

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Igor ZORE

**VPLIV DEBELINE SREDNJEGA SLOJA NA
DEBELINSKI NABREK IVERNE PLOŠČE**

DIPLOMSKI PROJEKT

Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Igor ZORE

**VPLIV DEBELINE SREDNJEGA SLOJA NA DEBELINSKI
NABREK IVERNE PLOŠČE**

DIPLOMSKI PROJEKT
Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

**IMPACT OF CORE LAYER THICKNESS ON THICKNESS
SWELLING OF PARTICLEBOARD**

B. SC. THESIS
Professional Study Programmes

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija Tehnologije lesa in vlaknastih kompozitov na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Raziskava je bila opravljena v laboratorijih za patologijo in zaščito lesa.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Sergeja Medveda, za recenzenta pa viš. pred. mag. Bogdana Šega.

Mentor: prof. dr. Sergej Medved

Recenzent: viš. pred. mag. Bogdan Šega

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomski projekt je rezultat lastnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega diplomskega projekta na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je projekt, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identičen tiskani verziji.

Igor Zore

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

| | |
|----|---|
| ŠD | Dv1 |
| DK | UDK 630*862.2 |
| KG | iverna plošča/zunanji sloj/srednji sloj/sorpcija/debelinski nabrek/ |
| AV | ZORE, Igor |
| SA | MEDVED, Sergej (mentor) /ŠEGA, Bogdan (recenzent) |
| KZ | SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34 |
| ZA | Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo |
| LI | 2016 |
| IN | VPLIV DEBELINE SREDNJEGA SLOJA NA DEBELINSKI NABREK IVERNE PLOŠČE |
| TD | Diplomsko projekt (Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja) |
| OP | VIII, 23 str., 14 pregl., 7 sl., 15 vir. |
| IJ | sl |
| JI | sl/en |
| AI | Sorpcijske lastnosti ivernih plošč so odvisne od velikosti gradnikov, kakor tudi od uporabljenega lepila in ne nazadnje tudi od tehnološkega procesa. Pri izdelavi, predvsem pri natresanju, lahko v sami proizvodnji pride do nihanja v količini natresenega materiala, kar posledično privede tudi do variacij v debelini in gostoti posameznega sloja ter različnih debelinskih nabrekov. V laboratorijskih pogojih smo iz industrijskega iverja izdelali trislojne iverne plošče z različnim deležem srednjega sloja. Za oblepljanje iverja smo uporabili urea-formaldehidno lepilo. Izdelali smo tri različne trislojne iverne plošče, s 70 %, 55 % in 40 % deležem srednjega sloja. Spremljali smo debelinski nabrek pri potopitvi v vodo in izpostavitvi povišani relativni zračni vlažnosti. Pri izpostavitvi povišani relativni zračni vlažnosti so imeli največji debelinski nabrek preizkušanci s 70 % deležem srednjega sloja, pri potapljanju v vodo pa preizkušanci s 40 % deležem srednjega sloja. |

KEY WORDS DOKUMENTATION

| | |
|----|---|
| DN | Dv1 |
| DC | UDK 630*862.2 |
| CX | particleboard/surface layer/ core layer/sorption/thickness swelling/ |
| AU | ZORE, Igor |
| AA | MEDVED, Sergej (supervisor)/ ŠEGA, Bogdan (reviewer) |
| PP | SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34 |
| PB | University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology |
| PY | 2016 |
| TI | IMPACT OF CORE LAYER THICKNESS ON THICKNESS SWELLING OF PARTICLEBOARD |
| DT | B.Sc. Thesis (Professional Study Programmes) |
| NO | VIII, 23 p., 14 tab., 7 fig., 15 ref. |
| LA | sl |
| AL | sl/en |
| AB | Sorption properties of particleboard depend on the size of the constituents, type of adhesives used, as well as from the production process. During production, especially at mat forming, variation (mass of particles) could occur, hence variations in the thickness and density and thickness swelling. From industrial particles three different particleboards were made in laboratory conditions. Urea-formaldehyde resin was used as adhesive. Particleboards were made with different core layer share. The share of core layer was 40%, 55% and 70%. Thickness swelling after immersion in water and exposure to high humidity was determined. At the exposure to high humidity the highest swelling was determined when share of core layer was 70%, while the highest thickness swelling when immersed in water was determined at particleboard with 40% of core layer. |

KAZALO VSEBINE

| | | |
|----------|---|-------------|
| | KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA | III |
| | KEY WORDS DOKUMENTATION | IV |
| | KAZALO VSEBINE | V |
| | KAZALO PREGLEDNIC | VII |
| | KAZALO SLIK | VIII |
| 1 | UVOD | 1 |
| 1.1 | OPREDELITEV PROBLEMA | 1 |
| 1.2 | CILJINALOGE | 1 |
| 1.3 | DELOVNE HIPOTEZE | 1 |
| 2 | PREGLED LITERATURE | 2 |
| 3 | MATERIALI IN METODE | 5 |
| 3.1 | MATERIALI | 5 |
| 3.1.1 | Les | 5 |
| 3.1.2 | Lepilo | 5 |
| 3.2 | METODE | 5 |
| 3.2.1 | Izdelava iverne plošče | 5 |
| 3.2.2 | Izpostavitev preizkušancev relativni zračni vlagi..... | 7 |
| 3.2.3 | Izpostavitev preizkušancev vodi..... | 8 |
| 4 | REZULTATI | 10 |
| 4.1 | DEBELINSKI NABREK PREIZKUŠANCEV PO IZPOSTAVITVI VISOKI RELATIVNI ZRAČNI VLAŽNOSTI | 10 |
| 4.1.1 | Debelinski nabrek preizkušancev po izpostavitvi visoki relativni zračni vlažnosti (vzorci 50x50mm)..... | 10 |
| 4.1.2 | Debelinski nabrek preizkušancev po izpostavitvi visoki relativni zračni vlažnosti (vzorci 150 x 50mm)..... | 12 |
| 4.2 | DEBELINSKI NABREK PREIZKUŠANCEV PO IZPOSTAVITVI VODI... | 14 |
| 5 | RAZPRAVA..... | 16 |

| | | |
|----------|---------------------------------|-----------|
| 6 | SKLEP | 19 |
| 7 | POVZETEK..... | 20 |
| 8 | VIRI IN LITERATURA | 21 |
| | ZAHVALA | |

KAZALO PREGLEDNIC

| | |
|---|----|
| Preglednica 1: Linearno raztezanje in debelinski nabrek različnih vrst lesnih plošč | 3 |
| Preglednica 2: Kratek pregled pomembnih dejavnikov, ki vplivajo na sorpcijske lastnosti plošč | 4 |
| Preglednica 3: Lastnosti zunanjega sloja iverne plošče | 6 |
| Preglednica 4: Lastnosti srednjega sloja iverne plošče | 6 |
| Preglednica 5: Povprečna gostota vzorcev izpostavljenih visoki rzv in vodi | 10 |
| Preglednica 6: Preizkušanci, izpostavljeni visoki rzv – delež srednjega sloja 70 % | 10 |
| Preglednica 7: Preizkušanci, izpostavljeni visoki rzv – delež srednjega sloja 55 % | 11 |
| Preglednica 8: Preizkušanci, izpostavljeni visoki rzv – delež srednjega sloja 40 % | 11 |
| Preglednica 9: Preizkušanci, izpostavljeni visoki rzv – delež srednjega sloja 70 % | 12 |
| Preglednica 10: Preizkušanci, izpostavljeni visoki rzv – delež srednjega sloja 55 % | 12 |
| Preglednica 11: Preizkušanci, izpostavljeni visoki rzv – delež srednjega sloja 40 % | 13 |
| Preglednica 12: Preizkušanci, izpostavljeni vodi – delež srednjega sloja 70 % | 14 |
| Preglednica 13: Preizkušanci, izpostavljeni vodi – delež srednjega sloja 55 % | 14 |
| Preglednica 14: Preizkušanci, izpostavljeni vodi – delež srednjega sloja 40 % | 15 |

KAZALO SLIK

| | |
|---|----|
| Slika 1: Steklena komora za izpostavitve RZV | 7 |
| Slika 2: Preizkušanci po sušenju v sušilniku | 8 |
| Slika 3: Vodna kopel | 8 |
| Slika 4: Preizkušanci v vodni kopeli | 9 |
| Slika 5: Debelinski nabrek (G_t), mali preizkušanci z različnim deležem srednjega sloja izpostavljeni RZV | 16 |
| Slika 6: Debelinski nabrek (G_t), veliki preizkušanci z različnim deležem srednjega sloja izpostavljeni RZV | 17 |
| Slika 7: Debelinski nabrek (G_t), preizkušanci z različnim deležem srednjega sloja izpostavljeni vodi | 18 |

1 UVOD

Iverna plošča je zaradi svoje ploskovitosti, relativno dobre dimenzijske stabilnosti in dobrih mehanskih lastnosti vsestransko uporaben material. Uporabljajo se lahko v gradbeništvu, v največji meri pa za izdelavo pohištva, kjer uporabljamo tako surove kot tudi iverne plošče obložene z dekorativnim papirjem ali laminatom.

