

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Gašper MLAKAR

**IZDELAVA IVERNE PLOŠČE GLEDE NA ZAHTEVE
UPORABNIKA**

DIPLOMSKI PROJEKT

Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2012

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Gašper MLAKAR

IZDELAVA IVERNE PLOŠČE GLEDE NA ZAHTEVE UPORABNIKA

DIPLOMSKI PROJEKT

Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

PARTICLEBOARDS PRODUCTION BY USER REQUIREMENTS

B. SC. THESIS

Professional Study Programmes

Ljubljana, 2012

Diplomski projekt je zaključek Visokošolskega študija Tehnologije lesa in vlaknatih kompozitov 1. stopnje. Delo je opravljeno na katedri za Lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin, Oddelka za lesarstvo, Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval doc. dr. Sergeja Medveda, za somentorja izr. prof. dr. Leona Oblaka in za recenzenta izr. prof. dr. Milana Šerneka.

Mentor: doc. dr. Sergej Medved

Somentor: izr. prof. dr. Leon Oblak

Recenzent: izr. prof. dr. Milan Šernek

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomski projekt je rezultat lastnega raziskovalnega 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.

Gašper Mlakar

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dv1
DK	UDK 630*862.2
KG	iverne plošče/večslojne/mehanske lastnosti/sorpcijske lastnosti
AV	MLAKAR, Gašper
SA	MEDVED, Sergej (mentor)/OBLAK, Leon (somentor)/ŠERNEK, Milan (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c.VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2012
IN	IZDELAVA IVERNE PLOŠČE GLEDE NA ZAHTEVE UPORABNIKA
TD	Diplomski projekt (Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja)
OP	VII, 41 str., 26 pregl., 19 sl., 13 vir.
IJ	sl
Jl	sl/en
AI	Lesni kompoziti so danes ključen in najbolj uporaben material v pohištveni industriji. V lesenih objektih se uporabljajo za predelne stene, ostrešja ter za stropne in stenske obloge. Uporabniki teh plošč stremijo k čim boljši kakovosti končnega izdelka, vendar pa jim uporabljeni materiali nemalokrat izkazujejo različne fizikalno-mehanske lastnosti. Pridobili smo neposredne odgovore od naključnih uporabnikov o sami uporabi in lastnostih ploščnih kompozitov, jih analizirali in snovali izdelek, s katerim bi vsaj delno odpravili izpostavljene slabosti, obenem pa povečali spekter uporabe materiala. Iverne plošče smo testirali po standardih, ki izpostavljajo fizikalno-mehanske lastnosti. Izdelana 16-milimetrska 5-slojna plošča s primerljivo gostoto se je izkazala kot najboljša z vidika mehanskih trdnosti, izjema je bil le debelinski nabrek. Tako smo izdelali kompozit z izboljšanimi lastnostmi, ob tem pa smo povečali še spekter uporabe omenjenega materiala.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dv1
DC UDC 630*862.2
CX particleboards/multi-layer/mechanical properties/sorption properties
AU MLAKAR, Gašper
AA MEDVED, Sergej (supervisor)/OBLAK, Leon (co-advisor)/ ŠERNEK, Milan (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c.VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2012
TI PARTICLEBOARD PRODUCTION BY USER REQUIREMENTS
DT B. Sc. Thesis (Professional study programmes)
NO VII, 41 p., 26 tab., 19 fig., 13 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Nowadays wood composites are an essential and the most useful material in wood industry. In wooden structures they are used for the production of partition walls, roof structures and for wall and ceiling coverings. The users of these boards aim for high-quality finished products, but the materials that they are made from often show various physical and mechanical properties. Therefore, our goal was to get information from random users about the usage, and the properties of the composite boards to analyse the information obtained, and to project a product having less defect and increased usability. Particle boards were tested according to standards pointing out the physical and mechanical properties. The 16 mm 5-layer board with a suitable density proved to be the best regarding to the mechanical strength, the only exception was the thickness swelling. A composite with improved qualities was made and at the same time the usability of the material was increased.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VI
KAZALO SLIK.....	VII
1 UVOD	1
1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA.....	1
1.2 DELOVNA HIPOTEZA	2
1.3 CILJI NALOGE	2
2 PREGLED LITERATURE	3
2.1 VPLIV GOSTOTE IVERNE PLOŠČE NA LASTNOSTI	3
2.2 VPLIV GOSTOTE IVERNE PLOŠČE GLEDE NA UPORABO	3
3 MATERIALI IN METODE	4
3.1 MATERIALI	4
3.1.1 Iveri, lepilna mešanica in dodatki	4
3.2 METODE	4
3.3 DEBELINSKI NABREK	8
3.4 UPOGIBNA TRDNOST IN MODUL ELASTIČNOSTI	10
3.5 RAZSLOJNA TRDNOST	12
3.6 STRIŽNA TRDNOST	14
4 REZULTATI	16
4.1 ANKETNI VPRAŠALNIK	16
4.2 DEBELINSKI NABREK	26
4.3 UPOGIBNA TRDNOST IN MODUL ELASTIČNOSTI	29
4.4 RAZSLOJNA TRDNOST	32
4.5 STRIŽNA TRDNOST	35
5 RAZPRAVA IN SKLEPI	37
5.1 RAZPRAVA	37
5.2 SKLEPI	38
6 POVZETEK.....	39
7 LITERATURA IN VIRI	40
ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Zgradba in sestava izdelanih ivernih plošč.....	5
Preglednica 2: Debelinski nabrek pri plošči M 1	26
Preglednica 3: Debelinski nabrek pri plošči M 2	26
Preglednica 4: Debelinski nabrek pri plošči M 3	27
Preglednica 5: Debelinski nabrek pri plošči M 4	27
Preglednica 6: Debelinski nabrek pri plošči M 5	27
Preglednica 7: Debelinski nabrek pri plošči M 6	28
Preglednica 8: Upogibna trdnost in modul elastičnosti pri plošči M 1	29
Preglednica 9: Upogibna trdnost in modul elastičnosti pri plošči M 2	29
Preglednica 10: Upogibna trdnost in modul elastičnosti pri plošči M 3	30
Preglednica 11: Upogibna trdnost in modul elastičnosti pri plošči M 4	30
Preglednica 12: Upogibna trdnost in modul elastičnosti pri plošči M 5	30
Preglednica 13: Upogibna trdnost in modul elastičnosti pri plošči M 7	31
Preglednica 14: Razslojna trdnost pri plošči M 1	32
Preglednica 15: Razslojna trdnost pri plošči M 2	32
Preglednica 16: Razslojna trdnost pri plošči M 3	33
Preglednica 17: Razslojna trdnost pri plošči M 4	33
Preglednica 18: Razslojna trdnost pri plošči M 5	33
Preglednica 19: Razslojna trdnost pri plošči M 7	34
Preglednica 20: Strižna trdnost pri plošči M 1	35
Preglednica 21: Strižna trdnost pri plošči M 2	35
Preglednica 22: Strižna trdnost pri plošči M 3	35
Preglednica 23: Strižna trdnost pri plošči M 4	36
Preglednica 24: Strižna trdnost pri plošči M 5	36
Preglednica 25: Strižna trdnost pri plošči M 7	36
Preglednica 26: Prikaz povprečnih vrednosti opravljenih preizkusov	37

