležu lepila.

Preglednica 4: Gostota posamezne iverne plošče glede na vrsto in delež lepila

	Vzorec	Delež lepila (%)		Gostota(g/cm ³)
		ZS	SS	
UF lepilo	C	10,00	7,50	0,702
	Č	10,00	7,50	0,703
	D	11,50	7,50	0,705
	E	11,50	7,50	0,713
	F	13,00	7,50	0,699
	G	13,00	7,50	0,706
	H	13,00	6,00	0,701
	I	13,00	6,00	0,708
	J	11,50	9,00	0,680
	K	11,50	9,00	0,702
MF lepilo	L	11,50	7,50	0,709
	M	11,50	7,50	0,688
	N	13,00	7,50	0,679
	O	13,00	7,50	0,684
	P	10,00	7,50	0,683
	R	10,00	7,50	0,694
	S	13,00	6,00	0,702
	Š	13,00	6,00	0,685
	T	11,50	9,00	0,679
	U	11,50	9,00	0,678

Vidimo lahko, da so bile razlike v gostotah plošč minimalne, saj je bila gostota plošč $0,700 \pm 0,025 \text{ g/cm}^3$.

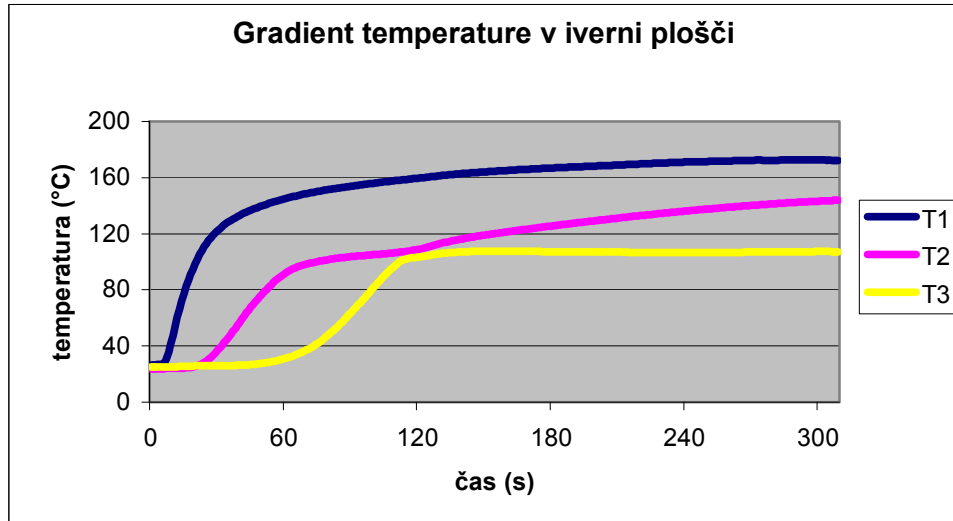
4.3 GRADIENT TEMPERATURE V IVERNI PLOŠČI

Kot smo že omenili, smo gradient temperature v fazi stiskanja merili v treh točkah in sicer:

- v sredini iverne plošče (T3),
- na prehodu med zunanjim in srednjim slojem plošče (T2),

- na prehodu med ploščo stiskalnice in iverno ploščo (T1).

Na sliki 6 je prikazan tipičen potek gradienta temperature pri izdelavi ivernih plošč.



Slika 6: Gradient temperature v iverni plošči

Kot vidimo na sliki 6, se temperatura najhitreje dvigne na prehodu med grelno ploščo in pogačo (iverno ploščo), in sicer se v 30 s se dvigne na okoli 140°C, potem pa se počasi povečuje vse do 180°C (T1). Temperatura se začne dvigovati takoj, ko se stiskalnica zapre, zaradi plošče stiskalnice, ki je segreta na 180°C, merilec pa se nahaja točno na prehodu med ploščo stiskalnice ter iverno ploščo.

Na prehodu med srednjim slojem in zunanjim slojem plošče, se temperatura v 45 s dvigne na okoli 100°C, potem pa se počasi povečuje do 150°C. Temperatura se začne spreminjati po 15 s, ko je stiskalnica že zaprta. (T2)

V sredini plošče se temperatura 45 s po zaprtju stiskalnice še ne spremeni. Nato se v 60 s dvigne na temperaturo okoli 105°C. (T3)

4.4 DEBELINSKI NABREK

Pri debelinskem nabreku smo vzorce za 24 ur potopili v vodo ter merili debelinski nabrek po eni, dveh, treh, štirih, šestih in štiriindvajsetih urah. V preglednici 5 so prikazani podatki o nabreku in spremembi mase po 24 urni izpostavitvi vodi.

Preglednica 5: Debelinski nabrek in sprememba mase po 24 urni izpostavitvi vodi

	Delež lepila (%)		Debelinski nabrek po 24 h (%)	Sprememba mase po 24 h (%)
	ZS	SS		
UF lepilo	10,00	7,50	14,24	40,50
	11,50	7,50	16,12	39,33
	13,00	7,50	11,62	38,05
	11,50	6,00	16,43	41,40
	11,50	9,00	8,31	37,68
MF lepilo	11,50	7,50	5,93	32,83
	13,00	7,50	5,97	34,67
	10,00	7,50	7,97	36,04
	11,50	6,00	7,82	35,67
	11,50	9,00	6,43	34,67

V preglednici 5 vidimo, da sta tako debelinski nabrek, kot tudi sprememba mase večja pri uporabi UF lepila. Debelinski nabrek je pri uporabi UF lepila med 8,31% in 16,43%, pri uporabi MF lepila pa med 5,93% in 7,97%. Pri spremembi mase so razlike manjše, saj se je ta gibala pri uporabi UF lepila med 37,68% in 41,40%, pri uporabi MF lepila pa med 32,83% in 36,04%. V preglednici 6 so prikazani podatki o spremembi debeline iverne plošče v odvisnosti od časa delovanja vode v posameznem časovnem intervalu.

Preglednica 6: Sprememba debeline glede na čas potopitve

	Delež lepila(%)		Debelinski nabrek glede na čas potopitve (%)					
	ZS	SS	1h	2h	3h	4h	6h	24h
UF lepilo	10,00	7,50	2,54	3,80	4,01	4,74	5,74	14,24
	11,50	7,50	2,10	3,76	3,72	4,59	6,09	16,12
	13,00	7,50	2,84	2,78	3,44	3,89	4,67	11,62
	13,00	6,00	2,26	3,26	3,75	4,34	5,46	16,43
	11,50	9,00	2,00	2,72	2,85	3,22	3,85	8,31
MF lepilo	11,50	7,50	1,51	1,76	2,07	2,28	2,76	5,97
	13,00	7,50	1,76	2,19	2,54	2,74	3,19	7,97
	10,00	7,50	1,53	1,83	2,27	2,56	2,99	5,93
	13,00	6,00	1,64	2,00	2,30	2,46	2,75	7,82
	11,50	9,00	1,59	2,07	2,31	2,55	2,84	6,43

Vidimo lahko, da debelinski nabrek najhitreje narašča v začetku potopitve preizkušanca. V prvi uri je debelina pri vsakem vzorcu, kjer smo uporabili UF lepilo največja in se poveča od 2,00% do 2,84%, kar znaša od 15 do 25% celotnega nabreka. Kasneje debelinski nabrek po vsaki naslednji uri počasneje narašča. Tudi pri vzorcih, kjer smo uporabili MF lepilo, je sprememba debelinskega nabreka največja v prvi uri izpostavitve vodi. Ta je manjša kot pri UF lepilu in se giblje od 1,51%, pa do 1,76%, kar znaša od 20 do 25% celotnega nabreka. V nadaljevanje pa sprememba nabreka vsako uro počasneje narašča.

4.4.1 Debelinski nabrek po 24 urah

Preglednica 7: Debelinski nabrek pri uporabi urea - formaldehidnega lepila ter različnih oblepljenjih

Urea - formaldehidno lepilo		
Oblepljenost iverja (%)		Debelinski nabrek po 24 h (%)
Zunanji sloj	Srednji sloj	
10,00	7,50	14,24
11,50	7,50	16,12
13,00	7,50	11,62
11,50	6,00	16,43
11,50	9,00	8,31

V preglednici 7 vidimo, da smo največji debelinski nabrek pri uporabi UF lepila, dosegli pri vzorcu, kjer je oblepljenost srednjega sloja 6,00% ter zunanje sloja 11,50% in znaša 16,43%. Najmanjši debelinski nabrek pa pri vzorcu, kjer je oblepljenost srednjega sloja 9,00%, zunanje sloja pa 11,50% in znaša 8,31%

Preglednica 8: Debelinski nabrek pri uporabi melamin - formaldehidnega lepila ter različnih oblepljenjih

Melamin - formaldehidno lepilo		
Oblepljenost iverja (%)		Debelinski nabrek po 24 h (%)
Zunanji sloj	Srednji sloj	
11,50	7,50	5,93
13,00	7,50	5,97
10,00	7,50	7,97
11,50	6,00	7,82
11,50	9,00	6,43

Pri uporabi MF lepila (Preglednica 8) smo največji debelinski nabrek dosegli pri vzorcu, kjer je oblepljenost srednjega iverja 7,50%, zunanje sloja pa 10,00%. Debelinski nabrek

je 7,97%. Najmanjši debelinski nabrek je bil pri vzorcu, kjer je oblepljenost srednjega sloja 7,50%, zunanje pa 11,50%. Debelinski nabrek je 5,93%.

Vidimo lahko, da je debelinski nabrek pri uporabi melamin – formaldehidnega lepila 2 – 3 krat manjši kot pri uporabi urea – formaldehidnega lepila.

4.5 SPREMEMBA MASE

Tudi pri spremembi mase smo predstavili rezultate kot povprečno vrednost za plošči, ki imata enako oblepljenost iverja. V spodnjih dveh preglednicah vidimo, da je tudi sprememba mase večja pri uporabi urea – formaldehidnega lepila (Preglednica 9). Sprememba mase je za 10 – 20 % manjša pri uporabi melamin – formaldehidnega lepila (Preglednica 10).

Preglednica 9: Sprememba mase pri uporabi urea - formaldehidnega lepila ter različnih oblepljenjih

Urea - formaldehidno lepilo		
Oblepljenost iverja (%)		Sprememba mase po 24 h (%)
Zunanji sloj	Srednji sloj	
10,00	7,50	40,50
11,50	7,50	39,33
13,00	7,50	38,05
11,50	6,00	41,40
11,50	9,00	37,68

V preglednici 9 vidimo, da smo največjo spremembo mase pri uporabi UF lepila dosegli pri vzorcu, kjer je oblepljenost srednjega sloja 6,00% ter zunanje sloja 11,50%. Sprememba mase je 41,40%. Najmanjša sprememba mase pa je pri vzorcu, kjer je oblepljenost srednjega sloja 9,00%, zunanje pa 11,50%. Sprememba mase je 37,68%.