Za izdelavo ivernih plošč lahko uporabljamo manjvredne sortimente – oblovino, krajnike, furnirske ostanke, žagovino, skobljance in ostale lignocelulozne materiale (trse lanu, sladkorne trse, koruzna stebila, slamo). Vez med gradniki je vzpostavljena s pomočjo lepila.

Lastnosti iverne plošče so odvisne predvsem od strukture plošče (delež posameznega sloja, debelina posameznega sloja, gostote) in gradnikov iz katerih je iverna plošča narejena.

Največja pomanjkljivosti iverne plošče je njena slabša odpornost proti delovanju vode oz. vlage oz. debelinski nabrek.

Iverna plošča je sestavljena iz treh slojev. Za izdelavo srednjega sloja, ki ima nižjo gostoto, se uporabljajo večje iveri, medtem ko se za zunanja sloja (višja gostota) uporabljajo finejše iveri.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Sorpcijske lastnosti ivernih plošč so odvisne od velikosti gradnikov, kakor tudi od uporabljenega lepila in ne nazadnje tudi od tehnološkega procesa. Pri sami izdelavi, predvsem pri natresanju lahko v sami proizvodnji pride do nihanja v količini natresenega materiala, kar posledično privede tudi do variacij v debelini in gostoti posameznega sloja ter različnih debelinskih nabrekov.

V diplomskem projektu bomo predstavili vpliv deleža srednjega sloja trislojne iverne plošče na njen debelinski nabrek.

1.2 CILJI NALOGE

Cilj naloge je ugotoviti, kako delež srednjega sloja vpliva na debelinski nabrek trislojne iverne plošče.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Predvidevamo, da bo nabrekanje plošče odvisno tako od deleža srednjega sloja kakor tudi od pogojev izpostavitve. Nabrek naj bi bil večji pri plošči z najmanjšim deležem srednjega sloja.

2 PREGLED LITERATURE

Pojav nabrekanja in krčenja so lastnosti, ki karakterizirajo večino materialov. Les zaradi svoje kemične sestave in strukture, sprejema in oddaja vodo ali vlago. Zaradi adsorpcije ali desorpcije, se spreminjajo masa in dimenzije. Ker so lesni ploščni kompoziti izdelani iz 90 % lesa (10 % predstavlja lepilo) ne preseneča dejstvo, da le-ti delujejo zaradi sprejemanja oz. oddajanja vode oz. vlage (Nageli, 1854).

Sorpcijske lastnosti lesnih plošč so odvisne od več dejavnikov:

⇒ vrste lesa, tipa lepila

⇒ proizvodnega procesa: vsebnosti smole, gostote plošč, števila slojev, debeline in gostote posameznega sloja, pogojev stiskanja, itd.

Vzdolžno raztezanje lesnih plošč je majhno, raztezanje v navpični smeri (debelinski nabrek) pa veliko.

Zaradi povečanja vlage pride do oslabitve lepilnih vezi, kar lahko povzroči razslojitev plošče. Stik lesnih plošč z vlago ne privede samo do debelinskih nabrekov, ampak tudi do napetosti, ki nastanejo med nabrekom in povzročajo razpad vlaken v kompozitih.

Pred razpravo o dejavnikih, ki vplivajo na adsorpcijo vode in debelinski nabrek plošče je treba raziskati razloge, zakaj se debelinski nabrek dejansko pojavi. V lesnih ploščah se uporabljata dve glavni vrsti surovin. Prva je higroskopni ligno-celulozni material (les) in druga sintetično lepilo. Nabrek lepila je zanemarljiv v primerjavi z lesom. Značilno je, da je nabrekanje v vzdolžni smeri od 0,1 do 0,4 %, v radialni smeri od 3 do 8 % in v tangencialni smeri od 5 do 13 %. Raztezanje v vzdolžni smeri plošče je omejeno zaradi prevladujoče usmerjenosti vlaken v tej smeri.

Nabrek lesnih plošč posledica dveh dejavnikov:

⇒ nabrek lesa, imenovan tudi reverzibilen nabrek in

⇒ nabrek zaradi stiskanja, imenovan tudi ireverzibilen nabrek.

Najpomembnejši proizvodni parameter, ki vpliva na dimenzijsko stabilnost je pritisk med stiskanjem lesnih plošč. Pri furnirni vezani plošči (pri kateri je ireverzibilni nabrek razmeroma majhen) izdelani z nizkim pritiskom (tlak med 0,5 in 2 N/mm²), je razmeroma malo poškodb celic in ob stiku z vlago nabrekne v stanje, podobno tistemu pri normalnem lesu. Pri OSB, iverni in vlakneni plošči, ki so izdelane pri veliko višjih tlakih (od 2 do 10 N/mm²), pa pritisk povzroči deformacijo celice in gradnika.

Pred stiskanjem so delci v plošči ravni, vendar pri natresanju naležejo eden na drugega in se ukrivijo. Pri pogojih visoke vlažnosti celične stene absorbirajo vlago in nabreknejo, to lahko vodi do lomljenja lepilnih spojev, kar omogoča, da se delci vrnejo v svojo prvotno obliko (Nageli, 1854).

Po Klauditzu (1955) je možno razlikovati med ireverzibilnim in reverzibilnim lesnim nabrekom. Pri potapljanju se velikost nabreka pri ivernih ploščah v veliki meri odraža zaradi stisnjenega lesa, ki hoče nazaj v svojo prvotno pozicijo, in ne toliko zaradi naravnega nabrekanja lesa. Ireverzibilen nabrek povzroča tudi potencialno razliko nabreka zaradi različnih velikosti delcev, ki se uporabljajo, vrste lesa in variacij gostote. Pri izdelavi plošče ima lepilo pomembno vlogo.

Preglednica 1 prikazuje, da so velike razlike pri rezultatih. To pa zato, ker so rezultati odvisni od debeline in vrste plošče (Xu in Suchsland, 1991; Schwab in sod., 1997).

Preglednica 1: Linearno raztezanje in debelinski nabrek različnih vrst lesnih plošč

| Vrsta plošče | Linearno raztezanje | Debelinski nabrek |
|---------------|------------------------------|---------------------------|
| | (od 35 - 95 % RZV pri 20 °C) | (po 24h potopitvi v vodo) |
| Vezana plošča | 0,05 - 0,15 [%] | 2 - 15 [%] |
| OSB | 0,10 - 0,50 [%] | 10 - 20 [%] |
| Iverna plošča | 0,20 - 1,00 [%] | 5 - 30 [%] |
| MDF | 0,20 - 0,70 [%] | 5 - 45 [%] |
| HDF | 0,20 - 0,70 [%] | 5 - 35 [%] |

May (1978) omenja, da so mehansko-tehnološke lastnosti ivernih plošč odvisne tudi od njihovih dimenzij 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.

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 drobcih lesa, kot pri ploskih in širokih. To trditev sta že prej potrdila Heebink in Hann (1959) na ploščah iz smrekovega lesa in Braumbaugh (1960) na ploščah iz duglazije.

Niemz (1982) je ugotovil, da se z uporabo tanjšega iverja dosežejo boljše trdnostne lastnosti, kar naj bi bila predvsem posledica povečanja površine spoja med ivermi, zaradi večje specifične površine tanjšega iverja. Pri debelinskem nabreku pa je avtor ugotovil, da z naraščanjem debelin uporabljenega iverja debelinski nabrek pada. Ugotovil je tudi, da se z večanjem prostorninske mase plošč veča tudi upogibna trdnost.

Debelinski nabrek plošč je sestavljen iz dveh komponent in sicer iz nabrekanja lesa samega in sprostitev tlačnih napetosti, nastalih pri procesu stiskanja, to imenujemo ireverzibilni nabrek. Sprostitev tlačnih napetosti pa nastane pri visoki vsebnosti vlage. Na debelinski nabrek vplivajo uporabljena lesna vrsta, geometrija iverja, prostorninska masa plošč, faktor oblepljanja, pogoji stiskanja in vsebnost vlage v ploščah. Pri povečanju relativne vlažnosti iz 30 na 90 % plošče nabreknejo sedem do osem krat bolj,

kot če se relativna vlažnost poveča iz 30 na 65 %. Pri ploščah, kjer je zaželen večja prostorninska masa, je tlak, potreben za stiskanje, večji. Zaradi večjih tlačnih napetosti v ploščah z večjo prostorninsko maso bodo le-te imele tudi večji debelinski nabrek.

Debelinski nabrek se povečuje hkrati z večanjem prostorninske mase. Pri izpostavljanju visoki vlažnosti je ta odvisnost linearna, medtem ko pri potapljanju v vodi ni. Debelinski nabrek se lahko zmanjša s kombinacijo večje prostorninske mase in večjega faktorja oblepljanja. Pri uporabi tanjšega iverja je debelinski nabrek manjši, saj je pri uporabi tanjšega iverja vpliv na ireverzibilni nabrek večji kot pa je vpliv na nabrekanje lesa. Prav tako pa tudi dolžina iverja vpliva na nabrek, saj je pri iverju enake debeline opazen večji nabrek pri krajšem iverju, čeprav vpliv dolžine ni tako velik kot vpliv debeline iverja (Haligan, 1950).