KAZALO SLIK

Slika 1: Model za pripravo laboratorijske plošče s pripomočki	5
Slika 2: Hidravlična laboratorijska stiskalnica za iverne plošče LT63.....	6
Slika 3: Shema razžagovanja plošč	7
Slika 4: Potapljanje vzorcev v vodni kopeli	9
Slika 5: Preizkus upogibne trdnosti na stroju za testiranje oz. preizkušanje lesa in lesnih kompozitov ZWICK Z100	11
Slika 6: Vpenjalne čeljusti s testnim kosom za razslojno trdnost.....	12
Slika 7: Preizkus razslojne trdnosti na stroju za testiranje oz. preizkušanje lesa in lesnih kompozitov ZWICK Z100	13
Slika 8: Vpenjalna glava za preizkus strižne trdnosti.....	14
Slika 9: Preizkus strižne trdnosti na stroju za testiranje oz. preizkušanje lesa in lesnih kompozitov ZWICK Z100	15
Slika 10: Grafični prikaz odgovorov ankete na vprašanje: Katere ploščne kompozite uporabljate v vašem podjetju za izdelavo pohištva?	16
Slika 11: Grafični prikaz odgovorov ankete na vprašanje: Ali vaši uporabljeni lesni materiali izpolnjujejo vaše zahteve o kvaliteti?.....	17
Slika 12: Grafični prikaz odgovorov ankete na vprašanje: Katere fizikalne značilnosti izpostavljate, kot problem pri vaših uporabljenih kompozitih?.....	18
Slika 13: Grafični prikaz odgovorov ankete na vprašanje: Katere mehanske značilnosti izpostavljate, kot problem pri vaših uporabljenih kompozitih?.....	19
Slika 14: Grafični prikaz odgovorov ankete na vprašanje: Katere sorpcijske značilnosti izpostavljate, kot problem pri vaših uporabljenih kompozitih?.....	20
Slika 15: Grafični prikaz odgovorov ankete na vprašanje: Katere ostale značilnosti izpostavljate, kot problem pri vaših uporabljenih kompozitih?.....	21
Slika 16: Grafični prikaz odgovorov ankete na vprašanje: Katere dejavnosti oz. metode izvajate na ploščah pri oplemenitenju le-teh?.....	22
Slika 17: Grafični prikaz odgovorov ankete na vprašanje: S katerimi težavami se soočate pri obdelavi plošč?.....	23
Slika 18: Grafični prikaz odgovorov ankete na vprašanje: Ali se s časoma pojavijo težave pri že vgrajenih izdelkih narejeni iz ploščnih kompozitov?	24
Slika 19: Grafični prikaz odgovorov ankete na vprašanje: Ali na trgu pogrešate kakovostnejše ploščne kompozite?	25

1 UVOD

Les kot naraven material je danes s pridom izkoriščen v zelo širokem spektru našega vsakdana. Pomemben delež lesa se uporabi za pohištvo iz masivnega lesa in gradnjo lesenih hiš, največ pa za izdelavo lesnih ploščnih kompozitov.

Na trgu je moč zaslediti plošče, ki so izdelane iz lesa tako iglavcev kot tudi listavcev in se glede na namen uporabe ločijo po velikosti gradnikov in usmerjenosti le-teh, gostoti, številu posameznih slojev, vrsti uporabljenega lepila ter tehnologiji in postopku izdelave same plošče. Tako je izdelek mehansko, fizikalno in reološko dober material, obenem pa relativno dimenzijsko stabilen in hkrati cenovno ugoden.

Ob sami uporabi lesnih kompozitov za notranje pohištvo, kjer največji delež predstavljajo iverne plošče in le-te obložene z dekorativnim papirjem ali laminatom, pa se nemalokrat soočamo z njenimi pomanjkljivostmi. Med te prištevamo obnašanje materiala ob daljših časovnih obremenitvah in delovanju zaradi prisotnosti vode oz. vlage. Teža je eden izmed faktorjev, s katerim se srečajo izdelovalci pohištva že pri predelavi, zato se je industrija, katera izdeluje iverne ploščne kompozite, trudila zmanjšati težo izdelkov, vendar se je vzporedno zmanjšala tudi kakovost.

Primer take plošče je kompozit, ki je narejen iz iveri s primešanimi granulami ekspandiranega polistirena. Izdelku je res prizanesena manjša teža, vendar se težave pokažejo zlasti pri furniranju, kjer se lahko struktura plošče praktično podre, kasneje v že vgrajenem pohištvu pa posledično pride do razslojevanja oziroma delaminacije plošče. Posledično pa se zmanjša tudi spekter uporabe teh kompozitov.

Zato bi bilo smotno izdelati lesni kompozit, ki bo tudi v primeru manjše teže ohranil ali povečal kompaktnost in čvrstost.

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Iverna plošča je lesni kompozit z relativno dobrimi mehansko-fizikalnimi lastnostmi, ki pa so pogojene z gostoto materiala. Ta sicer povečuje mehanske lastnosti, obenem pa je tudi razlog za težo kompozita, ki otežuje rokovanje pri predelavi, kasneje pri vgrajenih izdelkih pa povzroči povese pohištvenih elementov. Omenjen problem pa iz fizikalnega stališča povečuje raztezanje, krčenje ter debelinski nabrek plošč.

1.2 DELOVNA HIPOTEZA

Predvidevamo, da se bodo s spreminjanjem parametrov kompozita, torej drevesne vrste z manjšo gostoto gradnikov ter številom in deleži posameznih slojev izboljšale fizikalne in mehanske lastnosti iverne plošče, pri tem pa bomo težili k čim nižji gostoti izdelanega materiala.

1.3 CILJI NALOGE

Cilj naloge je ugotoviti bistvene pomanjkljivosti ivernih plošč, ki so zastavljene v anketnem vprašalniku izdanemu uporabnikom omenjenega kompozita. Pridobljene rezultate pa analizirati ter izdelati lesno ploščo s katero bodo izpostavljene slabosti deloma ali v celoti odpravljene, nekatere pa celo izboljšane. Tako bo plošča lahko uporabna v širšem spektru lesne dejavnosti, ki je namenjena izdelavi notranjega pohištva ali pri konstrukcijskih namenih, kot so stene montažnih hiš.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 VPLIV GOSTOTE IVERNE PLOŠČE NA LASTNOSTI

Uporabniki ploščnih materialov na trgu iščejo lahke kompozite z visoko trdoto, zato strokovnjaki v raziskavah strmijo k razvoju ivernih plošč z čim nižjo gostoto ob tem pa poskušajo ohraniti visoko raven mehanskih in fizikalnih lastnosti.

Pretežno se za iverne plošče uporabljajo gradniki iz lesa iglavcev, vse več pa se dodajajo tudi mehkejši listavci kot so topol, breza in bukev. Modernejše tehnologije celo dopuščajo uporabo gradnikov iz hrastovega lesa (Maloney, 1993).

Že sama vhodna surovina je pomembna, kadar govorimo o kakovostnih kompozitih. Za zmanjšanje povprečne gostote iverne plošče je torej potrebna optimalna mešanica surovin, tako za srednji kot tudi zunanji sloj plošč. Gradniki različnih lesnih vrst na mikroskopski ravni omogočajo snovanje kompozitov, ki povečajo fizikalno-mehanske lastnosti (Weigl in sod., 1975).

Bistvene razlike o lastnostih plošč predstavljajo gradniki, torej njihova velikost in razporejenost po strukturi materiala. Raziskava kaže, da imajo daljši in tanjši delci z nižjo vitkostjo ter večjo specifično površino, boljšo stisljivost (Fan in sod., 2009).

Teža plošče je odvisna od prostornine in gostote materiala. Prav slednjo lastnost je pri stiskanju možno povečati z zgostitvijo oz. stisljivostjo uporabljenih gradnikov relativno nizke gostote in velike specifične površine. Omenjen postopek zapolni prazne prostore v srednjem sloju plošče s tem pa poveča razslojno in upogibno trdnost ter elastični modul kompozita.

Za zunanji sloj pa so predvidene finejše frakcije gradnikov, pri katerem je pozitiven učinek dosežen pri oplemenitenju ali lakiranju kompozitov, iz mehanskega vidika pa so vrednosti strižne trdnosti, čvrstost površine ter izvleku vijaka zelo obetavne. Višja gostota pa je iz sorpcijskega stališča negativna lastnost, saj se ob izpostavljeni povečani vlažnosti, močno poveča debelinski nabrek materiala (Kollmann in sod. 1975).