Preglednica 10: Sprememba mase pri uporabi melamin - formaldehidnega lepila ter različnih oblepljenjih

Melamin - formaldehidno lepilo		
Oblepljenost iverja (%)		Sprememba mase po 24 h (%)
Zunanji sloj	Srednji sloj	
11,50	7,50	32,83
13,00	7,50	34,67
10,00	7,50	36,04
11,50	6,00	35,67
11,50	9,00	34,67

Pri uporabi MF lepila (Preglednica 10) smo največjo spremembo mase dosegli pri vzorcu, kjer je oblepljenost srednjega iverja 7,50%, zunanjeja pa 10,00%. Sprememba mase je 36,04%. Najmanjša sprememba mase je pri vzorcu, kjer je oblepljenost srednjega sloja 7,50%, zunanjeja pa 11,50%. Sprememba mase je 32,83%.

4.6 SILA (TLAK SPROŠČANJA OB NABREKU)

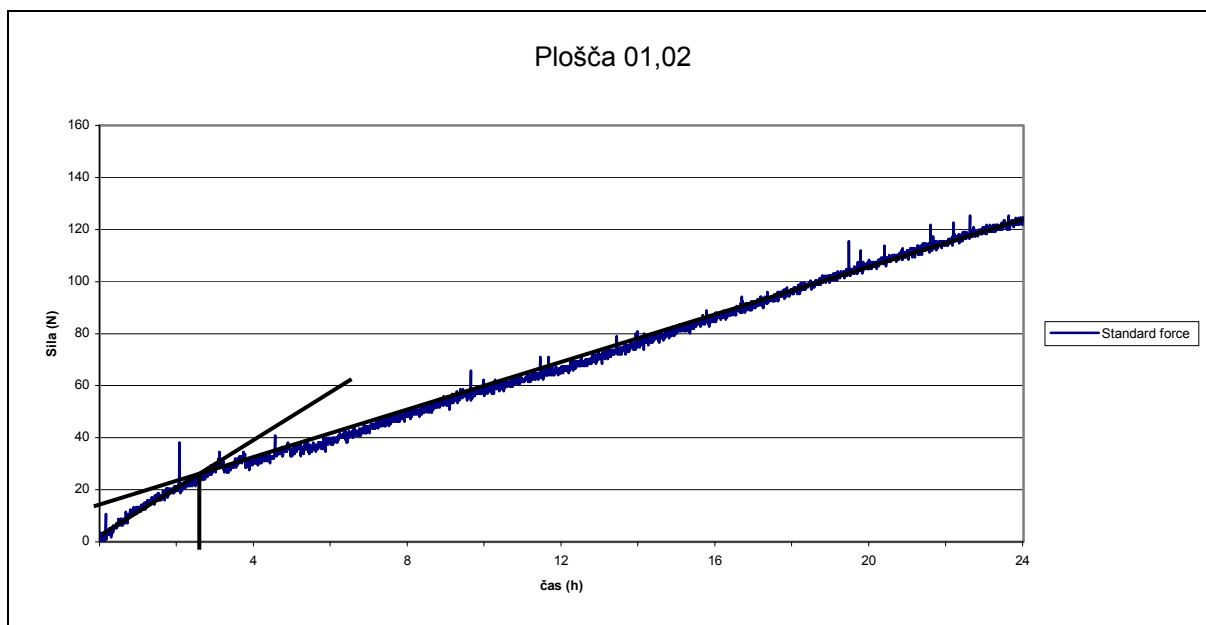
Potek sile smo prikazali grafično. Graf nam kaže dejanski potek, kako se spreminja sila od začetka potopitve vzorca pa vse do štiriindvajsete ure potopitve. Odločili smo se, da se bomo orientirali na štiri podatke, ki nam bodo povedali, kako vplivata delež in vrsta lepila na potek sile. Ti faktorji so:

- sila po 24 urah
- kot α
- kot β
- kdaj se kota časovno sekata

4.6.1 Vzorec plošče UF(10,00/7,50)

Na spodnjem grafu (Slika 7) lahko vidimo, da se premici sekata pri 2,6 ure. Naklon premice je bil do presečišča premic 32° , nato pa 16° . Sila je bila po štiriindvajsetih urah 124N.

- sila po štiriindvajsetih urah 124N
- kot α 32°
- kot β 16°
- kdaj se kota časovno sekata 2,6h



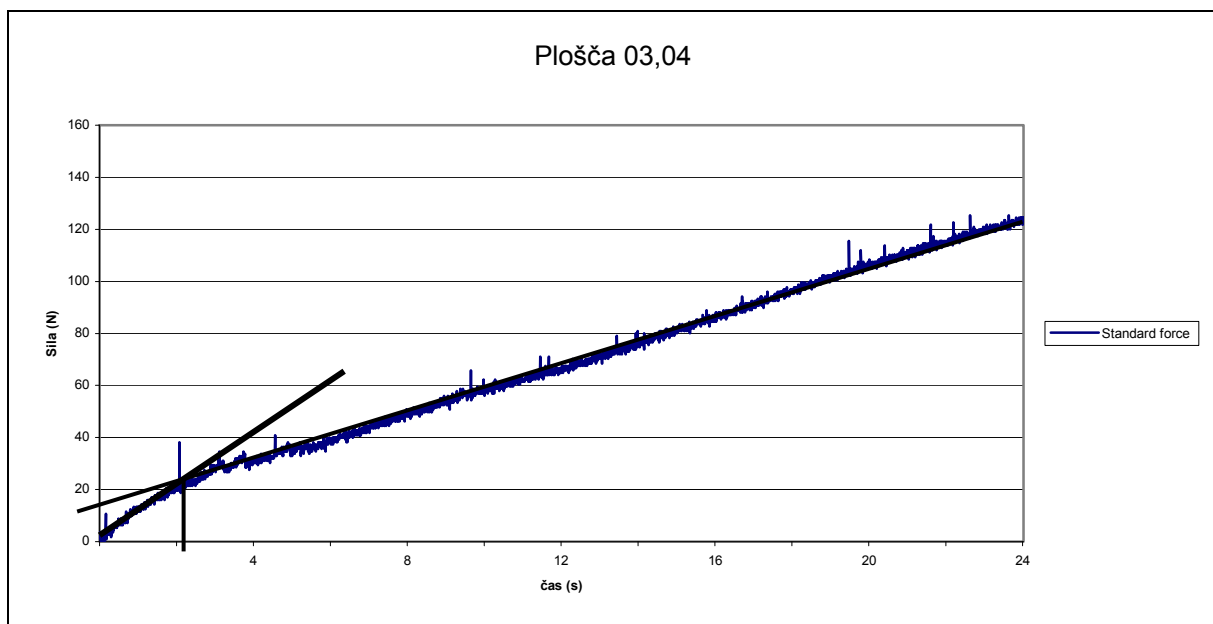
Slika 7: Potek sile za plošči 01,02

Oblepljenost zunanjšega sloja je 10,00%, srednjega pa 7,50%. Iz naklona premice je razvidno, da je naraščanje sile po 2,6 ure 1 krat počasneje kot pred tem časom.

4.6.2 Vzorec plošč UF(11,50/7,50)

Na spodnjem grafu (Slika 8) lahko vidimo, da se premici sekata pri 2,1 uri. Naklon premice je bil do presečišča premic 33° , nato pa 16° . Sila je bila po štiriindvajsetih urah 122N.

- sila po štiriindvajsetih urah 122N
- kot α 33°
- kot β 16°
- kdaj se kota časovno sekata 2,1h



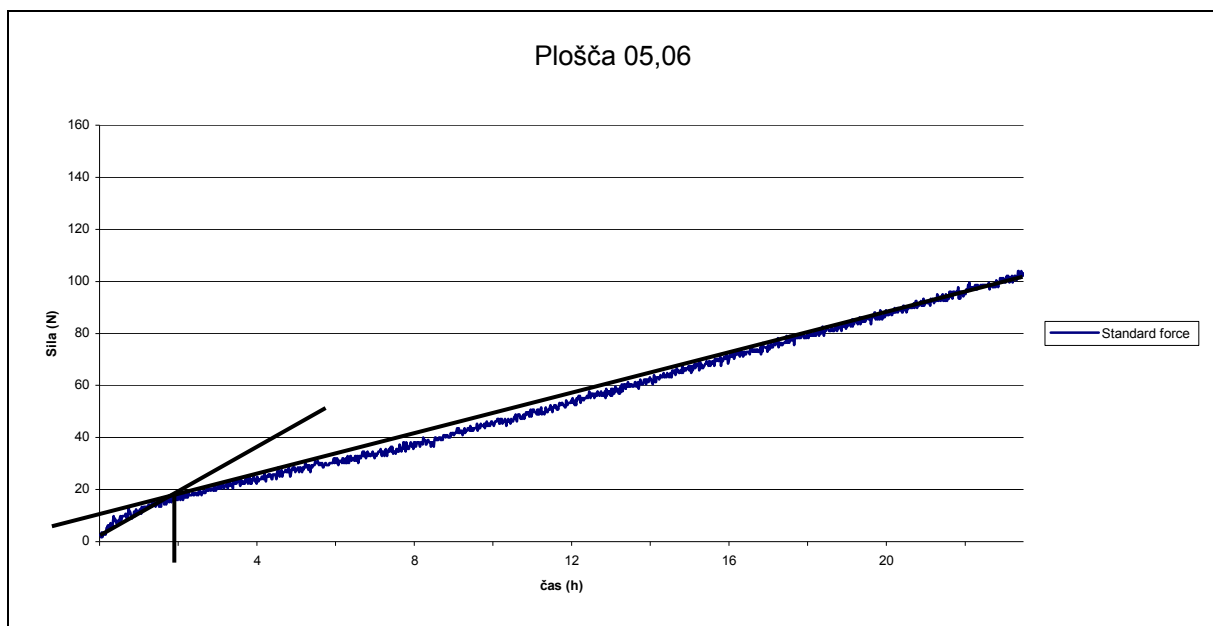
Slika 8: Potek sile za plošči 03,04

Oblepljenost zunanje sloja je 11,50%, srednjega pa 7,50%. Iz naklona premice je razvidno, da je naraščanje sile po 2,1 h 1,07 krat počasneje kot pred tem.

4.6.3 Vzorec plošč UF(13,00/7,50)

Na spodnjem grafu (Slika 9) lahko vidimo, da se premici sekata pri 1,8 ure. Naklon premice je bil do presečišča premic 28° , nato pa 14° . Sila je bila po štiriindvajsetih urah 103N.