Na adsorpcije lesnih plošč vplivajo številni dejavniki. Kratek pregled teh dejavnikov, glede na tip plošče je prikazan spodaj v preglednici 2.

Preglednica 2: Kratek pregled pomembnih dejavnikov, ki vplivajo na sorpcijske lastnosti plošč

| | Vezana plošča | OSB | Iverna plošča | Vlaknena plošča |
|--------------------|---------------|-----|---------------|-----------------|
| Vrsta lepila | x | x | x | / |
| Tip lepila | x | x | x | x |
| Delež lepila | x | x | x | x |
| Velikost gradnikov | / | x | x | x |
| Pogoji stiskanja | / | x | x | x |
| Zgostitev | x | x | x | x |
| Gostota plošče | / | x | x | x |
| Debelina plošče | x | x | x | x |
| Gostotni profil | / | / | x | x |

Sklepati je mogoče, da je bila adsorpcija vode in debelina nabreka lesnih plošč v veliki meri odvisna, od naslednjih parametrov: gostota plošče, vrsta lesa, starost lesnih delcev, iz katerega dela v deblu je les (sredica), tip stiskanja (paketno ali neprekinjeno) in tip plošče.

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Les

Pri preizkusu smo uporabili industrijsko iverje. Plošče so vsebovale mešano iverje bukovine (25 %) in smrekovine (75 %), pri vlažnosti $H = 2$ %.

3.1.2 Lepilo

Za lepljenje iverne plošče smo uporabili urea-formaldehidno lepilo. Gostota lepila je bila $1,27 \text{ g/cm}^3$, vrednost pH 8 in delež suhe snovi 65 %. Uporabili smo lepilo proizvajalca Nafta Lendava.

3.2 METODE

3.2.1 Izdelava iverne plošče

V laboratorijskih pogojih smo iz industrijskega iverja izdelali trislojne plošče z različnim deležem srednjega sloja.

Izdelali smo tri različne plošče velikosti $500 \times 500 \text{ mm}$ - nominalne debeline 16 mm in nominalne gostote $0,6 \text{ g/cm}^3$ (pri vlažnosti plošče 0 %). Iverne plošče so se razlikovale glede deleža srednjega sloja (70, 55 in 40 %). Delež dodanega urea-formaldehidnega UF lepila je bil 10,5 % za zunanji sloj in 6,5 % za srednji sloj.

Lepilno mešanico smo pripravili iz amonijevega sulfata, parafinske emulzije, urea-formaldehidnega lepila in vode. Za vsako iverno ploščo z različnim deležem srednjega sloja smo lepilno mešanico pripravili posebej. Nato smo iverje oblepili v laboratorijskem stroju za oblepljanje in jih natresli v leseni okvir $500 \times 500 \text{ mm}$. Pri tem smo pazili, da smo iveri enakomerno porazdelili v okvirju.

Pripravljeno pogačo smo stisnili v laboratorijski stiskalnici pri temperaturi $180 \text{ }^\circ\text{C}$ in tlaku 3 N/mm^2 . Čas stiskanja je bil tri minute. Ko smo ploščo vzeli iz stiskalnice smo jo ohladili pri sobnih pogojih in nato stehali. Masa posamezne plošče je bila (40 %) 2565,62g, (55 %) 2558,51g, (70 %) 2531,80g.

Iverne plošče smo po končanem stiskanju kondicionirali v normalni klimi s temperaturo $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ in relativno vlažnostjo zraka 65 %.

Preglednici 3 in 4 nam prikazujeta uporabljene materiale, ki smo jih uporabili za izdelavo testnih vzorcev, ter njihove količine.

Posamezne iverne plošče se med seboj razlikujejo glede na delež zunanjšega sloja (preglednica 3) in na delež srednjega sloja (preglednica 4), s tem pa posledično na maso iverne plošče.

Preglednica 3: Lastnosti zunanjšega sloja iverne plošče

| Zunanji sloj iverne plošče | Ivena plošča 1 | Ivena plošča 2 | Ivena plošča 3 |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Delež | 30 % | 45 % | 60 % |
| Masa | 720 g | 1080 g | 1440 g |
| Lepilo | UF | UF | UF |
| Delež lepila | 10,5 % | 10,5 % | 10,5 % |
| Suha snov - lepilo | 60 % | 60 % | 60 % |
| Suha snov – utrjevalec | 20 % | 20 % | 20 % |
| Suha snov – parafinska emulzija | 60 % | 60 % | 60 % |
| Vlažnost iverja | 2,5 % | 2,5 % | 2,5 % |
| Vlažnost oblepljenega iverja | 14 % | 14 % | 14 % |

Preglednica 4: Lastnosti srednjega sloja iverne plošče

| Srednji sloj iverne plošče | Ivena plošča 1 | Ivena plošča 2 | Ivena plošča 3 |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Delež | 70 % | 55 % | 40 % |
| Masa | 1680 g | 1320 g | 960 g |
| Lepilo | UF | UF | UF |
| Delež utrjevalca | 3 % | 3 % | 3 % |
| Delež lepila | 6,5 % | 6,5 % | 6 % |
| Suha snov - lepilo | 60 % | 60 % | 60 % |
| Suha snov – utrjevalec | 20 % | 20 % | 20 % |
| Suha snov – parafinska emulzija | 60 % | 60 % | 60 % |
| Vlažnost iverja | 3 % | 3 % | 3 % |
| Vlažnost oblepljenega iverja | 9 % | 9 % | 9 % |

Vsako ploščo posebej smo razžagali na formatnem krožnem žagalnem stroju na preizkušance:

- 8 vzorcev dimenzij 50 x 50 mm, za potopitev v vodo,
- 8 vzorcev dimenzij 50 x 50 mm, za izpostavitve visoki RZV in
- 6 vzorcev dimenzij 150 x 50 mm, za izpostavitve visoki RZV.

3.2.2 Izpostavitve preizkušancev relativni zračni vlagi

Iz vsake plošče smo izžagali osem vzorcev dimenzij 50 x 50 mm in šest vzorcev dimenzij 150 x 50 mm. Vzorce smo sedem dni klimatizirali pri temperaturi 20 °C in 65 % relativni zračni vlažnosti (v nadaljevanju RZV).

Po končanem klimatiziranju, smo preizkušance izpostavili okolju s 85 % RZV (slika 1). Le to smo dosegli z nasičeno vodno raztopino $\text{ZnSO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$. Komoro smo dobro zatesnili, z ventilatorjem pa smo dosegli enakomerno porazdelitev vlažnosti po celotni komori.



Slika 1: Steklena komora za izpostavitve RZV

Preizkušanci so bili v komori dva tedna. Spremembo mase vzorcev zaradi navlaževanja smo spremljali s pomočjo laboratorijske tehtnice na 0,01 g natančno, spremembo debeline pa z mikrometrom. Debelino vzorcev, dimenzij 50 x 50 mm, smo merili na enem mestu preizkušanca, debelino vzorcev dimenzij 150 x 50 mm pa na treh različnih mestih.

Po dveh tednih izpostavitve smo preizkušance 24 ur sušili v sušilniku pri 103 ± 2 °C. Nato smo preizkušance, za 14 dni, ponovno izpostavili povišani RZV.



Slika 2: Preizkušanci po sušenju v sušilniku

3.2.3 Izpostavitev preizkušancev vodi

Iz vsake plošče smo izžagali tudi po osem preizkušancev dimenzij 50 x 50 mm za izpostavitvev vodi. Nato smo preizkušancem z mikrometrom izmerili debelino, jih stehali in položili v vodno kopel, ki je imela temperaturo 21 ± 1 °C.

Samo metodo preizkušanja ivernih plošč na nabrek po potapljanju v vodo določa standard SIST EN 317: 1993.



Slika 3: Vodna kopel

Preizkušanci se med seboj niso smeli dotikali, le tako je bil omogočen dostop vode po vsej površini. Z kovinsko kletko pa smo zagotovili da so bili preizkušanci ves čas izpostavitve, 25 mm pod vodno gladino.



Slika 4: Preizkušanci v vodni kopeli

Meritve na preizkušancih smo izvedli po 24 urah, po enem tednu in po dveh tednih izpostavitve vodi. Preizkušance smo vzeli iz vodne kopeli, jih obrisali, stehali in izmerili debelino z mikrometrom na dve decimalki natančno.