2.2 VPLIV GOSTOTE IVERNE PLOŠČE GLEDE NA UPORABO

Plošče iz iveri po gostoti ločimo v tri razrede, ki pa jih vzporedno lahko tudi razvrstimo po namenu uporabe. Lahke plošče z gostoto od 300 – 500 kg/m³ se običajno uporabljajo za izolacijske namene, predvsem pri pasivnih montažnih hišah. Normalne plošče imajo gostoto od 500 – 800 kg/m³ in imajo zelo širok spekter uporabe. Slednje v največji meri najdemo pri izdelavi notranjega pohištva, lahko pa so uporabljene kot podlage za talne in stenske obloge ali pri predelnih stenah kjer nosilnost ni bistvenega pomena. Plošče, ki pa imajo gostoto nad 800 kg/m³ pa služijo namenu vgradnje, predvsem v gradbeništvu za razne konstrukcije in predelne stene, kjer so zahteve o mehanskih lastnostih veliko večje (Čermak, 1996).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Iveri, lepilna mešanica in dodatki

Za izdelavo ivernih plošč smo uporabili mešanico iveri iglavcev in listavcev. Gostota gradnikov je znašala $450 - 650 \text{ kg/m}^3$, vlažnost suhega iverja pa 3 %. Za ostale plošče smo dodajali topolove gradnike tako za zunanji kot tudi za notranji sloj plošče različno grobih frakcij, gostota le-teh je znašala od $350 - 450 \text{ kg/m}^3$.

Kot vezivno sredstvo smo uporabili urea-formaldehidno (UF) lepilo proizvajalca Nafta Lendava. Suha snov lepilne smole je znašala 68 %, vrednost pH pa 7,9. Lepilni smoli smo skupaj z 300 g vode (H_2O) dodali utrjevalec in sicer 74 g amonijevega sulfata $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, kar je znašalo 20 % lepilne mešanice. Tako je vlažnost oblepljenega iverja za notranji sloj znašala 10 %, za zunanji sloj pa 13 %.

3.2 METODE

Preko anketnega vprašalnika zaprtega tipa smo pridobili odgovore uporabnikov o prednostih in slabostih ivernega ploščnega kompozita. Sestavljen je bil na podlagi teoretičnih dejstev, ki se dopolnjujejo z praktičnimi in se le-te udeležujejo v lesnih obratih in mizarskih delavnicah. Nato smo odgovore analizirali in po dobljenih podatkih snovali kompozit, ki bi vsaj v večini izboljšal izpostavljene pomanjkljivosti, obenem pa uporabnost plošče prilagodili industriji lesenih objektov tako stanovanjskih hiš kot tudi večjih objektov in izdelavi zahtevnejšega notranjega pohištva.

V laboratorijskih pogojih smo pripravili v večini iveri iglavcev in listavcev za posamezne sloje iverne plošče, torej za zunanji sloj finejše in za srednji sloj debelejše gradnike. Poleg omenjenega materiala pa smo kot posebnost pripravili iveri topola, ki bi z nižjo gostoto pripomogle k zmanjšanju teže snovane plošče. Vlažnost pripravljenega materiala je znašal od 2-4 %. Gradnike smo v laboratorijskem bobnu za oblepljanje iveri oblepili z urea-formaldehidnim lepilom. Za iveri srednjega sloja je delež dodanega lepila znašal 6,5 % za zunanji sloj pa 10,5 %.

Vsi snovani kompoziti so bili izdelani v modelu z dimenzijami $500 \times 500 \text{ mm}$ (slika 1), nominalna debelina pa je znašala 16 mm.



Slika 1: Model za pripravo laboratorijske plošče s pripomočki

Za natančno pripravo vzorcev smo si pomagali s posebnim glavnikom s katerim smo enakomerno razporedili gradnike za posamezni sloj, s posebno ploščo je bilo potrebno vzorec še primerno utrditi pred vstavitvijo v laboratorijsko stiskalnico. Zgradba in sestava izdelanih kompozitov je prikazana v preglednici 1.

Preglednica 1: Zgradba in sestava izdelanih ivernih plošč

oznaka plošč	zgradba plošče	lesna vrsta gradnikov	sestava plošče
M1	tro-slojna	70 % iglavcev, 30 % trdi listavci	pomešane iveri finih frakcije na zunanjem sloju in grobih v notranjem sloju
M2	pet-slojna	60 % iglavcev, 20 % trdi listavci, 20 % topola	zelo fino mlete frakcije topola na površini (2 mm) ter pomešane fine iveri v osrednjem sloju in grobe v srednjem sloju
M3	pet-slojna	30 % iglavcev, 30 % trdi listavci, 40 % topola	pomešane iveri finih frakcij na zunanjem sloju in grobih na osrednjem sloju ter zelo grobe iveri topola v srednje sloju
M4	tro-slojna	35 % iglavcev, 35 % trdi listavci, 30 % topola	pomešane klasične in topolove fino mlete frakcije na zunanjem sloju ter pomešane zelo grobe iveri v srednjem sloju
M5	tro-slojna	30 % iglavcev, 30 % trdi listavci, 40 % topola	pomešane klasične iveri finih frakcij na zunanjem sloju in pomešani topolovi ter klasični gradniki grobih frakcij v srednjem sloju
M7	eno-slojna	35 % iglavcev, 35 % trdi listavci, 30 % topola	pomešani klasični in topolovi gradniki grobih in finih frakcij

Tako naj bi prva plošča predstavljala ploščo z relativno nizko gostoto in sprejemljivimi mehanskimi in fizikalnimi lastnostmi. Zadnja šesta plošča pa zgornjo mejo z zelo visoko gostoto in posledično tudi težo, a zelo dobrimi mehanskimi lastnostmi.

Znotraj omenjenih kompozitov smo tako poiskali produkt, ki bi predstavljal nek optimum med gostoto in omenjenimi lastnostmi.

Iz pripravljenih vzorcev smo odstranili lesen model in iverno pogačo na aluminijasti pločevini vsako posebej vstavili v stiskalnico (slika 2), kjer smo na vsako stran postavili distančnik z debelino 16 mm. Stiskalnica je bila segreta na 180°C, čas stiskanja je bil 240 sekund, tlak stiskanja pa 3 N/mm².



Slika 2: Hidravlična laboratorijska stiskalnica za iverne plošče LT63

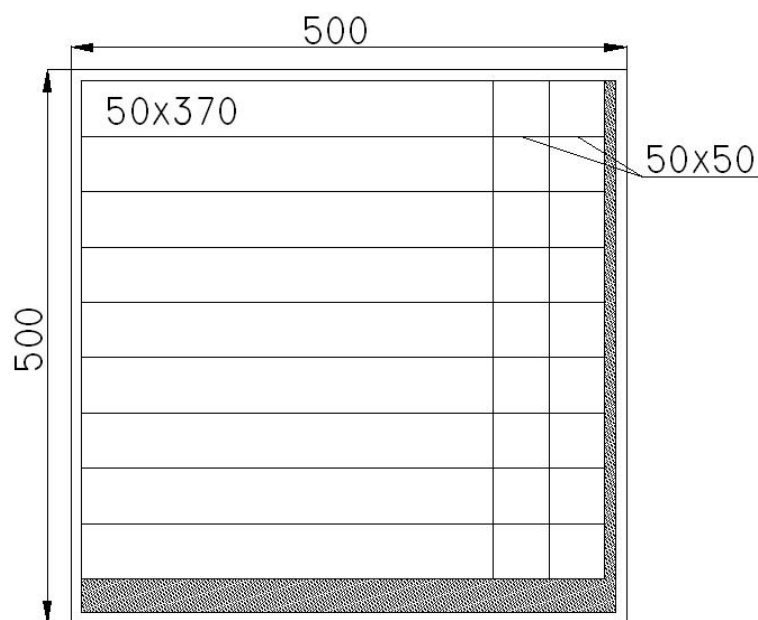
Stiskanje plošč je potekalo postopoma in sicer prve tri minute je bil tlak konstanten, kasneje pa smo ga postopoma zniževali. Razlog tega je v izhlapevanju vodne pare, ki se zadržuje pretežno v srednjem sloju plošč. Ob takojšnjem odprtju stiskalnice bi prišlo do razslojitve oziroma do delaminacije plošče.