- sila po štiriindvajsetih urah 103N
- kot α 28°
- kot β 14°
- kdaj se kota časovno sekata 1,8h



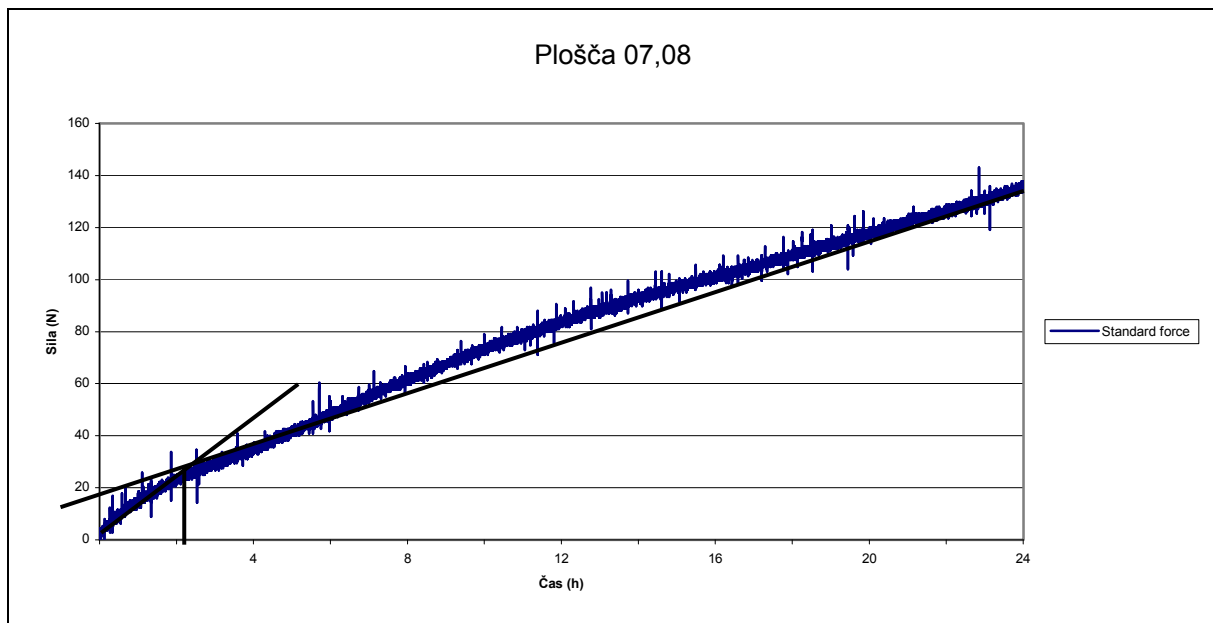
Slika 9: Potek sile za plošči 05,06

Oblepljenost zunanje sloja je 13,00%, srednjega pa 7,50%. Iz naklona premice je razvidno, da je naraščanje sile po 1,8 uri 1 krat počasneje kot pred tem.

4.6.4 Vzorec plošč UF(13,00/6,00)

Na spodnjem grafu (Slika 10) lahko vidimo, da se premici sekata pri 2,2 urah. Naklon premice je bil do presečišča premic 35° , nato pa 17° . Sila je bila po štiriindvajsetih urah 138N.

- sila po štiriindvajsetih urah 138N
- kot α 35°
- kot β 17°
- kdaj se kota časovno sekata 2,2h



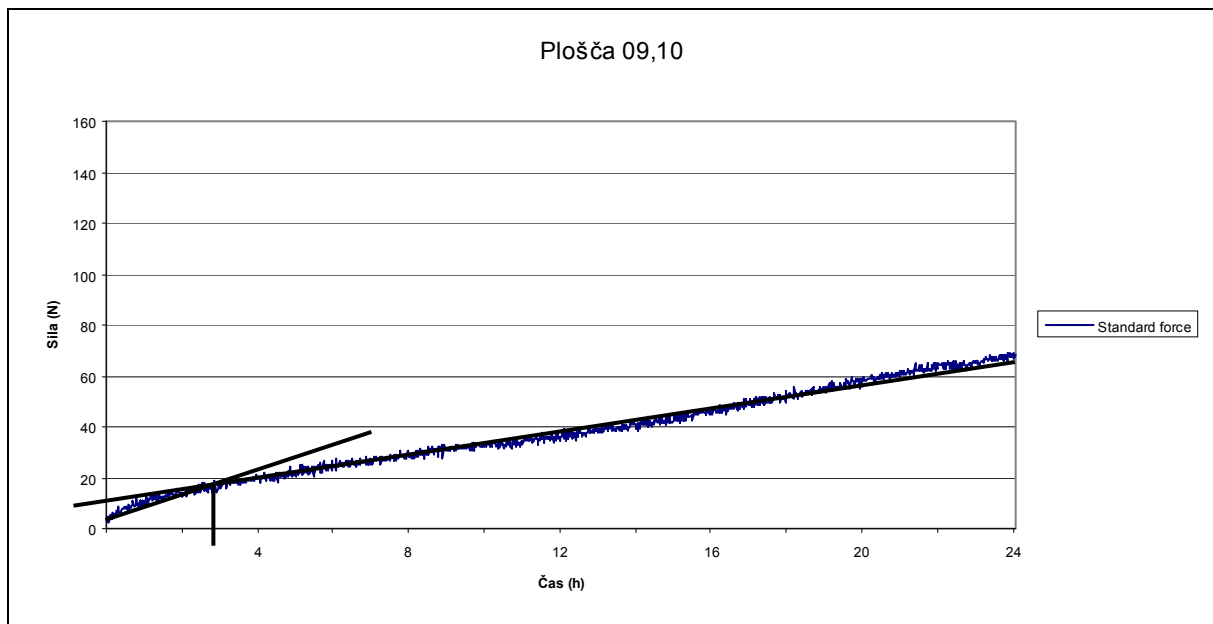
Slika 10: Potek sile za plošči 07,08

Oblepljenost zunanje sloja je 13,00%, srednjega pa 6,00%. Iz naklona premice je razvidno, da je naraščanje sile po 2,2 urah 1,06 krat počasneje kot pred tem časom.

4.6.5 Vzorec plošč UF(11,50/9,00)

Na spodnjem grafu (Slika 11) lahko vidimo, da se premici sekata po 3 urah. Naklon premice je bil do presečišča premic 18° , nato pa 8° . Sila je bila po štiriindvajsetih urah 70N.

- sila po štiriindvajsetih urah 70N
- kot α 18°
- kot β 8°
- kdaj se kota časovno sekata 3,0h



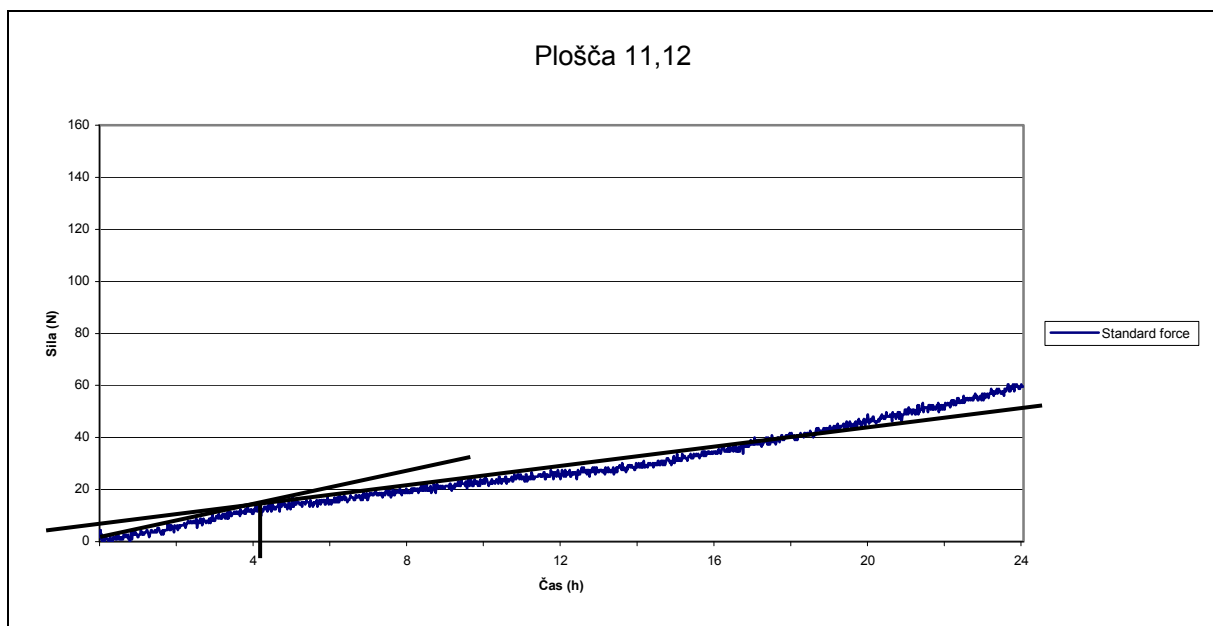
Slika 11: Potek sile za plošči 09,10

Oblepljenost zunanjega sloja je 11,50%, srednjega pa 9,00%. Iz naklona premice je razvidno, da je naraščanje sile po 3,0 urah 1,25 krat počasneje kot pred tem.

4.6.6 Vzorec plošč MF(11,50/7,50)

Na spodnjem grafu (Slika 12) lahko vidimo, da se premici sekata pri 4,1 urah. Naklon premice je bil do presečišča premic 12° , nato pa 6° . Sila je bila po štiriindvajsetih urah 40N.