Iz podatkov, ki smo jih dobili pri meritvah smo izračunali vpijanje vode in debelinski nabrek po enačbi:

$$G_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad \dots\dots(1)$$

G_m – vpijanje vode (%)

m_1 – masa vzorca pred potopitvijo v vodno kopel (g)

m_2 – masa vzorca po potopitvi v vodno kopel (g)

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \quad \dots\dots(2)$$

G_t – debelinski nabrek (%)

t_1 – debelina vzorca pred potopitvijo v vodno kopel (mm)

t_2 – debelina vzorca po potopitvi v vodno kopel (mm)

4 REZULTATI

V preglednici 5 so prikazani podatki o povprečni debelini in povprečni gostoti preizkušancev, pri izpostavitvi povišani RZV.

Preglednica 5: Povprečna gostota vzorcev izpostavljenih visoki RZV in vodi

| Gostota vzorcev izpostavljenih 85 % RZV in vodi (delež srednjega sloja 70, 55 in 40 %) | | | | | | | |
|--|----------------------------|----------------|------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|
| | Delež srednjega sloja 70 % | | | Delež srednjega sloja 55 % | | Delež srednjega sloja 40 % | |
| | vzorec dimenzije | povp. debelina | povp. gostota | povp. debelina | povp. gostota | povp. debelina | povp. gostota |
| | [mm] | d [mm] | q [kg/m ³] | d [mm] | q [kg/m ³] | d [mm] | q [kg/m ³] |
| 85 % | 50 x 50 | 16,66 | 607 | 16,66 | 614 | 16,74 | 616 |
| RZV | 150 x 50 | 16,76 | | 16,69 | | 16,64 | |
| voda | 50 x 50 | 16,63 | | 16,69 | | 16,64 | |
| | | 16,68 | | 16,68 | | 16,67 | |

Iz preglednice 5 je razvidno, da so razlike v debelinah preskušancev minimalne, medtem ko lahko ugotovimo razliko v gostoti med ploščami s 70 % deležem srednjega sloja in ploščami s 55 % in 40 % srednjega sloja.

4.1 DEBELINSKI NABREK PREIZKUŠANCEV PO IZPOSTAVITVI VISOKI RELATIVNI ZRAČNI VLAŽNOSTI

4.1.1 Debelinski nabrek preizkušancev po izpostavitvi visoki relativni zračni vlažnosti (vzorci 50x50mm)

V preglednicah 6, 7 in 8 so prikazani podatki meritev pred izpostavitvijo relativni zračni vlažnosti (RZV) ter po 24, 168 in 336 urah.

Preglednica 6: Preizkušanci, izpostavljeni visoki RZV – delež srednjega sloja 70 %

| Mali vzorci (50 x 50 mm) - delež srednjega sloja 70 % | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------------|-------|--------|-------|----------------|----------------|---------|-------|----------------|----------------|---------|--------|----------------|----------------|
| | vzorec | prve meritve | | po 24h | | | | 1.teden | | | | 2.teden | | | |
| | | d (mm) | m(g) | d (mm) | m (g) | G _t | G _m | d (mm) | m [g] | G _t | G _m | d (mm) | m [(g) | G _t | G _m |
| 100% RZV | 1.1 | 16,68 | 23,34 | 16,69 | 23,37 | 0,06 | 0,13 | 17,29 | 24,95 | 3,66 | 6,90 | 17,28 | 24,84 | 3,60 | 6,43 |
| | 1.2 | 16,67 | 23,46 | 16,68 | 23,48 | 0,06 | 0,09 | 17,31 | 25,12 | 3,84 | 7,08 | 17,27 | 25,01 | 3,60 | 6,61 |
| | 1.3 | 16,71 | 24,54 | 16,72 | 24,57 | 0,06 | 0,12 | 17,36 | 26,25 | 3,89 | 6,97 | 17,32 | 26,15 | 3,65 | 6,56 |
| | 1.4 | 16,68 | 23,53 | 16,69 | 23,52 | 0,06 | -0,04 | 17,28 | 25,07 | 3,60 | 6,54 | 17,26 | 24,98 | 3,48 | 6,16 |
| | 1.5 | 16,60 | 23,88 | 16,60 | 23,88 | 0,00 | 0,00 | 17,19 | 25,35 | 3,55 | 6,16 | 17,16 | 25,33 | 3,37 | 6,07 |
| | 1.6 | 16,59 | 23,65 | 16,60 | 23,63 | 0,06 | -0,08 | 17,19 | 25,16 | 3,62 | 6,38 | 17,15 | 25,07 | 3,38 | 6,00 |
| | 1.7 | 16,71 | 22,17 | 16,74 | 22,18 | 0,18 | 0,05 | 17,32 | 23,56 | 3,65 | 6,27 | 17,30 | 23,54 | 3,53 | 6,18 |
| | 1.8 | 16,62 | 25,62 | 16,63 | 25,60 | 0,06 | -0,08 | 17,21 | 27,15 | 3,55 | 5,97 | 17,17 | 27,11 | 3,31 | 5,82 |
| | povp | | | | | 0,07 | 0,02 | | | 3,67 | 6,53 | | | 3,49 | 6,23 |
| | σ | | | | | 0,05 | 0,09 | | | 0,13 | 0,41 | | | 0,13 | 0,28 |
| KV (%) | | | | | 73,99 | 392,62 | | | 3,47 | 6,25 | | | 3,60 | 4,48 | |

Preglednica 7: Preizkušanci, izpostavljeni visoki RZV – delež srednjega sloja 55 %

| Mali vzorci (50 x 50 mm) - delež srednjega sloja 55 % | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------------|-------|--------|--------|----------------|----------------|----------|-------|----------------|----------------|----------|-------|----------------|----------------|
| | vzorec | prve meritve | | po 24h | | | | 1. teden | | | | 2. teden | | | |
| | | d (mm) | m(g) | d (mm) | m (g) | G _t | G _m | d (mm) | m (g) | G _t | G _m | d (mm) | m (g) | G _t | G _m |
| 100% RZV | 2.1 | 16,65 | 25,24 | 16,66 | 25,25 | 0,06 | 0,04 | 17,28 | 26,95 | 3,78 | 6,77 | 17,25 | 26,78 | 3,60 | 6,10 |
| | 2.2 | 16,57 | 26,38 | 16,57 | 26,39 | 0,00 | 0,04 | 17,12 | 27,93 | 3,32 | 5,88 | 17,10 | 27,83 | 3,20 | 5,50 |
| | 2.3 | 16,67 | 23,69 | 16,68 | 23,70 | 0,06 | 0,04 | 17,22 | 25,15 | 3,30 | 6,16 | 17,21 | 25,04 | 3,24 | 5,70 |
| | 2.4 | 16,81 | 22,83 | 16,81 | 22,85 | 0,00 | 0,09 | 17,46 | 24,37 | 3,87 | 6,75 | 17,43 | 24,24 | 3,69 | 6,18 |
| | 2.5 | 16,64 | 26,58 | 16,65 | 26,58 | 0,06 | 0,00 | 17,26 | 28,26 | 3,73 | 6,32 | 17,26 | 28,12 | 3,73 | 5,79 |
| | 2.6 | 16,63 | 24,22 | 16,64 | 24,25 | 0,06 | 0,12 | 17,27 | 25,89 | 3,85 | 6,90 | 17,25 | 25,74 | 3,73 | 6,28 |
| | 2.7 | 16,65 | 27,60 | 16,65 | 27,62 | 0,00 | 0,07 | 17,19 | 29,16 | 3,24 | 5,65 | 17,16 | 29,05 | 3,06 | 5,25 |
| | 2.8 | 16,67 | 24,50 | 16,67 | 24,50 | 0,00 | 0,00 | 17,25 | 26,05 | 3,48 | 6,33 | 17,22 | 25,92 | 3,30 | 5,80 |
| | povp | | | | | 0,03 | 0,05 | | | 3,57 | 6,34 | | | 3,44 | 5,82 |
| | σ | | | | | 0,03 | 0,04 | | | 0,26 | 0,44 | | | 0,27 | 0,35 |
| KV (%) | | | | | 106,90 | 84,37 | | | 7,38 | 7,00 | | | 7,87 | 6,00 | |