Ko smo po končanem stiskanju izdelane kompozite vzeli iz stiskalnice jih je bilo potrebno kondicionirati, saj so v tem času plošče na sami periferiji zelo vroče in nizke vlažnosti, temu primerno pa nase vežejo tudi vlago iz prostora. Z omenjenim postopkom pa kompoziti uravnotežijo higroskopsko ravnovesje z vlago v zraku ob enem pa lepilo dokončno utrdi in gradnike poveže v kompaktno strukturo. V nasprotnem primeru bi prišlo do porušitve strukture plošče zaradi različnih nivojev vlažnosti in delovanja posameznih slojev.

Kondicioniranje je trajalo pet dni v prostoru z zračno vlažnostjo 39 % in temperaturo 24°C.

Iz izdelanih kompozitov smo nato pripraviti preizkušance, katere smo nažagali na krožnem žagalnem stroju kot je prikazano na sliki 3. Pred vsakim preizkusom smo vzorce še številčno označili ter izračunali gostoto.

Test pri katerem smo merili upogibno trdnost je zahteval kose široke 50 mm in dolge 370 mm, ostale meritve kot so: debelinski nabrek, razslojna trdnost in strižna trdnost pa so imeli vzorci dimenzije 50 x 50 mm, oziroma 250 x 50 mm.



Slika 3: Shema razžagovanja plošč

3.3 DEBELINSKI NABREK

Standard SIST EN 317 določa preizkušanje ivernih plošč po debelini kompozita z vpijanjem vode, ki so izpostavljeni 24 ur. Tako smo osem vzorcev najprej stehtali, z kljunastim merilom izmerili dolžino in širino, z mikrometrom pa točno na sredini kosa na dve decimalki izmerili debelino. Nato smo jih potopili v vodno kopel tako, da so bili vzoreci iz vseh strani izpostavljeni vodi, s tem pa smo dobili zelo natančne in realne podatke o nabreku kompozita (slika 4). Iverna plošča vodo najbolj absorbira po debelini, vendar pa ni zanemarljiv podatek tudi nabrek po dolžini in širini, kar nam lahko pri izvedbenih delih povzroči nemalo težav.

Po 24 urah smo preizkušene vzorce vzeli iz vode, obrisali s suho krpo in ponovno stehtali in izmerili njihove dimenzije: dolžine, širine ter debeline. Vse podatke smo podrobno zapisali in po enačbi za vpijanje vode [G_m] in debelinski nabrek [G_t] pridobili rezultate po standardu o preizkusu izdelanega kompozita.

Enačba za vpijanje vode:

$$Gm = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \quad \dots(1)$$

Enačba za debelinski nabrek:

$$Gt = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \quad \dots(2)$$

G_m – vpijanje vode [%]

G_t – debelinski nabrek [%]

m_1 – masa vzorca pred potopitvijo v vodno kopel [g]

m_2 – masa vzorca po potopitvi v vodno kopel [g]

t_1 – debelina vzorca pred potopitvijo v vodno kopel [mm]

t_2 – debelina vzorca po potopitvi v vodno kopel [mm]



Slika 4: Potapljanje vzorcev v vodni kopeli

3.4 UPOGIBNA TRDNOST IN MODUL ELASTIČNOSTI

Upogibno trdnost in modul elastičnosti plošče smo ugotovili po direktivi standarda SIST EN 310. Za to smo uporabili devet vzorcev dolžine 370 mm (katero smo ugotovili po formuli v nadaljevanju) in širine 50 mm. Test je bil izveden s tritočkovnim upogibnim preizkusom na stroju za testiranje oziroma preizkušanje lesa in lesnih kompozitov ZWICK Z100 (slika 5).

Enačba za izračun dolžine testnih vzorcev:

$$L = 20 \cdot t + 50\text{mm} \quad \dots(3)$$

t – debelina vzorca [mm]

Enačba za upogibno trdnost:

$$f_m = \frac{3 \cdot F_{\max} \cdot l_1}{2 \cdot b \cdot t^2} \quad \dots(4)$$

f_m – upogibna trdnost [N/mm²]

$F_{\max}$ – sila loma [N]

l_1 – razdalja med podporama [mm]

b – širina vzorca [mm]

t – debelina vzorca [mm]

Enačba za modul elastičnosti:

$$E_L = \frac{l_1^3 \cdot (F_2 - F_1)}{4 \cdot b \cdot t^3 \cdot (a_2 - a_1)} \quad \dots(5)$$

E_L – modul elastičnosti [N/mm²]

l_1 – razdalja med podporama [mm]

F_2 – 40% sile porušitve

F_1 – 10% sile porušitve

b – širina vzorca [mm]

t – debelina vzorca [mm]

a_1 – poves vzorca pri sili F_1

a_2 – poves vzorca pri sili F_2



Slika 5: Preizkus upogibne trdnosti na stroju za testiranje oz. preizkušanje lesa in lesnih kompozitov ZWICK Z100

3.5 RAZSLOJNA TRDNOST

Test razslojne trdnosti je bil izveden po standardu SIST EN 319. Devet kosov iverne plošče dimenzij 50 x 50 mm smo s talilnim lepilom pritrdili pod kotom 90° glede na podlago, na zato izdelana prijemala iz vezne plošče, kot je prikazano na slikah 6 in 7. Izdelan pripravek smo tako lahko vstavili v čeljusti, ki so bile pritrjene na stroju ZWICK Z100, na katerem je bil preizkus tudi izveden. Predviden čas testa za posamezni kos je znašal 60 ± 30 sekund, pričakovana razslojitev pa se je pojavila v srednjem sloju izdelanega kompozita.

Enačba za razslojno trdnost:

$$\frac{F_{\text{loma}}}{l \cdot w} = f_t \quad \dots(6)$$

f_t – razslojna trdnost [N/mm²]

F_{loma} – sila loma [N]

l - dolžina preizkušanca [mm]

w - širina preizkušanca [mm]



Slika 6: Vpenjalne čeljusti s testnim kosom za razslojno trdnost



Slika 7: Preizkus razslojne trdnosti na stroju za testiranje oz. preizkušanje lesa in lesnih kompozitov ZWICK Z100

3.6 STRIŽNA TRDNOST

Test strižne trdnosti iverne plošče smo preizkusili po standardu SIST EN 789. Uporabili smo pet kosov dolžine 250 mm, širino in debelino pa smo natančno premerili z mikrometrom na dve decimalni mesti natančno. Na stroju za testiranje ZWICK Z100 smo namestili primerna vpenjala za omenjen preizkus in opravili testiranje kot prikazujeta sliki 8 in 9.

Enačba za strižno trdnost:

$$f_v = \frac{F}{l_1 \cdot b_1} \quad \dots(7)$$

f_v - strižna trdnost [N/mm²]