- sila po štiriindvajsetih urah 40N
- kot α 12°
- kot β 6°
- kdaj se kota časovno sekata 4,1h



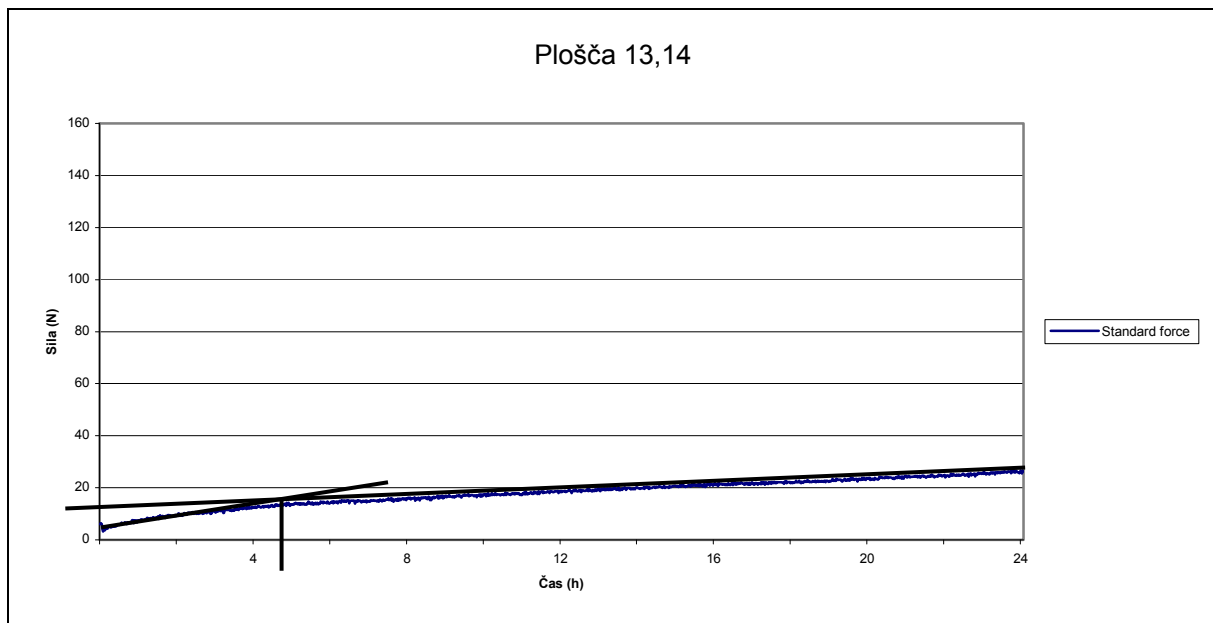
Slika 12: Potek sile za plošči 11,12

Oblepljenost zunanje sloja je 11,50%, srednjega pa 7,50%. Iz naklona premice je razvidno, da je naraščanje sile po 4,1 urah 1 krat počasneje kot pred tem časom.

4.6.7 Vzorec plošč MF(13,00/7,50)

Na spodnjem grafu (Slika 13) lahko vidimo, da se premici sekata pri 4,7 urah. Naklon premice je bil do presečišča premic 8° , nato pa 2° . Sila je bila po štiriindvajsetih urah 26N.

- sila po štiriindvajsetih urah 26N
- kot α 8°
- kot β 2°
- kdaj se kota časovno sekata 4,7h



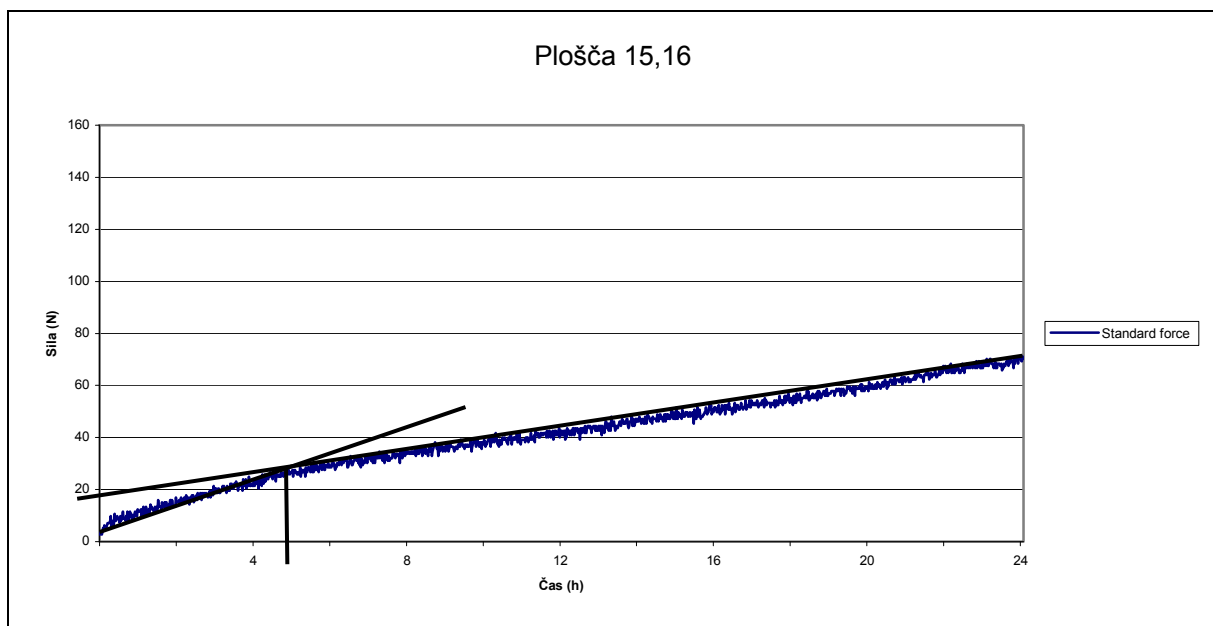
Slika 13: Potek sile za plošči 13,14

Oblepljenost zunanje sloja je 13,00%, srednjega pa 7,50%. Iz naklona premice je razvidno, da je naraščanje sile po 4,7 urah 3 krat počasneje kot pred tem časom.

4.6.8 Vzorec plošč MF(10,00/7,50)

Na spodnjem grafu (Slika 14) lahko vidimo, da se premici sekata pri 5,0 urah. Naklon premice je bil do presečišča premic 18° , nato pa 8° . Sila je bila po štiriindvajsetih urah 72N.

- sila po štiriindvajsetih urah 72N
- kot α 18°
- kot β 8°
- kdaj se kota časovno sekata 5,0h



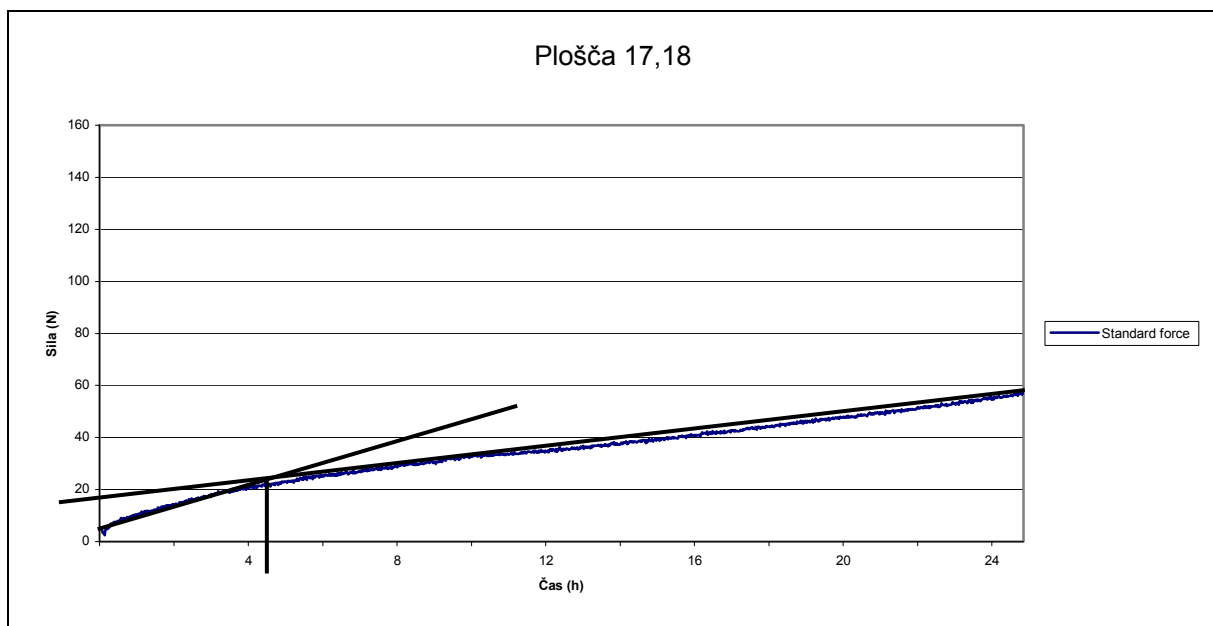
Slika 14: Potek sile za plošči 15,16

Oblepljenost zunanje sloja je 10,00%, srednjega pa 7,50%. Iz naklona premice je razvidno, da je naraščanje sile po 5,0 urah 1,25 krat počasneje kot pred tem časom.

4.6.9 Vzorec plošč MF(13,00/6,00)

Na spodnjem grafu (Slika 15) lahko vidimo, da se premici sekata pri 4,5 urah. Naklon premice je bil do presečišča premic 16° , nato pa 6° . Sila je bila po štiriindvajsetih urah 57N.

- sila po štiriindvajsetih urah 57N
- kot α 16°
- kot β 6°
- kdaj se kota časovno sekata 4,5h



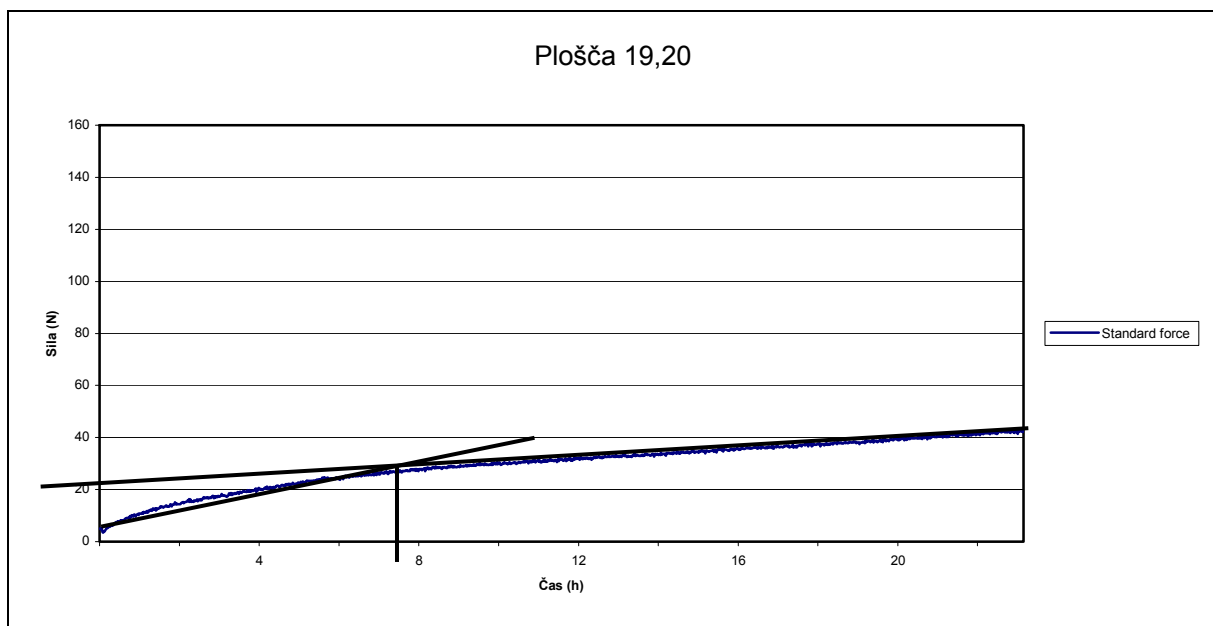
Slika 15: Potek sile za plošči 17,18

Oblepljenost zunanje sloja je 13,00%, srednjega pa 6,00%. Iz naklona premice je razvidno, da je naraščanje sile po 4,5 urah 1,66 krat počasneje kot pred tem časom.