Preglednica 8: Preizkušanci, izpostavljeni visoki RZV – delež srednjega sloja 40 %

| Mali vzorci (50 x 50 mm) - delež srednjega sloja 40 % | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------------|-------|--------|-------|----------------|----------------|----------|-------|----------------|----------------|----------|-------|----------------|----------------|
| | vzorec | prve meritve | | po 24h | | | | 1. teden | | | | 2. teden | | | |
| | | d (mm) | m(g) | d (mm) | m (g) | G _t | G _m | d (mm) | m (g) | G _t | G _m | d (mm) | m (g) | G _t | G _m |
| 100% RZV | 3.1 | 16,77 | 22,48 | 16,77 | 22,5 | 0,00 | 0,09 | 17,32 | 23,99 | 3,28 | 6,72 | 17,3 | 23,87 | 3,34 | 6,18 |
| | 3.2 | 16,64 | 23,38 | 16,65 | 24,4 | 0,06 | 4,36 | 17,26 | 25,98 | 3,73 | 11,12 | 17,2 | 25,83 | 3,55 | 10,48 |
| | 3.3 | 16,8 | 23,4 | 16,81 | 23,42 | 0,06 | 0,09 | 17,36 | 24,95 | 3,33 | 6,62 | 17,3 | 24,83 | 3,21 | 6,11 |
| | 3.4 | 16,73 | 26,1 | 16,74 | 26,12 | 0,06 | 0,08 | 17,34 | 27,79 | 3,65 | 6,48 | 17,4 | 27,66 | 3,71 | 5,98 |
| | 3.5 | 16,74 | 24,52 | 16,75 | 24,54 | 0,06 | 0,08 | 17,34 | 26,1 | 3,58 | 6,44 | 17,3 | 26 | 3,58 | 6,04 |
| | 3.6 | 16,8 | 26,37 | 16,8 | 26,37 | 0,00 | 0,00 | 17,45 | 28,08 | 3,87 | 6,48 | 17,4 | 27,96 | 3,63 | 6,03 |
| | 3.7 | 16,72 | 25,36 | 16,73 | 25,38 | 0,06 | 0,08 | 17,31 | 26,99 | 3,53 | 6,43 | 17,3 | 26,88 | 3,47 | 5,99 |
| | 3.8 | 16,69 | 23,84 | 16,7 | 23,85 | 0,06 | 0,04 | 17,29 | 25,41 | 3,59 | 6,59 | 17,3 | 25,3 | 3,48 | 6,12 |
| | povp | | | | | 0,04 | 0,60 | | | 3,57 | 7,11 | | | 3,50 | 6,62 |
| | σ | | | | | 0,03 | 1,52 | | | 0,19 | 1,62 | | | 0,16 | 1,56 |
| KV (%) | | | | | 61,72 | 252,46 | | | 5,42 | 22,84 | | | 4,56 | 23,61 | |

Iz preglednic 6, 7 in 8 lahko razberemo, da so preizkušanci imeli največji debelinski nabrek in vpijanje vode v prvem tednu izpostavitve.

Ugotovimo lahko, da so imeli največji debelinski nabrek (3,67 %) preizkušanci s 70 % deležem srednjega sloja. Največjo absorpcijo smo ugotovili pri preskušancih s 40 % deležem srednjega sloja (7,11 %).

4.1.2 Debelinski nabrek preizkušancev po izpostavitvi visoki relativni zračni vlažnosti (vzorci 150 x 50mm)

V preglednicah 9, 10 in 11 so prikazani podatki meritev pred izpostavitvijo RZV in po 336 urah izpostavitve RZV, ter meritve 336 ur po sušenju v sušilniku.

Preglednica 9: Preizkušanci, izpostavljeni visoki RZV – delež srednjega sloja 70 %

| Veliki vzorci (150 x 50 mm) - delež srednjega sloja 70 % | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------------|-------|---------|-------|----------------|----------------|----------------|-------|----------------|----------------|----------------------|--------|----------------|----------------|
| | vzorec | prve meritve | | 2.teden | | | | absolutno suho | | | | 2.teden (po sušenju) | | | |
| | | d (mm) | m(g) | d (mm) | m (g) | G _t | G _m | d (mm) | m (g) | G _t | G _m | d (mm) | m [(g) | G _t | G _m |
| 100% RZV | 1.1 | 16,61 | 69,58 | 17,19 | 73,94 | 3,47 | 6,27 | 16,39 | 64,80 | -1,34 | -6,87 | 16,92 | 70,46 | 3,23 | 8,73 |
| | 1.2 | 16,59 | 69,75 | 17,15 | 73,90 | 3,38 | 5,95 | 16,35 | 64,93 | -1,45 | -6,91 | 16,88 | 70,82 | 3,24 | 9,07 |
| | 1.3 | 16,61 | 68,02 | 17,16 | 72,21 | 3,31 | 6,16 | 16,42 | 63,30 | -1,14 | -6,94 | 17,13 | 68,96 | 4,32 | 8,94 |
| | 1.4 | 16,70 | 76,34 | 17,25 | 80,65 | 3,29 | 5,65 | 16,47 | 70,88 | -1,38 | -7,15 | 17,03 | 77,30 | 3,40 | 9,06 |
| | 1.5 | 16,70 | 73,82 | 17,25 | 78,20 | 3,29 | 5,93 | 16,43 | 68,30 | -1,62 | -7,48 | 16,95 | 74,69 | 3,16 | 9,36 |
| | 1.6 | 16,59 | 79,6 | 17,34 | 84,25 | 4,52 | 5,84 | 16,59 | 73,91 | 0,00 | -7,15 | 17,12 | 80,86 | 3,19 | 9,40 |
| | povp | | | | | 3,54 | 5,97 | | | -1,15 | -7,08 | | | 3,43 | 9,09 |
| | σ | | | | | 0,48 | 0,22 | | | 0,59 | 0,23 | | | 0,45 | 0,25 |
| | KV (%) | | | | | 13,63 | 3,73 | | | -50,75 | -3,22 | | | 13,05 | 2,78 |

Preglednica 10: Preizkušanci, izpostavljeni visoki RZV – delež srednjega sloja 55 %

| Veliki vzorci (150 x 50 mm) - delež srednjega sloja 55 % | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------------|-------|---------|-------|----------------|----------------|----------------|-------|----------------|----------------|----------------------|--------|----------------|----------------|
| | vzorec | prve meritve | | 2.teden | | | | absolutno suho | | | | 2.teden (po sušenju) | | | |
| | | d (mm) | m(g) | d (mm) | m (g) | G _t | G _m | d (mm) | m (g) | G _t | G _m | d (mm) | m [(g) | G _t | G _m |
| 100% RZV | 2.1 | 16,53 | 72,33 | 17,06 | 76,51 | 3,21 | 5,78 | 16,25 | 67,13 | -1,69 | -7,19 | 16,76 | 73,06 | 3,14 | 8,83 |
| | 2.2 | 16,60 | 78,81 | 17,16 | 83,13 | 3,37 | 5,48 | 16,33 | 73,06 | -1,63 | -7,30 | 16,90 | 79,76 | 3,49 | 9,17 |
| | 2.3 | 16,63 | 76,00 | 17,17 | 80,16 | 3,25 | 5,47 | 16,35 | 70,44 | -1,68 | -7,32 | 16,97 | 76,93 | 3,79 | 9,21 |
| | 2.4 | 16,55 | 70,66 | 17,11 | 74,80 | 3,38 | 5,86 | 16,28 | 65,56 | -1,63 | -7,22 | 16,80 | 71,53 | 3,19 | 9,11 |
| | 2.5 | 16,58 | 74,32 | 17,13 | 78,59 | 3,32 | 5,75 | 16,30 | 68,98 | -1,69 | -7,19 | 16,82 | 75,20 | 3,19 | 9,02 |
| | 2.6 | 16,69 | 78,25 | 17,22 | 82,48 | 3,18 | 5,41 | 16,36 | 72,57 | -1,98 | -7,26 | 16,95 | 79,23 | 3,61 | 9,18 |
| | povp | | | | | 3,28 | 5,62 | | | -1,72 | -7,24 | | | 3,40 | 9,09 |
| | σ | | | | | 0,09 | 0,19 | | | 0,13 | 0,06 | | | 0,27 | 0,14 |
| | KV (%) | | | | | 2,66 | 3,42 | | | -7,62 | -0,76 | | | 7,88 | 1,56 |

Preglednica 11: Preizkušanci, izpostavljeni visoki RZV – delež srednjega sloja 40 %

| Veliki vzorci (150 x 50 mm) - delež srednjega sloja 40 % | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------------|-------|---------|-------|----------------|----------------|----------------|-------|----------------|----------------|----------------------|--------|----------------|----------------|------|
| | vzorec | prve meritve | | 2.teden | | | | absolutno suho | | | | 2.teden (po sušenju) | | | | |
| | | d (mm) | m(g) | d (mm) | m (g) | G _t | G _m | d (mm) | m (g) | G _t | G _m | d (mm) | m [(g) | G _t | G _m | |
| 100% RZV | 3.1 | 16,61 | 71,00 | 17,21 | 75,32 | 3,61 | 6,08 | 16,38 | 66,16 | -1,38 | -6,82 | 16,91 | 72,13 | 3,24 | 9,02 | |
| | 3.2 | 16,59 | 76,89 | 17,16 | 81,34 | 3,44 | 5,79 | 16,36 | 71,48 | -1,39 | -7,04 | 16,89 | 77,98 | 3,24 | 9,09 | |
| | 3.3 | 16,65 | 75,85 | 17,18 | 80,12 | 3,18 | 5,63 | 16,43 | 70,54 | -1,32 | -7,00 | 16,95 | 77,01 | 3,16 | 9,17 | |
| | 3.4 | 16,60 | 69,81 | 17,16 | 74,09 | 3,37 | 6,13 | 16,38 | 65,00 | -1,33 | -6,89 | 16,86 | 70,75 | 2,93 | 8,85 | |
| | 3.5 | 16,64 | 70,26 | 17,21 | 74,54 | 3,43 | 6,09 | 16,41 | 65,46 | -1,38 | -6,83 | 16,91 | 71,42 | 3,05 | 9,10 | |
| | 3.6 | 16,64 | 77,42 | 17,16 | 81,97 | 3,13 | 5,88 | 16,37 | 71,98 | -1,62 | -7,03 | 16,94 | 79,23 | 3,48 | 10,07 | |
| | povp | | | | | 3,36 | 5,93 | | | | -1,40 | -6,93 | | | 3,18 | 9,22 |
| | σ | | | | | 0,18 | 0,20 | | | | 0,11 | 0,10 | | | 0,19 | 0,43 |
| | KV (%) | | | | | 5,33 | 3,40 | | | | -7,93 | -1,44 | | | 5,93 | 4,69 |