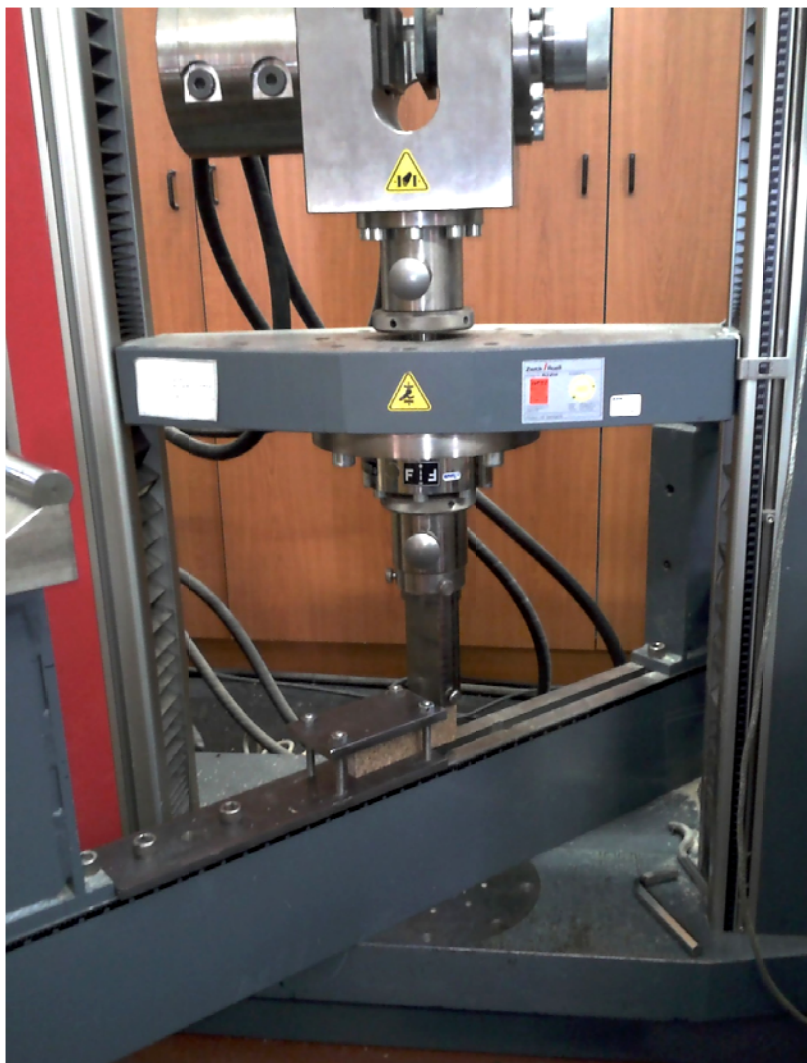
F - sila loma [N]

l_1 – strižna dolžina preizkušanca [mm]

b_1 – strižna debelina preizkušanca [mm]



Slika 8: Vpenjalna glava za preizkus strižne trdnosti



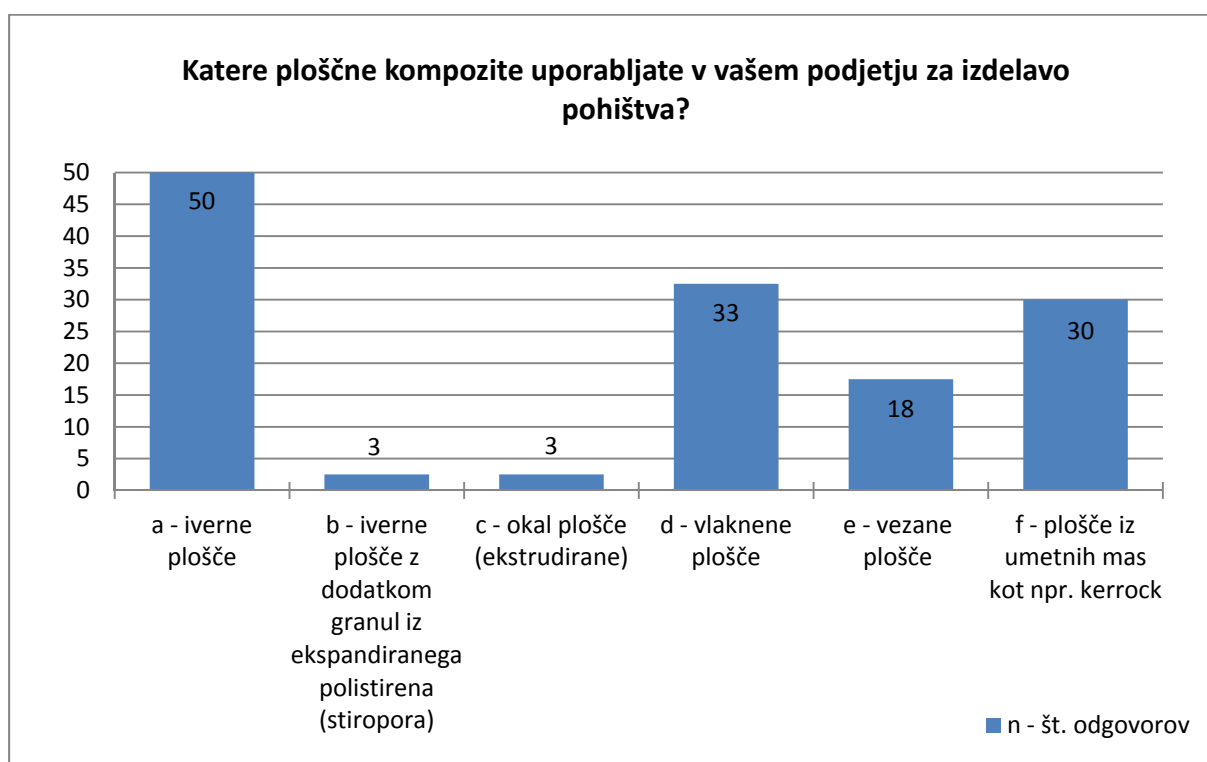
Slika 9: Preizkus strižne trdnosti na stroju za testiranje oz. preizkušanje lesa in lesnih kompozitov ZWICK Z100

4 REZULTATI

4.1 ANKETNI VPRAŠALNIK

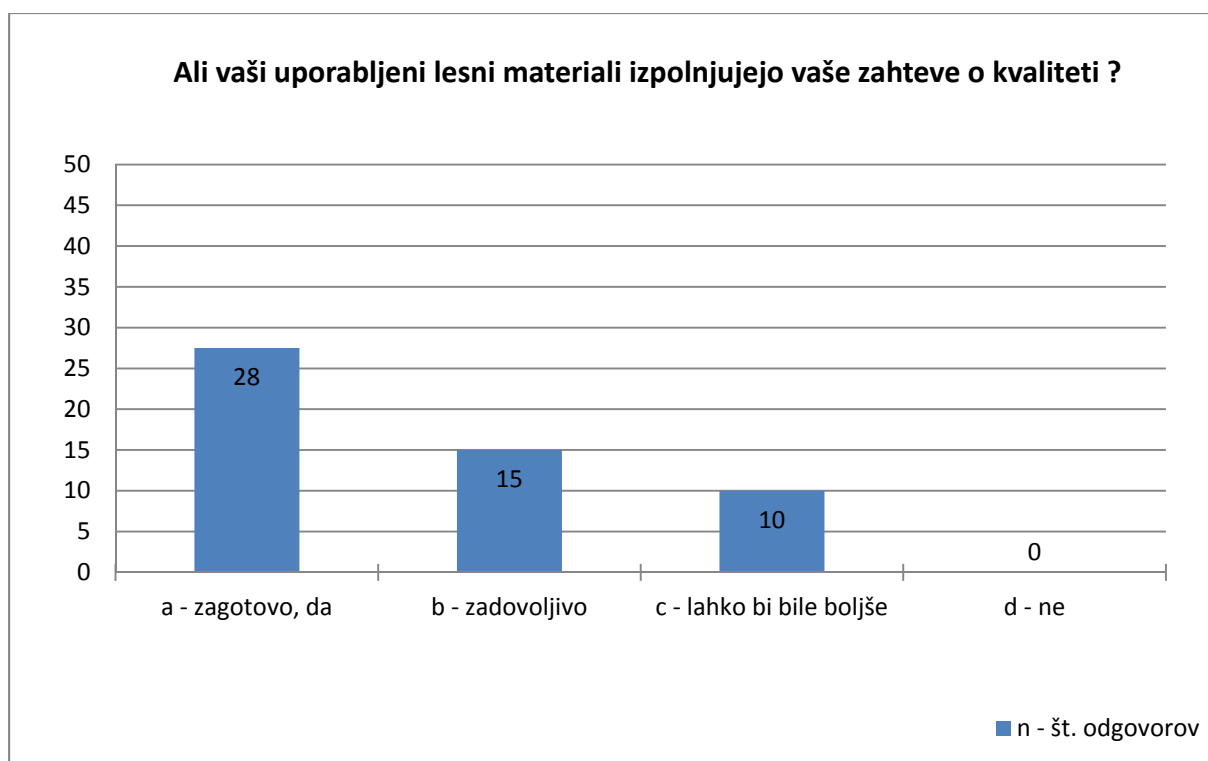
Pred izdelavo kompozita smo želeli pridobiti neposredno mnenje tistih, ki se ukvarjajo z izdelovanjem pohištva iz ivernih plošč. To so bili mojstri mizarskih delavnic ter inženirji in predstavniki lesnih podjetij. Ugotoviti smo želeli dobre in slabe lastnosti le-teh, njihovo delovanje po vgradnji ter rokovanje ob izdelavi samih izdelkov. Zato smo pripravili anketni vprašalnik z desetimi vprašanji zaprtega tipa, ki je bil sestavljen na podlagi teoretičnih in praktičnih izkušenj.