4.6.10 Vzorec plošč MF(11,50/9,00)

Na spodnjem grafu (Slika 16) lahko vidimo, da se premici sekata pri 7,5 urah. Naklon premice je bil do presečišča premic 12° , nato pa 3° . Sila je bila po štiriindvajsetih urah 42N.

- sila po štiriindvajsetih urah 42N
- kot α 12°
- kot β 3°
- kdaj se kota časovno sekata 7,5h



Slika 16: Potek sile za plošči 19,20

Oblepljenost zunanje sloja je 11,50%, srednjega pa 9,00%. Iz naklona premice je razvidno, da je naraščanje sile po 7,5 urah 3 krat počasneje kot pred tem časom.

Sila po 24 urni potopitvi je bila odvisna tako od vrste, kakor tudi od deleža dodanega lepila (Preglednica 11,12).

Preglednica 11: Sila po 24h izpostavitvi vodi pri uporabi urea – formaldehidnega lepila

Urea - formaldehidno lepilo		
Oblepljenost iverja (%)		Sila po 24 h (%)
Zunanji sloj	Srednji sloj	
10,00	7,50	124N
11,50	7,50	122N
13,00	7,50	103N
11,50	6,00	138N
11,50	9,00	70N

Sila (tlak sproščanja ob nabreku) pri uporabi UF lepila je največja pri vzorcu, kjer je oblepljenost srednjega sloja 6,00%, zunanjega pa 11,50% in je znašala 138N. Najmanjšo silo smo izmerili pri vzorcu, kjer je bila oblepljenost srednjega sloja 9,00%, zunanjega pa 11,50% in je znašala 70N.

Preglednica 12: Sila po 24h izpostavitvi vodi pri uporabi melamin – formaldehidnega lepila

Melamin - formaldehidno lepilo		
Oblepljenost iverja (%)		Sila po 24 h (%)
Zunanji sloj	Srednji sloj	
11,50	7,50	40N
13,00	7,50	26N
10,00	7,50	72N
11,50	6,00	57N
11,50	9,00	42N

V preglednici 12 vidimo, kakšna je sila pri uporabi MF lepila. Največja sila je pri vzorcu, kjer je oblepljenost srednjega sloja 7,50%, zunanjega pa 10,00% in je znašala 72N. Najmanjšo silo smo izmerili pri vzorcu, kjer je oblepljenost srednjega sloja 7,50%, zunanjega pa 13,00% in je znašala 26N.

Kot α nam prikazuje potek nabreka v začetni fazi izpostavitve vzorca vodi, kot β pa potek nabreka v nadaljevanju. Premici smo omejili časovno in nam predstavljata, koliko časa traja hitrost spremembe nabreka v prvi fazi in nato v nadaljevanju.

Preglednica 13: Naklon premice α in β pri uporabi urea – formaldehidnega lepila

Urea – formaldehidno lepilo			
Oblepljenost iverja (%)		Kot α (°)	Kot β (°)
Zunanji sloj	Srednji sloj		
10,00	7,50	32	16
11,50	7,50	28	14
13,00	7,50	33	16
13,00	6,00	35	17
11,50	9,00	18	8

Pri uporabi UF lepila (Preglednica 13) ima največji linearni trend naraščanja sile vzorec, kjer je oblepljenost srednjega sloja 6,00%, zunanjšega pa 13,00%. Ta je pri kotu α 35°, pri kotu β pa 17°. Najmanjši linearni trend se pa kaže pri vzorcu, kjer je oblepljenost srednjega sloja 9,00%, zunanjšega pa 11,50%. Ta je pri kotu α 18°, pri kotu β pa 8°.

Preglednica 14: Naklon premice α in β pri uporabi melamin – formaldehidnega lepila

Melamin - formaldehidno lepilo			
Oblepljenost iverja (%)		Kot α (°)	Kot β (°)
Zunanji sloj	Srednji sloj		
11,50	7,50	12	6
13,00	7,50	8	2
10,00	7,50	18	8
13,00	6,00	16	6
11,50	9,00	12	3

Pri uporabi MF lepila (Preglednica 14) ima največji linearni trend naraščanja sile vzorec, kjer je oblepljenost srednjega sloja 7,50%, zunanjšega pa 10,00%. Ta je pri kotu α 18°, pri kotu β pa 8°. Najmanjši linearni trend se pa kaže pri vzorcu, kjer je oblepljenost srednjega sloja 7,50%, zunanjšega pa 13,00%. Ta je pri kotu α 8°, pri kotu β pa 2°.

Čas, v kateri točki se ti premici sekata, nam predstavlja podatek, ki pove, koliko časa sila hitreje narašča in predstavlja mejnik, saj od te točke naprej sila narašča počasneje, skoraj linearno.

Preglednica 15: Čas, v katerem se premici stikata pri uporabi urea – formaldehidnega lepila

Urea – formaldehidno lepilo		
Oblepljenost iverja (%)		Čas, v katerem se premici stikata(h)
Zunanji sloj	Srednji sloj	
10,00	7,50	2,6
11,50	7,50	1,8
13,00	7,50	2,1
13,00	6,00	2,2
11,50	9,00	3,0

Kot lahko vidimo v preglednicah, se pri uporabi urea – formaldehidnem lepilu ta čas giblje od 2 – 3 h (Preglednica 15), pri melamin – formaldehidnem lepilu pa od 4 – 5 h, v zadnjem primeru celo do 7,5 h (Preglednica 16). Ugotovili smo tudi, da je čas odvisen od oblepljenosti iverja, kar lahko vidimo v preglednici 15 in preglednici 16.

Preglednica 16: Čas, v katerem se premici stikata pri uporabi melamin – formaldehidnega lepila

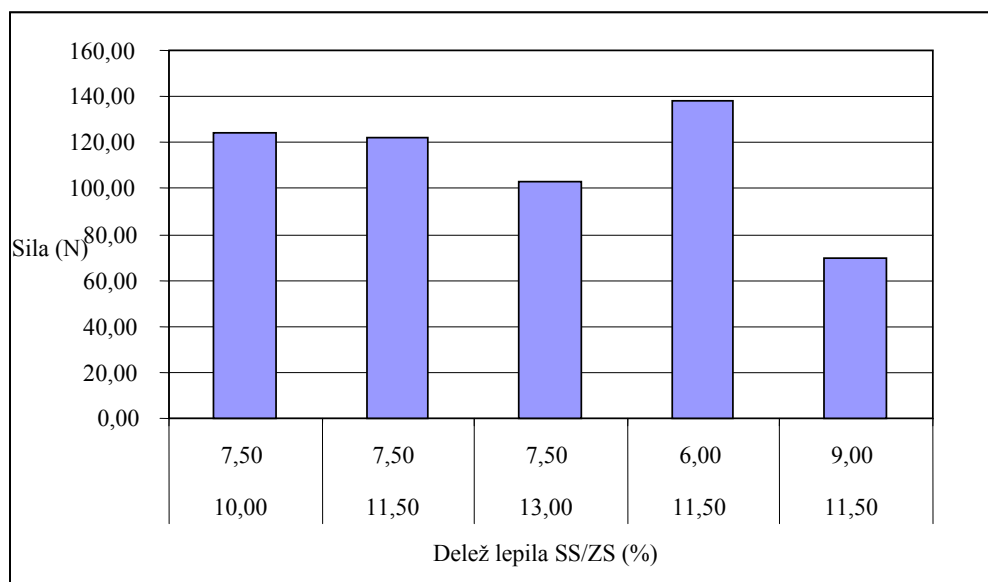
Melamin - formaldehidno lepilo		
Oblepljenost iverja (%)		Čas, v katerem se premici stikata(h)
Zunanji sloj	Srednji sloj	
11,50	7,50	4,1
13,00	7,50	4,7
10,00	7,50	5,0
13,00	6,00	4,5
11,50	9,00	7,5

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 MAKSIMALNA SILA V ODVISNOSTI OD DELEŽA IN VRSTE LEPILA

Maksimalna sila (tlak sproščanja ob nabreku) je pri uporabi UF lepila 2 do 3 krat večja kot pri uporabi MF lepila. Takšna razlika nastane zaradi različnega vezivnega sredstva. Rezultati sovpadajo s trditvijo, da so MF lepila bolj odporna proti vodi, kar smo videli že pri lastnostih posameznega lepila. Velik pomen na maksimalno silo ima tudi delež lepila v posameznem sloju. Spreminjali smo delež lepila v zunanem sloju iz 10,00% na 13,00%, v srednjem pa iz 6,00% na 9,00% ter ugotovili, da tudi znotraj uporabe istega lepilnega sredstva delež lepila močno vpliva na maksimalno silo.