Pri velikih preizkušancih smo opravili meritve po dveh tednih izpostavitve. Nato smo preizkušance sušili v sušilniku in znova izpostavili RZV za dva tedna. Iz rezultatov v razpredelnicah 9, 10 in 11 razberemo, da je bila debelina in masa preizkušancev po sušenju manjša kakor pri prvih meritvah. Razlog za to je, da preizkušanci pri prvi meritvi niso bili absolutno suhi. Po sušenju so se tlačne napetosti, nastale med procesom stiskanja, sprostile, zato je bil debelinski nabrek večji po prvi 336 urni izpostavitvi, kakor po drugi izpostavitvi RZV.

Največji debelinski nabrek (3,54 %) so imeli preizkušanci s 70 % deležem srednjega sloja, najmanjši (3,28 %) pa preizkušanci s 55 % deležem srednjega sloja.

4.2 DEBELINSKI NABREK PREIZKUŠANCEV PO IZPOSTAVITVI VODI

V preglednicah 12, 13 in 14 so prikazani podatki meritev pred izpostavitvijo vodi ter po 24, 168 in 336 urah.

Preglednica 12: Preizkušanci, izpostavljeni vodi – delež srednjega sloja 70 %

| Mali vzorci (50 x 50 mm) - delež srednjega sloja 70 % | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------|--------------|-------|--------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|--------|---------|--------|-------|--------|--------|
| | vzorec | prve meritve | | po 24h | | | | 1.teden | | | | 2.teden | | | | |
| | | d (mm) | m(g) | d (mm) | m (g) | G_t | G_m | d (mm) | m [g] | G_t | G_m | d (mm) | m [(g) | G_t | G_m | |
| voda | 1.9 | 16,61 | 26,15 | 18,69 | 47,50 | 12,52 | 81,64 | 18,79 | 51,30 | 13,12 | 96,18 | 18,94 | 53,17 | 14,03 | 103,33 | |
| | 1.10 | 16,65 | 27,12 | 18,92 | 48,50 | 13,63 | 78,83 | 19,06 | 52,20 | 14,47 | 92,48 | 19,20 | 53,95 | 15,32 | 98,93 | |
| | 1.11 | 16,66 | 25,58 | 18,82 | 47,70 | 12,97 | 86,47 | 18,97 | 51,20 | 13,87 | 100,16 | 19,07 | 52,61 | 14,47 | 105,67 | |
| | 1.12 | 16,61 | 25,74 | 18,85 | 48,00 | 13,49 | 86,48 | 19,10 | 51,80 | 14,99 | 101,24 | 19,26 | 53,14 | 15,95 | 106,45 | |
| | 1.13 | 16,54 | 24,95 | 18,59 | 46,60 | 12,39 | 86,77 | 18,72 | 50,80 | 13,18 | 103,61 | 18,85 | 51,70 | 13,97 | 107,21 | |
| | 1.14 | 16,62 | 26,20 | 18,79 | 48,50 | 13,06 | 85,11 | 18,96 | 52,00 | 14,08 | 98,47 | 19,05 | 53,53 | 14,62 | 104,31 | |
| | 1.15 | 16,72 | 21,95 | 18,87 | 46,30 | 12,86 | 110,93 | 18,90 | 49,20 | 13,04 | 124,15 | 19,04 | 50,72 | 13,88 | 131,07 | |
| | 1.16 | 16,62 | 26,35 | 18,77 | 48,20 | 12,94 | 82,92 | 18,92 | 51,60 | 13,84 | 95,83 | 19,05 | 53,28 | 14,62 | 102,20 | |
| | povp | | | | | | 12,98 | 87,40 | | | 13,82 | 101,51 | | | 14,61 | 107,40 |
| | σ | | | | | | 0,42 | 9,91 | | | 0,69 | 9,79 | | | 0,72 | 9,92 |
| KV (%) | | | | | | 3,27 | 11,34 | | | 5,02 | 9,64 | | | 4,92 | 9,24 | |

Preglednica 13: Preizkušanci, izpostavljeni vodi – delež srednjega sloja 55 %

| Mali vzorci (50 x 50 mm) - delež srednjega sloja 55 % | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------|--------------|-------|--------|-------|-------|--------|----------|-------|-------|--------|----------|-------|-------|--------|--------|
| | vzorec | prve meritve | | po 24h | | | | 1. teden | | | | 2. teden | | | | |
| | | d (mm) | m(g) | d (mm) | m (g) | G_t | G_m | d (mm) | m (g) | G_t | G_m | d (mm) | m (g) | G_t | G_m | |
| voda | 2.9 | 16,76 | 22,52 | 18,93 | 47,40 | 12,95 | 110,48 | 19,10 | 50,30 | 13,96 | 123,36 | 19,21 | 51,89 | 14,62 | 130,42 | |
| | 2.10 | 16,54 | 25,58 | 18,60 | 47,50 | 12,45 | 85,69 | 18,65 | 51,00 | 12,76 | 99,37 | 18,81 | 52,58 | 13,72 | 105,55 | |
| | 2.11 | 16,55 | 27,26 | 18,59 | 49,00 | 12,33 | 79,75 | 18,78 | 52,20 | 13,47 | 91,49 | 18,95 | 53,61 | 14,50 | 96,66 | |
| | 2.12 | 16,62 | 24,07 | 18,71 | 46,50 | 12,58 | 93,19 | 18,77 | 49,90 | 12,94 | 107,31 | 18,91 | 51,64 | 13,78 | 114,54 | |
| | 2.13 | 16,56 | 26,99 | 18,81 | 47,10 | 13,59 | 74,51 | 19,04 | 52,20 | 14,98 | 93,40 | 19,10 | 53,30 | 15,34 | 97,48 | |
| | 2.14 | 16,54 | 28,10 | 18,75 | 48,00 | 13,36 | 70,82 | 18,81 | 52,20 | 13,72 | 85,77 | 18,94 | 53,95 | 14,51 | 91,99 | |
| | 2.15 | 16,63 | 27,40 | 18,79 | 47,90 | 12,99 | 74,82 | 18,87 | 52,30 | 13,47 | 90,88 | 19,09 | 53,67 | 14,79 | 95,88 | |
| | 2.16 | 16,64 | 26,30 | 18,96 | 46,80 | 13,94 | 77,95 | 19,10 | 51,20 | 14,78 | 94,68 | 19,24 | 52,13 | 15,63 | 98,21 | |
| | povp | | | | | | 13,02 | 83,40 | | | 13,76 | 98,28 | | | 14,61 | 103,84 |
| | σ | | | | | | 0,57 | 13,03 | | | 0,79 | 11,99 | | | 0,66 | 12,82 |
| KV (%) | | | | | | 4,40 | 15,62 | | | 5,77 | 12,20 | | | 4,55 | 12,35 | |