Število anketiranih: $n = 50$



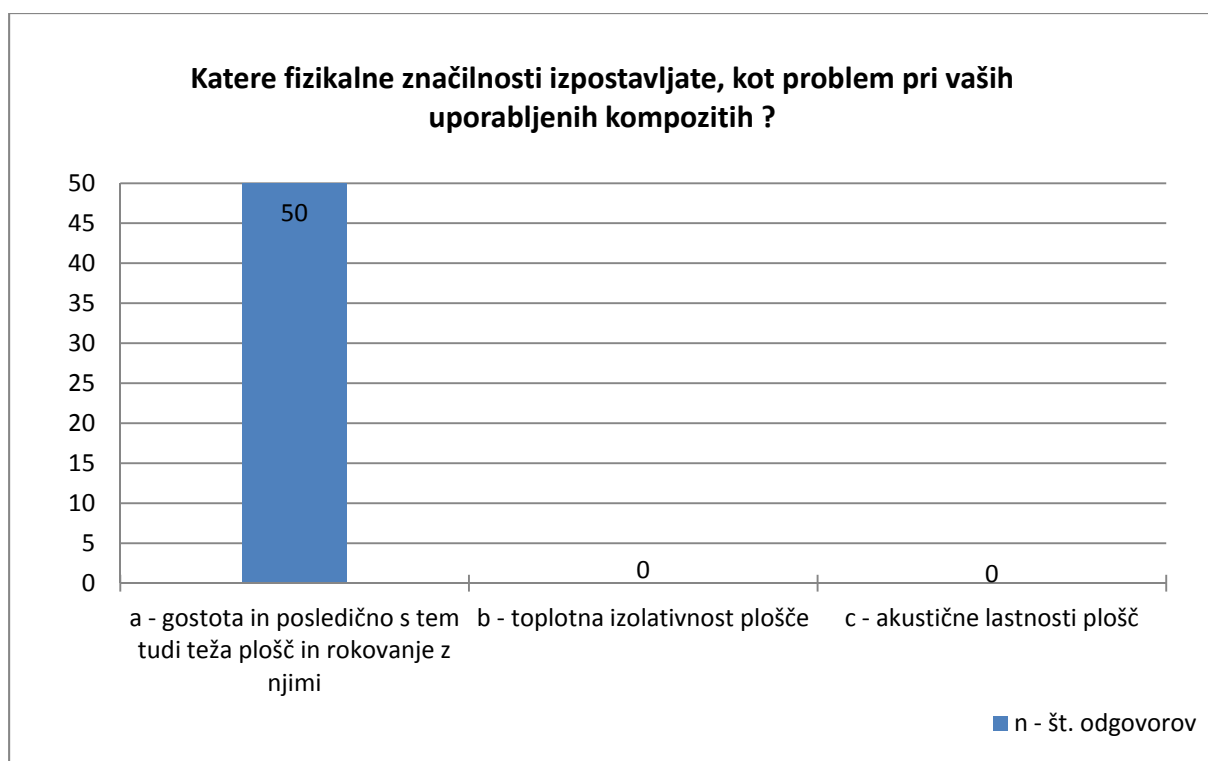
Slika 10: Grafični prikaz odgovorov ankete na vprašanje: Katere ploščne kompozite uporabljate v vašem podjetju za izdelavo pohištva?

Prvo vprašanje je zajemalo splošno uporabo ploščnih kompozitov in kot je bilo pričakovano vsi anketirani uporabljajo surovo ali obložena iverno ploščo. Tretjina vprašanih iz vlaknenih plošč izdeluje vidne dele končnih izdelkov, 30 anketirancev pa se poslužuje uporabi kerrocka. Rabo vezane plošče je potrdila le ena tretjina (18) vprašanih, zgolj 3 pa uporabljajo v svojih delavnicah okal plošče in plošče z dodatkom granul iz stiropora.



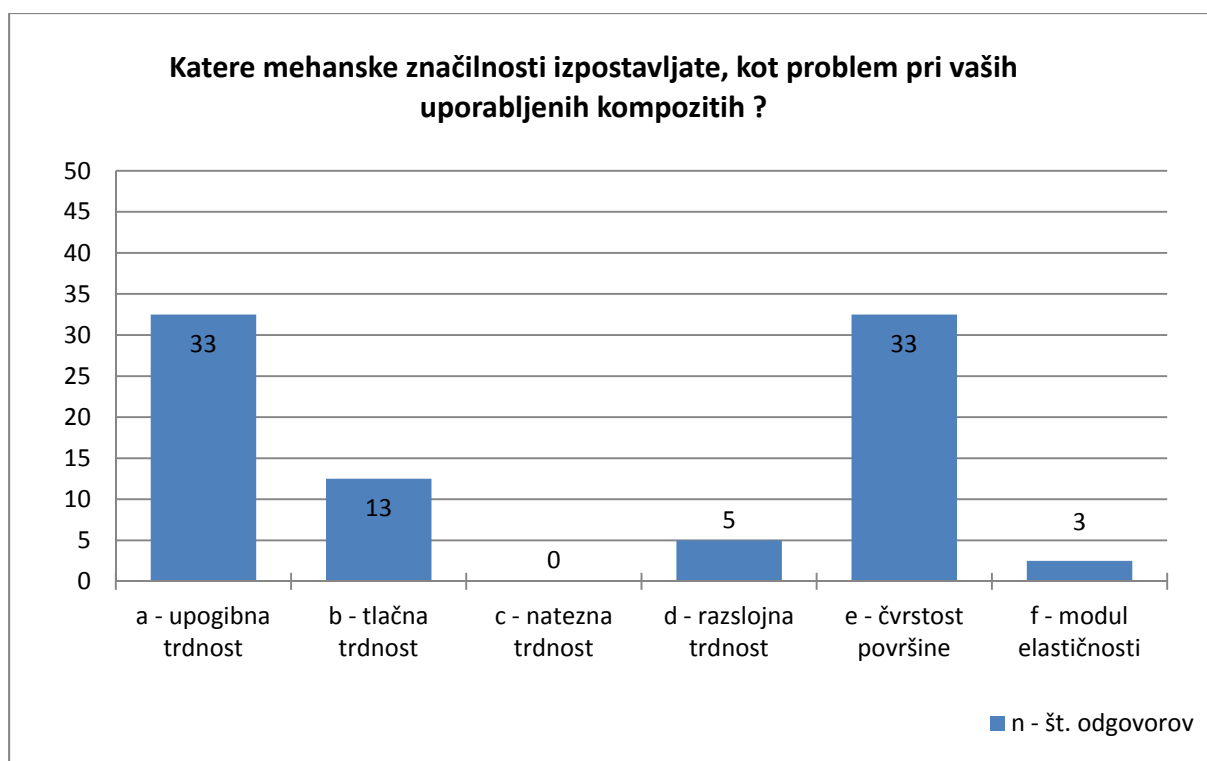
Slika 11: Grafični prikaz odgovorov ankete na vprašanje: Ali vaši uporabljeni lesni materiali izpolnjujejo vaše zahteve o kvaliteti?

O uporabljenih materialih je 28 anketirancev potrdilo, da popolnoma izpolnjujejo zahteve o kakovosti, 15 pa jih meni, da njihovi uporabljeni materiali zadovoljivo dosegajo nivo želene kakovosti. Petina vprašanih pa bi za specifične izdelke potrebovali kvalitetnejše ploščne kompozite. Torej lahko povzamemo, da imamo na trgu relativno dobre materiale, ki ustrezajo in izpolnjujejo zahteve o kakovosti večine uporabnikov.