5.1.1 Sila pri uporabi UF lepila



Slika 17: Maksimalna sila pri uporabi UF lepila

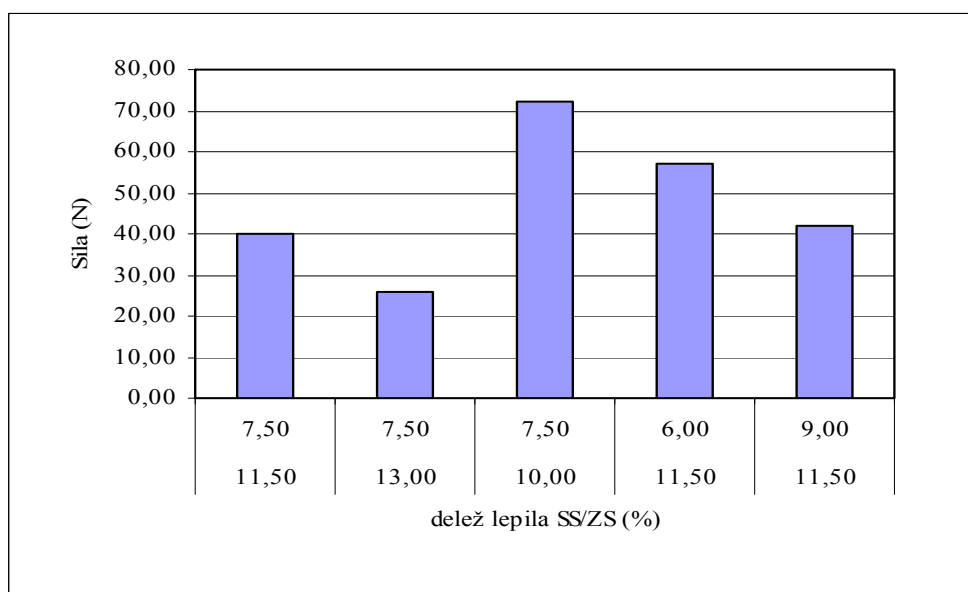
V zgornjem grafu (Slika 17) vidimo, kako vpliva delež UF lepila na silo. Ugotovili smo, da če je delež lepila srednjega sloja (SS) enak 7,50% povečujemo pa delež lepila zunanega sloja (ZS) iz 10,00% na 13,00%, se sila postopoma zmanjšuje. Razlike pri spremembi deleža lepila v zunanem sloju razmeroma majhne, saj če povečamo delež lepila zunanega sloja iz 10,00% na 13,00% , se sila zmanjša za 21N.

Če pa je delež lepila v zunanem sloju enak 11,50%, povečujemo pa delež lepila v srednjem sloju iz 6,00% na 9,00%, se sila zmanjšuje hitreje. Razlike pri spremembi deleža

lepila v srednjem sloju so razmeroma velike, saj če povečamo delež lepila v srednjem sloju iz 6,00% na 9,00%, se sila zmanjša 78N.

Ugotovili smo, da ima sprememba deleža lepila v srednjem sloju pri uporabi UF lepila veliko večji vpliv na maksimalno silo. S povečanjem deleža lepila srednjemu sloju povečamo stabilnost le tega, kar se kaže v maksimalni sili, ki se močno zmanjšuje. Iz tega sklepamo, da voda prodira v vzorec z vseh strani, kar povzroča tako veliko silo. Ker UF lepilo ni odporno proti vodi, takšna razlika nastane zaradi večjih delcev iverja v srednjem sloju iverne plošči. Razlika nastane tudi zaradi gostote posameznega sloja. Zunanji sloj je gostejši, zaradi tega je debelinski nabrek v zunanjem sloju manjši kot v srednjem sloju.

5.1.2 Sila pri uporabi MF lepila



Slika 18: Maksimalna sila pri uporabi MF lepila

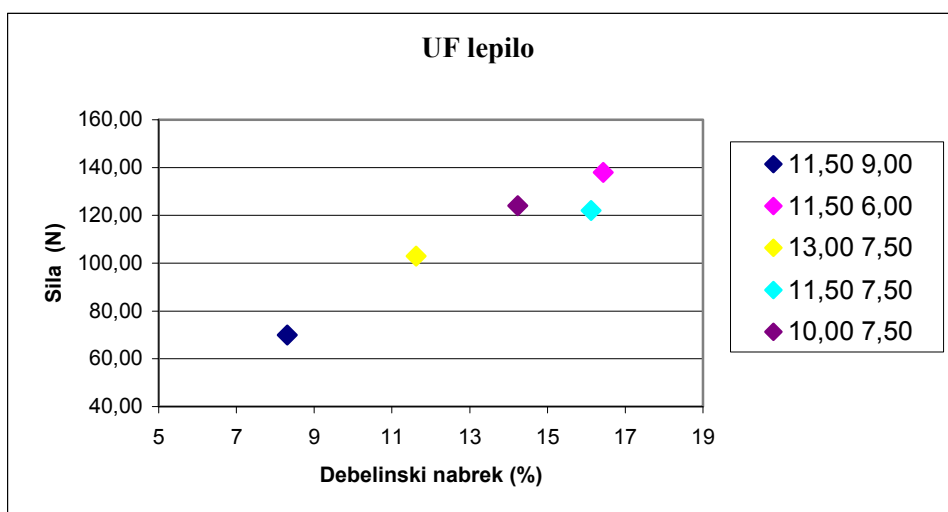
V zgornjem grafu (Slika 18) vidimo, kako vpliva delež MF lepila na silo. Vidimo lahko, da če je delež lepila v srednjem sloju enak 7,50%, povečujemo pa delež lepila v zunanjem sloju iz 10,00% na 13,00%, se sila hitro zmanjšuje. Sprememba sile, če zunanji sloj povečamo iz 10,00% na 13,00%, je 46N.

Če pa je delež lepila v zunanjem sloju enak 11,50%, povečujemo pa delež lepila v srednjem sloju iz 6,00% na 9,00%, se sila nabreka počasneje zmanjšuje. Sprememba sile, če srednji sloj povečamo iz 6,00% na 9,00%, je 15N.

Pri uporabi MF lepila smo ugotovili, da se sila hitreje zmanjšuje pri povečanju deleža lepila v zunanem sloju. Iz tega sklepamo, da ima na silo večji vpliv sprememba deleža lepila v zunanem sloju. To nastane zaradi večje odpornosti lepila na vodo. Ugotovili smo, da če delež lepila v srednjem sloju povečamo iz 7,50% na 9,00%, to nima velikega vpliva na spremembo maksimalne sile. Predvidevamo, da delež lepila v zunanem sloju vpliva na maksimalno silo zato, ker smo pri deležu lepila v srednjem sloju 7,50%, dosegli optimalno trdnost srednjega sloja, s povečanjem deleža lepila v zunanem sloju pa se maksimalna sila še zmeraj zmanjšuje. Iz tega sklepamo, da če je večji delež lepila v zunanem sloju, le-ta postane manj propusten za vodo. Voda v vzorec prihaja samo s strani, zato je sila manjša.

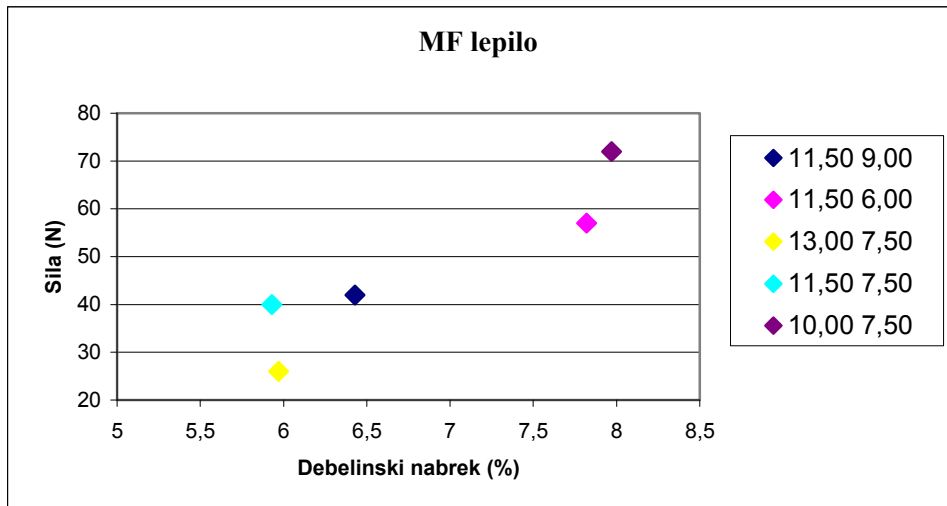
5.2 KORELACIJA MED SILO IN DEBELINO NABREKA

Povezava med silo (tlak sproščanja ob nabreku) ter debelino nabreka je pomemben dejavnik, saj lahko že v rezultatih opazimo, da je pri uporabi MF lepila tako sila kot tudi debelina nabreka manjša kot pa pri uporabi UF lepila. Iz spodnjih dveh grafov vidimo, kakšno je razmerje med debelino nabreka ter silo. Na grafu (Slika 19) vidimo, kakšno je razmerje med silo in debelino nabreka pri uporabi UF lepila. Ugotovili smo, da je razmerje pri vseh deležih lepila približno enako. Kot vidimo, kjer je debelinski nabrek majhen, je tudi sila majhna. Pri uporabi UF lepila se za vsak procent spremembe debeline sila v povprečju poveča za 8,5%.



Slika 19: Razmerje med debelinskim nabrekom in silo pri uporabi UF lepila

Na spodnjem grafu (Slika 20) vidimo, da tudi pri uporabi MF lepila ima razmerje pomembno vlogo. Večja odstopanja vidimo pri vzorcih, ki imajo delež lepila srednjega sloja 7,50%, zunanjskega pa 13,00% in 10,00%. Pri uporabi MF lepila se za vsak procent spremembe debeline sila v povprečju poveča za 6,8N.

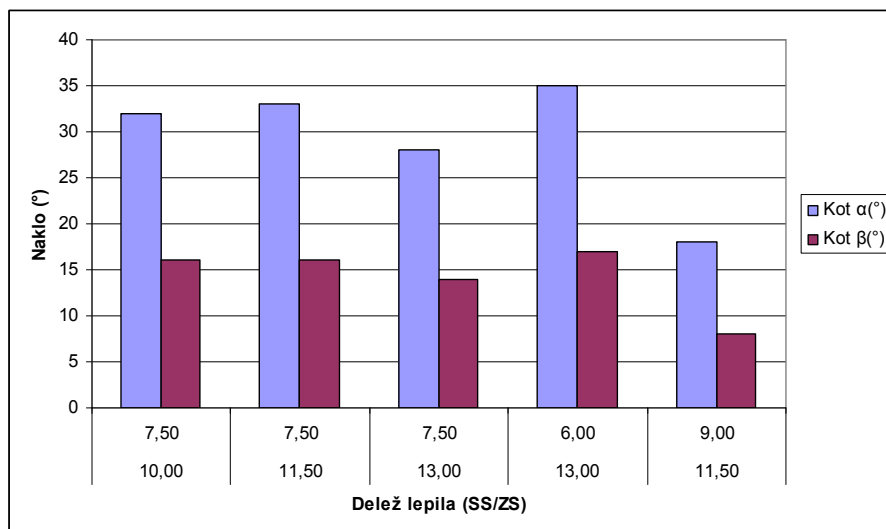


Slika 20: Razmerje med debelinskim nabrekom in silo pri uporabi UF lepila

Ugotovili smo, da obstaja povezava med debelinskim nabrekom ter silo tako pri UF lepilu, kot tudi pri MF lepilu in se kaže v določenem razmerju. Razmerje nam izstopa pri dveh vzorcih, ki sta bila izrezana pri zunanjem delu plošče. Verjetno je, da pri teh dveh vzorcih niso bili doseženi vsi zastavljeni parametri stiskanja.