Preglednica 14: Preizkušanci, izpostavljeni vodi – delež srednjega sloja 40 %

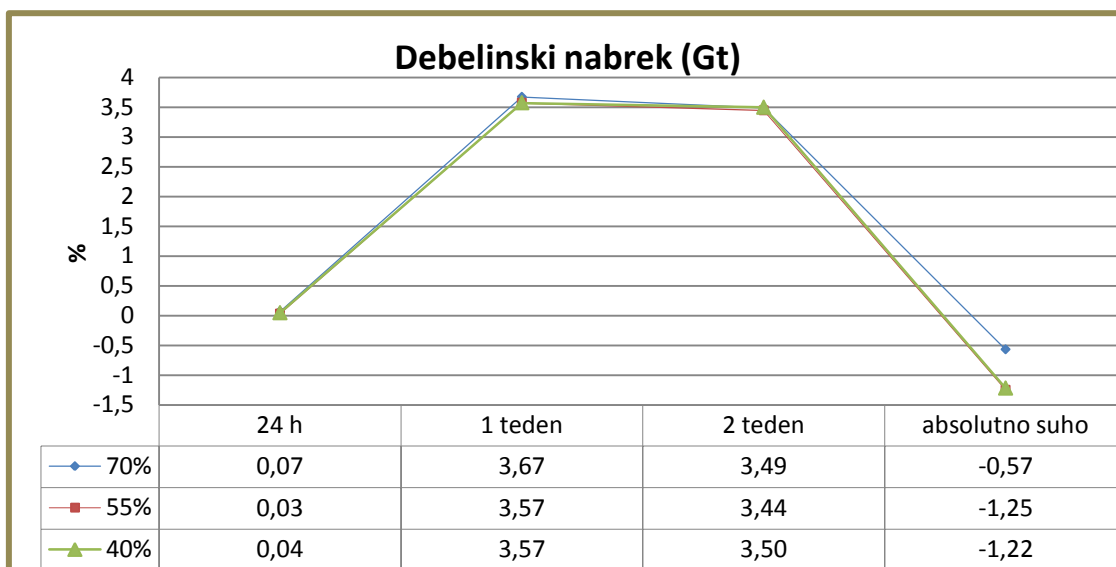
| Mali vzorci (50 x 50 mm) - delež srednjega sloja 40 % | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------------|-------|--------|-------|----------------|----------------|----------|-------|----------------|----------------|----------|-------|----------------|----------------|-------|
| | vzorec | prve meritve | | po 24h | | | | 1. teden | | | | 2. teden | | | | |
| | | d (mm) | m(g) | d (mm) | m (g) | G _t | G _m | d (mm) | m (g) | G _t | G _m | d (mm) | m (g) | G _t | G _m | |
| voda | 3.9 | 16,62 | 25,07 | 18,75 | 47,20 | 12,82 | 88,27 | 18,93 | 51,30 | 13,90 | 104,63 | 19,04 | 52,66 | 14,56 | 110,05 | |
| | 3.10 | 16,61 | 28,11 | 18,82 | 48,70 | 13,31 | 73,25 | 19,06 | 53,00 | 14,75 | 88,55 | 19,19 | 54,19 | 15,53 | 92,78 | |
| | 3.11 | 16,74 | 28,36 | 19,11 | 49,50 | 14,16 | 74,54 | 19,34 | 53,30 | 15,53 | 87,94 | 19,50 | 54,62 | 16,49 | 92,60 | |
| | 3.12 | 16,66 | 28,15 | 18,99 | 49,00 | 13,99 | 74,07 | 19,20 | 53,30 | 15,25 | 89,34 | 19,44 | 54,55 | 16,69 | 93,78 | |
| | 3.13 | 16,64 | 26,94 | 18,88 | 47,90 | 13,46 | 77,80 | 19,09 | 52,20 | 14,72 | 93,76 | 19,23 | 53,78 | 15,56 | 99,63 | |
| | 3.14 | 16,59 | 27,34 | 18,86 | 48,20 | 13,68 | 76,30 | 19,00 | 52,50 | 14,53 | 92,03 | 19,12 | 53,72 | 15,25 | 96,49 | |
| | 3.15 | 16,58 | 26,90 | 18,77 | 47,50 | 13,21 | 76,58 | 18,81 | 51,80 | 13,45 | 92,57 | 19,05 | 53,22 | 14,90 | 97,84 | |
| | 3.16 | 16,69 | 28,36 | 19,04 | 49,10 | 14,08 | 73,13 | 19,23 | 53,30 | 15,22 | 87,94 | 19,43 | 54,41 | 16,42 | 91,85 | |
| | povp | | | | | | 13,59 | 76,74 | | | 14,67 | 92,09 | | | 15,67 | 96,88 |
| | σ | | | | | | 0,47 | 4,95 | | | 0,71 | 5,54 | | | 0,78 | 6,00 |
| KV (%) | | | | | | 3,49 | 6,45 | | | 4,81 | 6,01 | | | 5,00 | 6,20 | |

V preglednicah 12,13 in 14 vidimo, da so preizkušanci imeli v povprečju največji debelinski nabrek in največje vpijanje vode po dveh tednih izpostavitve. Največji debelinski nabrek (15,67 %) so imeli preizkušanci z 40 % deležem srednjega sloja. Največje vpijanje vode (107,40 %) pa preizkušanci z 70 % deležem srednjega sloja (slika 10). Ti vzorci so imeli najmanjšo gostoto, kar pomeni večjo poroznost površine in večje vpijanje vode.

Najmanjši debelinski nabrek (14,61 %) pa so imeli preizkušanci z 70 % deležem srednjega sloja. Preizkušanci z manjšo gostoto imajo več praznih prostorov v notranjosti plošče, katere delci iveri najprej zapolnijo.

5 RAZPRAVA

Slika 5 prikazuje povprečne podatke debelinskega nabreka po urah izpostavitve, za vse tri vrste preizkušancev velikosti 50 x 50 mm, ki so bili izpostavljeni 100 % RZV.

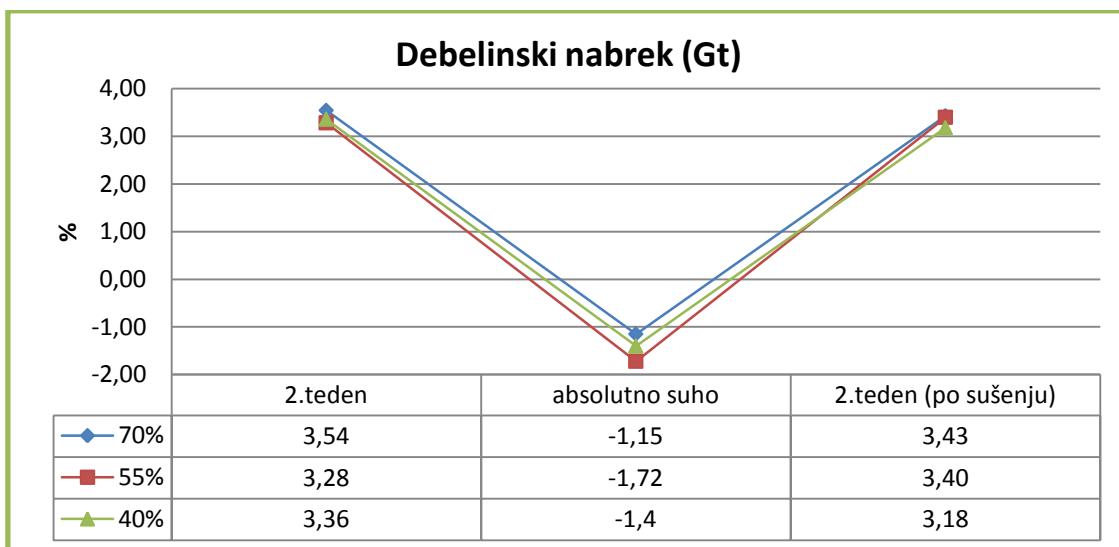


Slika 5: Debelinski nabrek (Gt), mali preizkušanci z različnim deležem srednjega sloja izpostavljeni RZV

Po prvem dnevu izpostavitve imajo vsi preizkušanci približno enak nabrek. Pri daljši izpostavitvi pa se razlika veča, ker so plošče z visoko gostoto pogosto manj prepustne in tako pri kratkotrajni izpostavitvi bolj stabilne, ob daljših časih izpostavitve pa vse manj. Na sliki 5 vidimo, da ima plošča z najmanjšim deležem srednjega sloja (40 %) in najvišjo gostoto, po enem tednu izpostavitve najmanjši debelinski nabrek, po dveh tednih pa enakega kot plošča z največjim deležem srednjega sloja (70 %).

Zaradi ireverzibilnega nabreka, ki povzroča potencialno razliko nabreka in različnih velikosti delcev, ki smo jih uporabili pri natresanju, ima plošča z srednjim deležem srednjega sloja (55 %), najmanjši debelinski nabrek.

Slika 6 prikazuje povprečne podatke debelinskega nabreka po 336 urah izpostavitve, za vse tri vrste preizkušancev velikosti 150 x 50 mm, ki so bili izpostavljeni 100 % RZV.

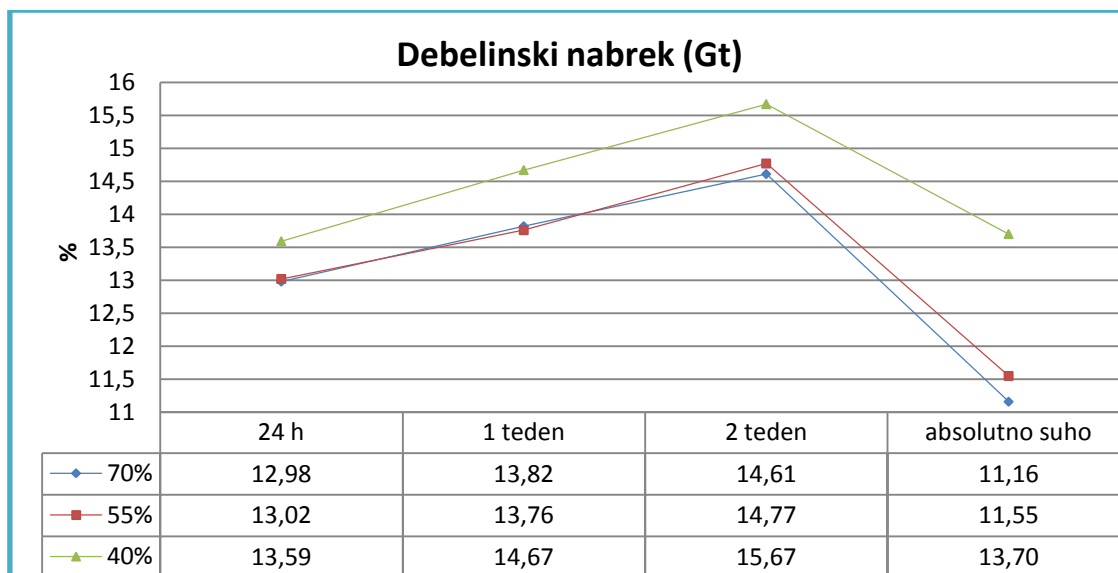


Slika 6: Debelinski nabrek (G_t), veliki preizkušanci z različnim deležem srednjega sloja izpostavljeni RZV

Sprememba debeline preizkušancev je bila pri desorpciji večja, kot pri adsorpciji (slika 6).