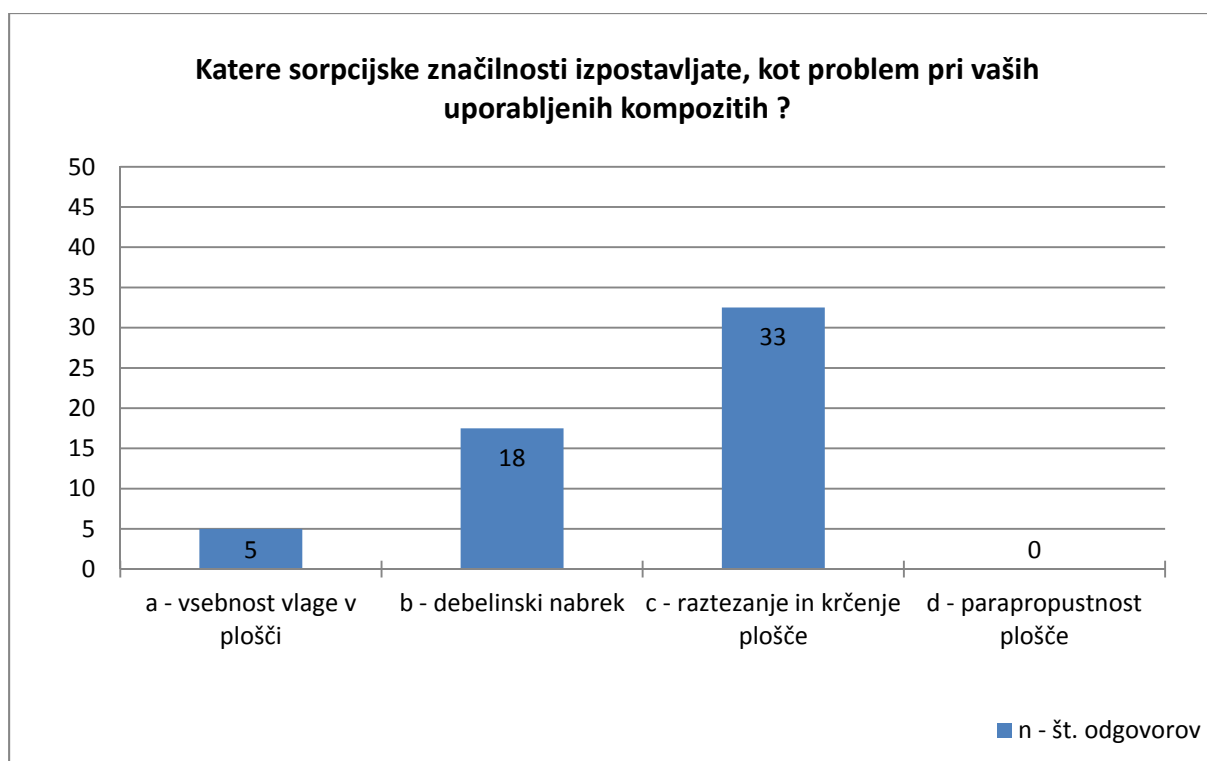
Slika 12: Grafični prikaz odgovorov ankete na vprašanje: Katere fizikalne značilnosti izpostavljate, kot problem pri vaših uporabljenih kompozitih?

Kot je razvidno iz grafa so vsi anketiranci (50) izpostavili gostoto in posledično težo uporabljenih kompozitov kot fizikalno lastnost, ki je vse prej kot dobra. Surove plošče so danes v velikih formatih zato je rokovanje z njimi tako med obdelavo kot tudi na montaži precej težavno.



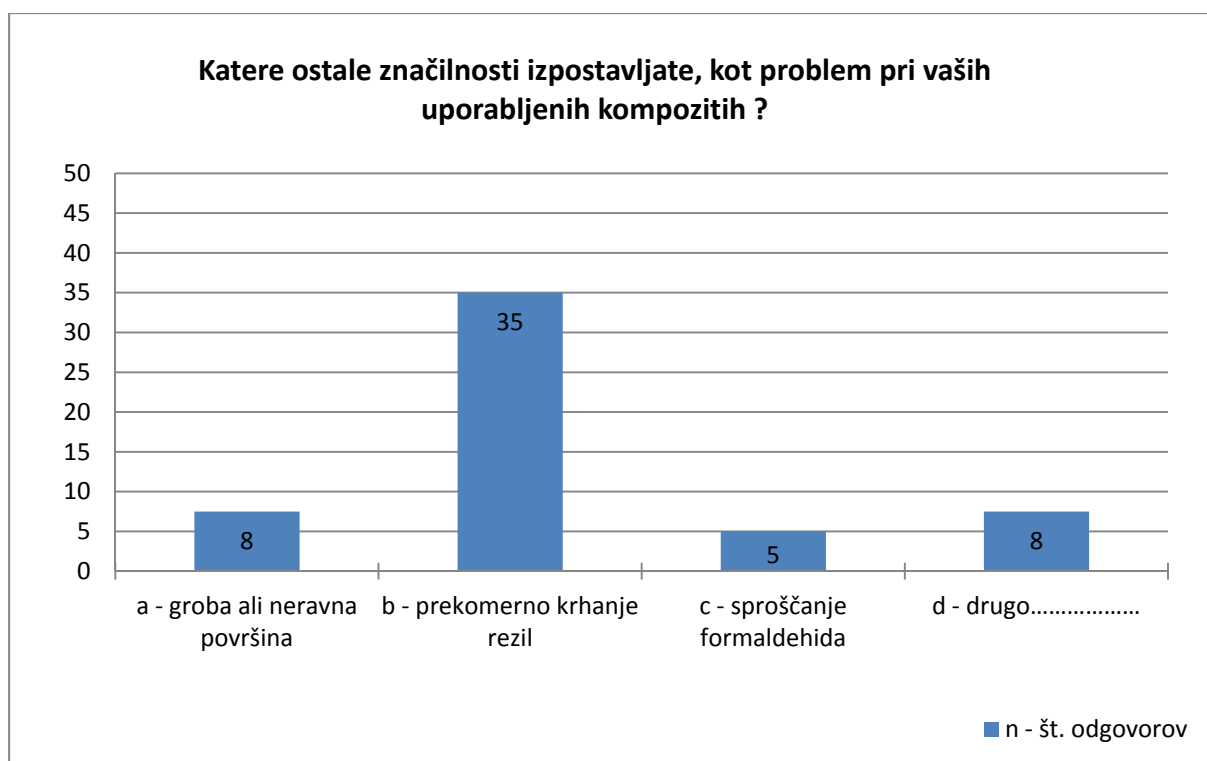
Slika 13: Grafični prikaz odgovorov ankete na vprašanje: Katere mehanske značilnosti izpostavljate, kot problem pri vaših uporabljenih kompozitih?

Kot problem mehanskih značilnosti jih 33 izpostavlja upogibno trdnost predvsem pri že vgrajenih izdelkih, ki so pod stalno obremenitvijo, zato se sčasoma material upogne ali celo ukloni in pride do zloma. Enak odstotek vprašanih navaja tudi slabo čvrstost površine, saj so predvsem problematični odkrušeni delci iveri na površini, ki kasneje pri oplemenitvenju s furnirjem ali dekorativno folijo kvarijo izgled samega izdelka. 13 vprašanih je izpostavilo tlačno trdnost, v manjših deležih pa še razslojno trdnost. Najbolj izpostavljeni mehanski lastnosti navajata k izdelavi kompaktnejše iverne plošče v srednjem sloju ter z bolj čvrstim slojem na površini.