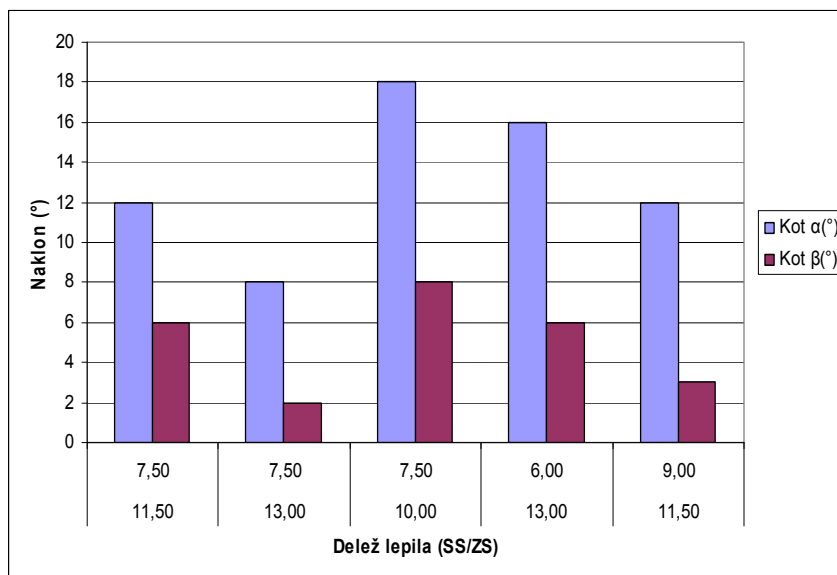
5.3 ČAS, V KATEREM JE BILA HITROST NABREKANJA NAJVEČJA

Na sliki 21 vidimo razliko pri naklonu premice pri uporabi UF lepila. Upoštevali smo podatke kotov in čas, v katerem se premici sekata. Ugotovili smo, da v začetku izpostavitve vzorca vodi sila hitreje narašča.



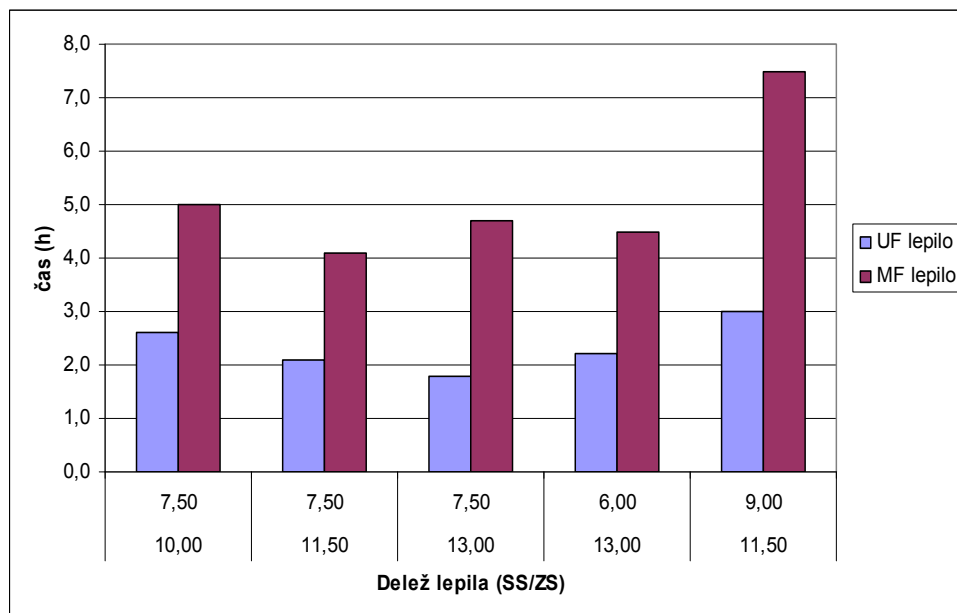
Slika 21: Naklon premice α in kota β pri uporabi UF lepila

Slika 22 nam prikazuje razliko pri naklonu kotov pri uporabi MF lepila. Tudi tukaj sila narašča hitreje na začetku izpostavitve vodi.



Slika 22: Naklon premice α in kota β pri uporabi MF lepila

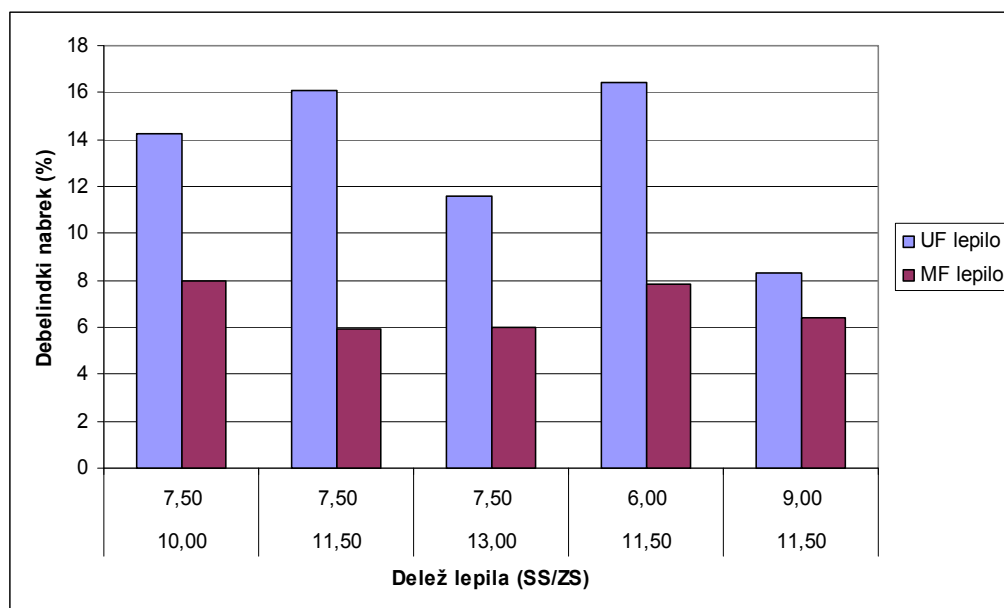
Čas sekanja premic, ki nam pove, kako dolgo sila narašča hitreje, lahko vidimo v spodnjem grafu (Slika 23). Ugotovili smo, da je čas pri uporabi UF lepila v povprečju enkrat manjši kot pa pri uporabi MF lepila.



Slika 23: Čas sekanja premice pri določenem deležu ter vrsti lepila

Glede na upoštevanje naklona premic ter časa, v katerem se premici sekata, smo prišli do naslednjih zaključkov. Naklon premice α je večji na začetku izpostavitve vzorca vodi tako pri uporabi UF lepila, kot tudi pri uporabi MF lepila. Ugotovili smo, da je hitrost sile na začetku večja, ker največje spremembe debeline nastanejo na začetku izpostavitve vzorca vodi. Dlje kot je vzorec izpostavljen v vodi, počasneje narašča sila, dokler se skoraj ne umiri. To smo lepo videli pri vzorcih, ki so bili izpostavljeni vodi 72 ur. Isti trend smo opazili pri debelinskem nabreku. Čas, ko se premice sekajo nam pove, koliko časa poteka hitrejša sprememba sile. Ugotovili smo, da je pri uporabi MF lepila čas, ko se premice sekajo daljši, kar nam potrjuje, da pri uporabi tega lepila voda prodira v vzorec počasneje, kar se kaže tudi v tem, da pri MF lepilu dosegamo manjšo maksimalno silo.

5.4 NAJVEČJI TER NAJMANJŠI NABREK GLEDE NA SPREMEMBO DELEŽA IN VRSTE LEPILA



Slika 24: Debelinski nabrek glede na vrsto in delež lepila

Na sliki 24 vidimo, da je največji nabrek dosežen tako pri uporabi UF lepila kot uporabi MF lepila, pri deležu lepila v srednjem sloju 6,00%, zunanjem pa 11,50%. Ugotovili smo, da MF lepila tvorijo kvalitetnejše vezi ter je pri isti oblepljenosti debelinski nabrek veliko manjši. Kot pri sili, smo ugotovili tudi pri debelinskem nabreku, da so spremembe večje, če spreminjamo delež lepila v srednjem sloju pri uporabi UF lepila. Tudi pri MF lepilu se vidi povezanost med silo in debelinskim nabrekom, saj se prav tako tukaj debelinski nabrek bolj spreminja, ko spreminjamo delež lepila v zunanjem sloju.

Najmanjši nabrek je pri uporabi UF lepila dosežen pri oblepljenosti srednjega sloja 9,00%, zunanjskega pa 11,50%. Pri uporabi MF lepila je najmanjši nabrek dosežen pri deležu lepila v srednjem sloju 7,50% ter zunanjem 13,00. Pri uporabi UF lepila se debelinski nabrek hitreje zmanjšuje, če povečujemo delež lepila v srednjem sloju. Pri uporabi MF lepila se debelinski nabrek hitreje zmanjšuje, če povečujemo delež lepila v zunanjem sloju. Povečevanje deleža lepila v zunanjem sloju od 11,50% naprej nima za debelinski nabrek nobenega pomena, tako kot tudi povečanje deleža lepila v srednjem sloju od 7,50% naprej, saj nam takšno povečanje ne izboljša odpornosti plošče na debelinski nabrek.

5.5 POVEZAVA TEMPERATURE IN VLAŽNOSTI SLOJA

Temperatura, ki smo jo uporabljali pri stiskanju iverne plošče, je bila 180°C. Glede na merilne celice, ki smo jih imeli postavljene v plošči, se iz grafov lepo vidi, da je bila temperatura med ploščo stiskalnice in iverno ploščo stalno malo manj kot 180°C, kar pomeni, da na to merilno celico vlažnost sloja nima nikakršne povezave, saj je bila temperatura pri vseh vzorcih identična.

Pri drugi merilni celici, ki se je nahajal v plošči in sicer na prehodu med zunanjim ter srednjim slojem iverne plošče, so vidne spremembe pri temperaturi. Temperatura je dosegla okoli 150 °C, vendar so nihanja vidna do 10°C navzgor ter tudi do 20°C navzdol. Kot glavni razlog predvidevamo, da se je merilna celica prestavila, saj ga je težko oz. nemogoče postaviti v točno določen sloj plošče. Majhen vpliv lahko ima vlažnost sloja, saj večja kot je vlažnost, dalj časa le-ta hlapi iz sloja.