To je deloma tudi posledica sproščanja napetosti, nastalih pri stiskanju, kar imenujemo ireverzibilni nabrek, ki predstavlja pomemben del nabreka pri lesnih ploščnih kompozitih.

Slika 7 prikazuje povprečne podatke debelinskega nabreka po različnih časih izpostavitve, za vse tri vrste preizkušancev velikosti 50 x 50 mm, ki so bili izpostavljeni vodi.



Slika 7: Debelinski nabrek (G_t), preizkušanci z različnim deležem srednjega sloja izpostavljeni vodi

Pri stiskanju je med ivermi prišlo do njihovega poškodovanja, zgostitve in tudi medsebojnega naleganja, zato so iveri v plošči v prisiljeni legi. Takšna lega se lahko ohranja vse dokler iveri ne pridejo v stik z vlago oziroma vodo. Pri izpostavitvi vlagi oziroma vodi pride do vrivanja molekul vode med in v iveri, le-te pa se želijo vrniti v lego, ki so jo imeli pred stiskanjem, kar vodi do sprostitve tlačnih napetosti in nabreka. Izravnavanje iveri pa povzroči natezno in strižno obremenjevanje lepila. Napetosti, ki se pri tem sproščajo, so lahko večje od nateznih in strižnih trdnosti lepila, kar privede do zloma oz. raztrganja vezi, imenovano tudi ireverzibilni nabrek. Reverzibilni nabrek je nabrek lesa samega.

Največji debelinski nabrek (slika 7) so imeli preizkušanci z najmanjšim deležem srednjega sloja (40 %) in največjim deležem zunanjih dveh slojev (60 %), v katerih je veliko iveri v prisiljeni legi.

6 SKLEP

Iz pridobljenih rezultatov in razprave smo ugotovili, da :

- Relativna zračna vlažnost in direktna izpostavitve vodi zelo vplivata na spremembe dimenzije in mase ivernih plošč.
- Zgradba plošče oz. delež srednjega sloja vpliva na debelinski nabrek plošče.
- Povprečna gostota iverne plošče s 40 % srednjim slojem je višja, kot pri ivernih ploščah z debelejšim srednjim slojem (55 in 70 %).
- Največji debelinski nabrek pri izpostavitvi vodi smo izmerili pri iverni plošči s tanjšim srednjim slojem, ker ima najvišjo gostoto in s tem največ materiala kateri absorbira vodo.
- Pri izpostavitvi visoki RZV je imela največji debelinski nabrek plošča z najmanjšo gostoto in največjim deležem srednjega sloja. Manjša gostota pomeni večjo poroznost površine, zaradi tega tudi večjo propustnost vodne pare.

7 POVZETEK

V diplomskem projektu smo želeli ugotoviti, kako debelina srednjega sloja vpliva na debelinski nabrek trislojne iverne plošče.

Sorpcijske lastnosti ivernih plošč so namreč odvisne od velikosti gradnikov, kakor tudi od uporabljenega lepila in ne nazadnje tudi od tehnološkega procesa. Pri sami izdelavi, predvsem pri natresanju, lahko v sami proizvodnji pride do nihanja v količini natresenega materiala, kar posledično privede tudi do variacij v debelini in gostoti posameznega sloja ter različnih debelinskih nabrekov.

Izdelali smo tri različne plošče velikosti 500 x 500 mm - nominalne debeline 16 mm, z gostoto 0,6 g/cm³. Iverne plošče so se razlikovale glede na delež srednjega sloja 70, 55 in 40 %. Za izdelavo smo uporabili industrijske iveri različnih velikosti – za srednji sloj večje, za zunanji sloj manjše in različne vlažnosti (za zunanji sloj 2,5 %, za srednji sloj 3,0 % vlažnost). Delež dodanega urea-formaldehidnega lepila je bil za zunanji sloj 10,5 %, za srednji sloj pa 6,5 %.

Izžagali smo vzorce dimenzije 50 x 50 mm in 150 x 50 mm. Vzorce smo izpostavili 100 % RZV in vodi.

Da smo preizkušance v nadaljnjem postopku lahko izpostavili želeni RZV, smo v komori ustvarili 100 % RZV z nasičeno vodno raztopino $ZnSO_4 \times 6H_2O$. Komoro smo dobro zatesnili, z ventilatorjem pa smo dosegli enakomerno porazdelitev vlažnosti po celotni komori. Vzorce namenjene navlaževanju smo nato zložili na ustrezno pripravljene podstavke v stekleni komori.

Ugotovili smo, da debelina srednjega sloja ne vpliva signifikantno na nabrek iverne plošče v klimi s 100 % RZV.

Metodo preizkušanja ivernih plošč na nabrek po potapljanju v vodo določa standard SIST EN 317: 1993. Najprej smo preizkušancem z mikrometrom izmerili debelino, maso smo določili s tehtanjem. Po osem preizkušancev iz posameznih ivernih plošč dimenzije 50 x 50 x 16 mm smo položili v vodno kopel s temperaturo 21 ± 1 °C.

Ugotovili smo, da je pri ploščah z debelejšim srednjim slojem debelinski nabrek manjši, saj je med gradniki več praznega prostora, v katerega lahko prodre voda.

Zaradi nizke prostorninske mase in večjega deleža praznih prostorov, se iverje ob nabreku najprej razširi v prazne prostore. Ko so prazni prostori zapolnjeni, prične delovati nabrek srednjega sloja in s tem celotne plošče.

8 VIRI IN LITERATURA

- Brumbaugh J.I. 1960. Effect of flake dimensions on properties of particleboard. *Forest Prod. J.*, 10, 5: 243-246
- Halligan A.F. 1970. A review of Thickness Swlling in Particleboard. *Wood Science and Technology*, 4, 4: 301–312
- Heebink B.G., Hann R.A. 1959. How wax and particle shape affect stability and strength of oak particleboards. *Forest Prod. J.*, 9, 7: 197-203
- Klauditz W. 1955. Entwicklung, Stand und holzwirtschaftliche Bedeutung der Holzspanplattenherstellung. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 16: 459 - 466
- Lehmann W.F. 1974. Properties of structural particleboards. *Forest Prod. J.*, 24, 1: 19-26
- 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. 2000. Vpliv zgradbe zunanjega sloja na sorpcijo in trdnost iverne plošče. *Les*, 52: 5-13:
- Medved S. 2008. Lesni ploščni kompoziti v gradbeništvu. V: *Gradnja z lesom*. Kitek Kuzman M. (ur.). Ljubljana. Biotehniška fakulteta. Oddelek za lesarstvo: 90-94
- Nageli C.V. 1854 Die starkenkorner Morphologische Physiologische, Chemisch-Physikalische und Systematisch-Botanische Nomographie, Zurich, Switzerland.
- Niemz P. 1982. Utersuchungen zun Einfluß der Struktur auf die Eigenschaften von Spanplatten – Teil 1: Einfluß von Partikelformat, Rohdichte, Festharzanteil und Fastparaffinanteil. *Holztechnologie*, 23,4: 206 – 213
- Petrič M. 2008. Nelesni materiali v izdelkih lesnopredelovalne in pohištvene industrije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani. Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 148 str.
- Schwab E., Steffen A., Korte C. 1997. Feuchtebedingte Längenänderungen von Holzwerkstoffen in Plattenebene. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 55: 227 - 233
- SIST EN 317. Iverne in vlaknene plošče: Določitev nabreka debeline po potapljanju v vodo. 1993.

Soršak J. 2007. Sorpcijske in nabrekovalne značilnost ivernih plošč. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehnična fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 65 str.

Xu H., Suchsland O. 1991. The expansion potential: a new evaluator of the expansion behavior of wood composites. *Forest Products Journal*, 41, 6: 39-42

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju, izrednemu predavatelju dr. Sergeju Medvedu za nasvete in vso strokovno pomoč pri pripravi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi višjemu predavatelju mag. Bogdanu Šegi za opravljeno recenzijo.