5.6 ČAS, KO TEMPERATURA V POSAMEZNEM SLOJU PLOŠČE DOSEŽE 100°C

Pri stiskanju iverne plošče so vidne razlike v hitrosti segrevanja pogače. Te razlike lahko vidimo v spodnji preglednici (Preglednica 17). Vidimo, da na merilnem mestu, ki predstavlja prehod med iverno ploščo in ploščo stiskalnice (T1) temperatura doseže 100°C pri 14 do 27 sekundah. Možno je, da razlika nastane zaradi različne oblepljenosti iverja, vendar menimo, da bi te razlike bi bile bistveno manjše. Glavni razlog za takšne razlike je prestavitev merilne celice v pogači plošče, ki ga je nemogoče čvrsto pritrditi ter se je najverjetneje premaknil. Tudi v ostalih dveh točkah so takšne razlike nastale zaradi teh dveh pogojev. V prehodu med zunanjim in srednjim slojem plošče (T2) temperatura doseže 100°C pri 47 do 102 sekundah. V sredini iverne plošče (T3) temperatura doseže 100°C pri 82 do 114 sekundah.

Preglednica 17: Čas, ko temperatura v posameznem sloju doseže 100°C

Čas ko T doseže 100°C			
št. plošče	T1	T2	T3
pl_01	22	72	102
pl_02	24	68	108
pl_03	21	74	99
pl_04	18	96	99
pl_05	17	75	101
pl_06	18	51	97
pl_07	17	74	103
pl_08	19	67	100
pl_09	27	64	114
pl_10	20	58	82
pl_11	20	60	90
pl_12	14	47	100
pl_13	18	77	100
pl_14	18	75	97
pl_15	16	53	86
pl_16	14	46	87
pl_17	18	102	112
pl_18	18	92	108
pl_19	27	65	96
pl_20	18	29	94

5.7 DEBELINSKI NABREK TER SILA IN OBLEPLJENOST POSAMEZNEGA SLOJA

Ugotovili smo, da debelinski nabrek vpliva na silo. Večji kot je debelinski nabrek, večja je sila. Glede na oblepljenost posameznega sloja smo prišli do ugotovitev, da pri uporabi UF lepila dosežemo večje spremembe debelinskega nabreka in sile pri spreminjanju deleža lepila v srednjem sloju. Pri uporabi MF lepila pa dosežemo večje spremembe debelinskega nabreka in sile pri spreminjanju deleža lepila v zunanem sloju. Ugotovili smo, da se pri iverni plošči sprostijo večje napetosti v srednjem sloju. Pri uporabi UF lepila vidimo, da se sila zmanjšuje, če mi povečujemo delež lepila v srednjem sloju. Sklepamo, da predvsem zaradi slabe odpornosti lepila na vodo, voda v vzorec plošče prihaja z vseh strani. Pri uporabi MF lepila se sila zmanjšuje hitreje, če mi povečamo delež lepila v zunanem sloju. Sklepamo, da zunanji sloj plošče z večanjem deleža lepila utrjujemo in mu povečujemo odpornost na vodo. Ker je zunanji sloj bolj odporen, voda v vzorec prihaja predvsem s strani.

V preglednici 18 vidimo meritve sile za delež lepila v posameznem sloju iverne plošče.

Preglednica 18: Sila pri različnih deležih lepila

	ZS	SS	Sila (N)
UF lepilo	10,00	7,50	124
	11,50	7,50	122
	13,00	7,50	103
	11,50	6,00	138
	11,50	9,00	70
MF lepilo	11,50	7,50	40
	13,00	7,50	26
	10,00	7,50	72
	13,00	6,00	57
	11,50	9,00	42

Ti rezultati nam povedo, kakšen delež lepila bomo uporabili v posameznem sloju iverne plošče, da bomo dobili ploščo, kjer bo sila manjša od tiste, ki jo zahteva kupec. Iz ekonomskega vidika lahko vidimo, katera plošča ne presega maksimalne dovoljene sile ter izračunamo, katero povečanje deleža lepila je za nas ugodneje. Na primer, če potrebujemo ploščo, kjer je dovoljena maksimalna sila 80 N, bomo uporabili UF lepilo z deležem lepila v zunanjem sloju 11,50%, v srednjem pa 9,00%, saj je UF lepilo veliko cenejše. Če potrebujemo iverno ploščo, kjer je dovoljena sila 30N, bomo uporabili ploščo z deležem lepila v zunanjem sloju 13,00%, v srednjem pa 7,50%.

5.8 SKLEPI

V raziskavi smo ugotovili:

- Nabrek bo pri istem deležu lepila v posameznem sloju iverne plošče večji pri uporabi UF lepila, kot pa pri uporabi MF lepila.
- Sila (tlak sproščanja ob nabreku) bo pri istem deležu lepila v posameznem sloju iverne plošče večja pri uporabi UF lepila kot pri uporabi MF lepila.
- Pri debelinskem nabreku ter sili ima pomembno vlogo delež lepila v posameznem sloju iverne plošče. Z naraščanjem deleža lepila se debelinski nabrek in sila zmanjšujeta.
- Debelinski nabrek ter sila sta v medsebojni odvisnosti.

6 POVZETEK (SUMMARY)

Raziskovali smo vpliv vrste lepila na tlak sproščanja, ko smo iverno ploščo izpostavili delovanju vode.

Za izdelavo plošč smo uporabili dve vrsti lepila in sicer urea-formaldehidno in melami-formaldehidno ter iverje iz tovarne ivernih plošč Otiški Vrh. Pripravili smo lepilo in stehali iverje za posamezni sloj ter iverje oblepili. Nato smo oblikovali plošče. Plošče smo izdelali pri laboratorijskih pogojih z deleži lepila v srednjem sloju 6,00%, 7,50% in 9,00% ter zunanjem 10,00%, 11,50% in 13,00%. V plošče smo vstavili merilne celice s katerimi smo izmerili spremembo temperature.

Debelinski nabrek smo določevali z metodo 24 urne potopitve preizkušancev v vodo. Vzorce smo potopili v vodo ter merili spremembo debeline plošče po eni, dveh, treh, štirih, šestih in štiriindvajsetih urah.

Silo (tlak sproščanja ob nabreku) pa smo merili z napravo Zwick Z100 za čas 24 in 72 ur. Preskušane smo postavili na perforirano stojalo in mu približali merilno tipalo, preko katerega smo merili silo. Tako vpet preskušane smo po preteku 100 s prelili s 700 ml destilirane vode, ki je imela temperaturo 20° C in vrednostjo pH=7. Količina 700 ml je bila potrebna zato, da so bili vsi preskušanci obdani z enako količino vode.

Tako kot debelinski nabrek je tudi sprememba mase večja pri uporabi UF lepila. Debelinski nabrek je pri uporabi UF lepila med 8,31% in 16,43%, pri uporabi MF lepila pa med 5,93% in 7,97%. Pri spremembi mase so razlike manjše, saj se je ta gibala pri uporabi UF lepila med 37,68% in 41,40%, pri uporabi MF lepila pa med 32,83% in 36,04%. Sprememba mase je večja pri uporabi urea – formaldehidnega lepila.

Sila pri uporabi UF lepila je največja pri vzorcu, kjer je oblepljenost srednjega sloja 6,00%, zunanega pa 11,50% in je znašala 138N. Najmanjšo silo smo izmerili pri vzorcu, kjer je bila oblepljenost srednjega sloja 9,00%, zunanega pa 11,50% in je znašala 70N.

Sila pri uporabi MF lepila je največja pri vzorcu, kjer je oblepljenost srednjega sloja 7,50%, zunanega pa 10,00% in je znašala 72N. Najmanjšo silo smo izmerili pri vzorcu, kjer je oblepljenost srednjega sloja 7,50%, zunanega pa 13,00% in je znašala 26N.

Ugotovili smo, da imajo plošče lepljene z UF lepilom večji debelinski nabrek in večjo silo, kot plošče lepljene z MF lepilom. Večji kot je debelinski nabrek, večja je sila. Tako sila kot tudi debelinski nabrek hitreje naraščata v začetni fazi izpostavitve vodi.

7 VIRI

- Haligan A. F. 1970. A review of Thickness Swelling in Particleboard. *Wood Science and Tehnology*, 4, 4: 301 – 312
- Halligan A. F., Schniewind A. P. 1972. Effect of moisture on physical and creep properties of particleboard. *Forest Product. J.*, 22, 4: 41 – 48
- May H. A. 1978. Zur Optimierung der Herstellungsbedingungen phenolharzverleimter Spanplatten. Teil 1: Untersuchung einiger, die Beleimungsgüte beeinflussender Faktoren *Holz Roh – Werkstoff*, 36: 441 – 449
- Medved S. 1998. Vpliv časa potapljanja in velikosti vzorcev na debelinsko nabrekanje ivernih plošč za notranjo vgradnjo. V: *Mladinski raziskovalni tabor – Bohinj`98*; 15 – 20
- Medved S., Šernek M., Šega B. Thickness swelling and swelling pressure of wood-based panels. V: *Cost Action E44-E49 Conference in Valencia on Wood resources and panel properties*: 123 – 129
- Pirkmaier S. 1996. *Vlajninska in iverna lesna tvoriva*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
- Resnik J. 1989. *Lepila in lepljenje lesa*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 30 – 40
- Rice R. W., Wang C. 2002. Assessing the effect of swelling pressures in particleboard and acoustic emission technology. *Wood and Fiber Science*, 34,4: 577 – 586
- Scheider M. H., Chui, Y. C., Ganey S. B. 1992. Properties of particleboard made with polyfurfuryl – alcohol/urea – formaldehyde adhesive. *Forest Products Journal*, 46, 9: 79 – 83
- Suchsland O., Danping X. 1992. Determination of swelling stresses in wood – based materials. *Forest Products Journal*, 42, 5: 25 – 27

Firšt U. Vpliv vrste lepila pri izdelavi ivernih plošč na tlak sproščanja ob izpostavitvi delovanju vode.

Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 2008 44

Tarkov H., Turner H. D. 1958. The swelling pressure of wood. Forest Products Journal, 8, 7:

193 – 197

ZAHVALA

Pri izdelavi diplomske naloge se za pomoč pri zasnovi in izdelavi zahvaljujem mentorju doc. dr. Sergeju Medvedu, za recenzijo diplomske naloge pa doc. dr. Dominiki Gornik Bučar. Za pomoč se zahvaljujem tudi tehničnemu sodelavcu na Katedri za žagarstvo in lesna tvoriva g. Janezu Renku, ki mi je pomagal pri izdelavi ivernih plošč ter vzorcev.

Iskrena hvala tudi družini, ki me je financirala v času študija in vsem sošolcem, ki so tako ali drugače pripomogli k uspešnemu zaključku šolanja ter izdelavi diplomske naloge.