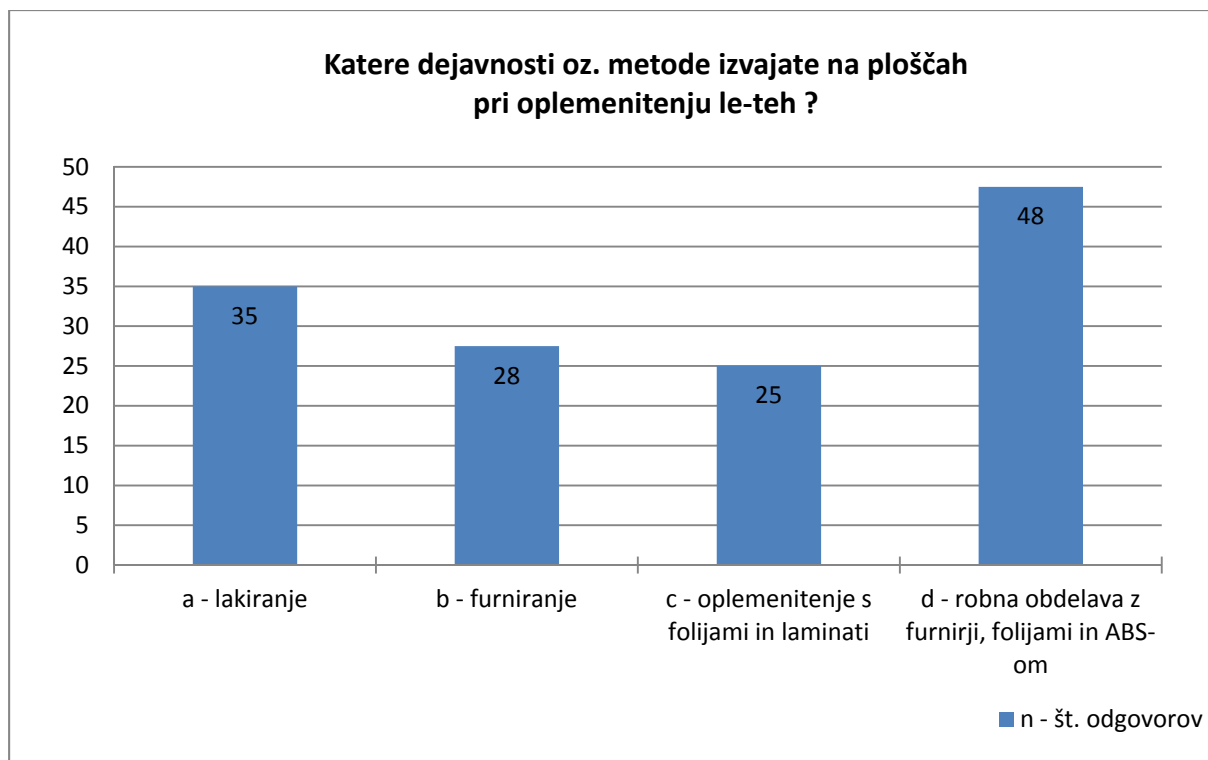
Slika 14: Grafični prikaz odgovorov ankete na vprašanje: Katere sorpcijske značilnosti izpostavljate, kot problem pri vaših uporabljenih kompozitih?

Velik delež (33) vprašanih v anketi je opozorilo na problem raztezanja in krčenja plošč. To predstavlja velik problem pri že vgrajenih izdelkih notranjega pohištva kot so vgradne omare, delovni pulti, zaključne letve ... Z enakim problemom se srečujejo tudi monterji montažnih hiš in polagalci talnih in stenskih oblog. Debelinski nabrek plošče je sicer izpostavljen le z 18 odgovori, a vseeno smo pričakovali večjo intenziteto te značilnosti, saj so plošče sorpcijsko najbolj dovzetne na robovih, kasneje pa je učinek viden po celotni površini kompozita. Desetina vprašanih pa je mnenja, da bi morale biti iverne plošče na splošno bolj suhe.



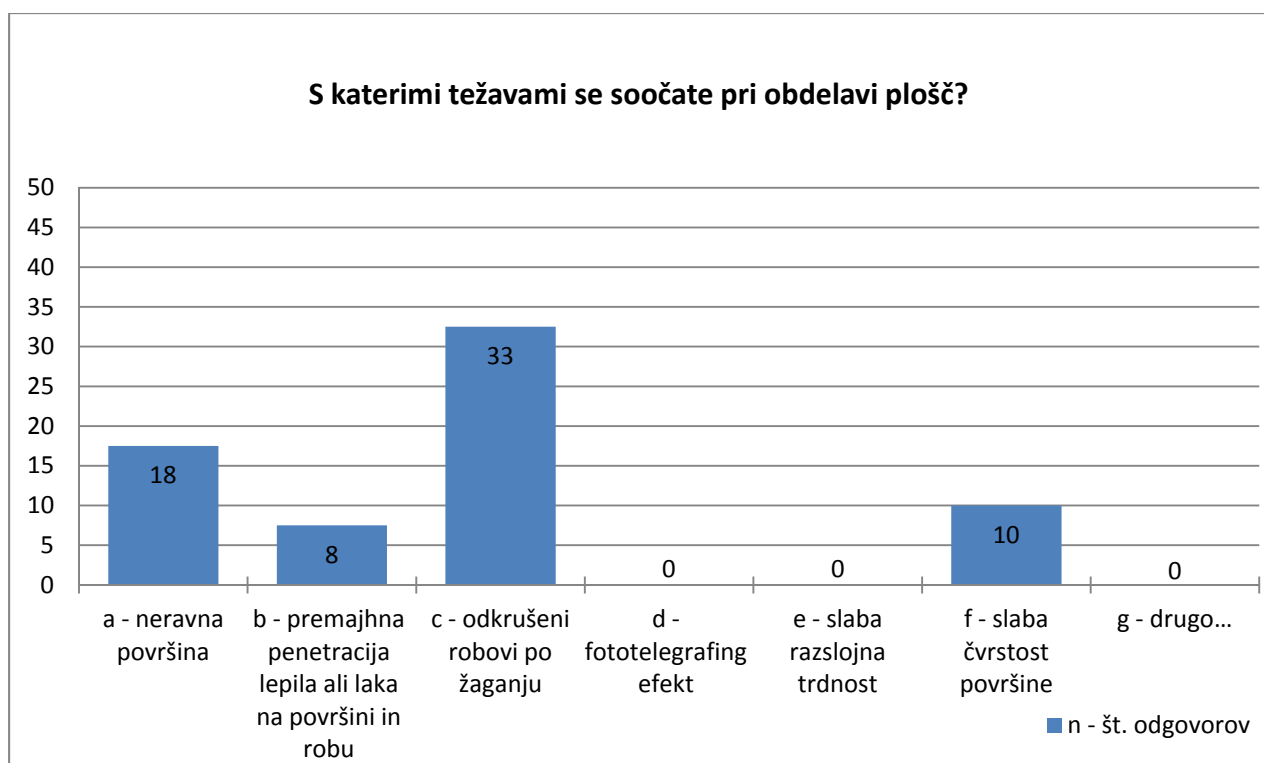
Slika 15: Grafični prikaz odgovorov ankete na vprašanje: Katere ostale značilnosti izpostavljate, kot problem pri vaših uporabljenih kompozitih?

Prekomerno krhanje obdelovalnega orodja je pričakovan in hkrati najbolj izpostavljen problem ostalih značilnosti, katere zaznamujejo lesni kompoziti s kar 35 odgovori. Glavni razlog za omenjen problem je predvsem lepilo, ki predstavlja skoraj desetino materiala poleg tega pa ima dokaj visoko trdoto. 8 anketirancev prepisuje nezadovoljstvo ob uporabi plošč grobi in neravni površini, kjer omenjena slabost še posebej pride do izraza pri oplemenitenju s furnirjem, folijami ali samim lakiranjem. Z enakim deležem so bile izražene še druge napake: napake na površini, manjkajoči delci plošč ali dekorativne folije, ostanki folije, večji delci gradnikov na površini, itd. Le 5 anketiranih pa je izpostavilo problem sproščanja formaldehida, kar je bil tudi nepričakovan a dober podatek, saj lahko zaključimo, da so materiali na trgu veliko bolj ekološko izdelani, saj ne sproščajo večjih emisij formaldehida.



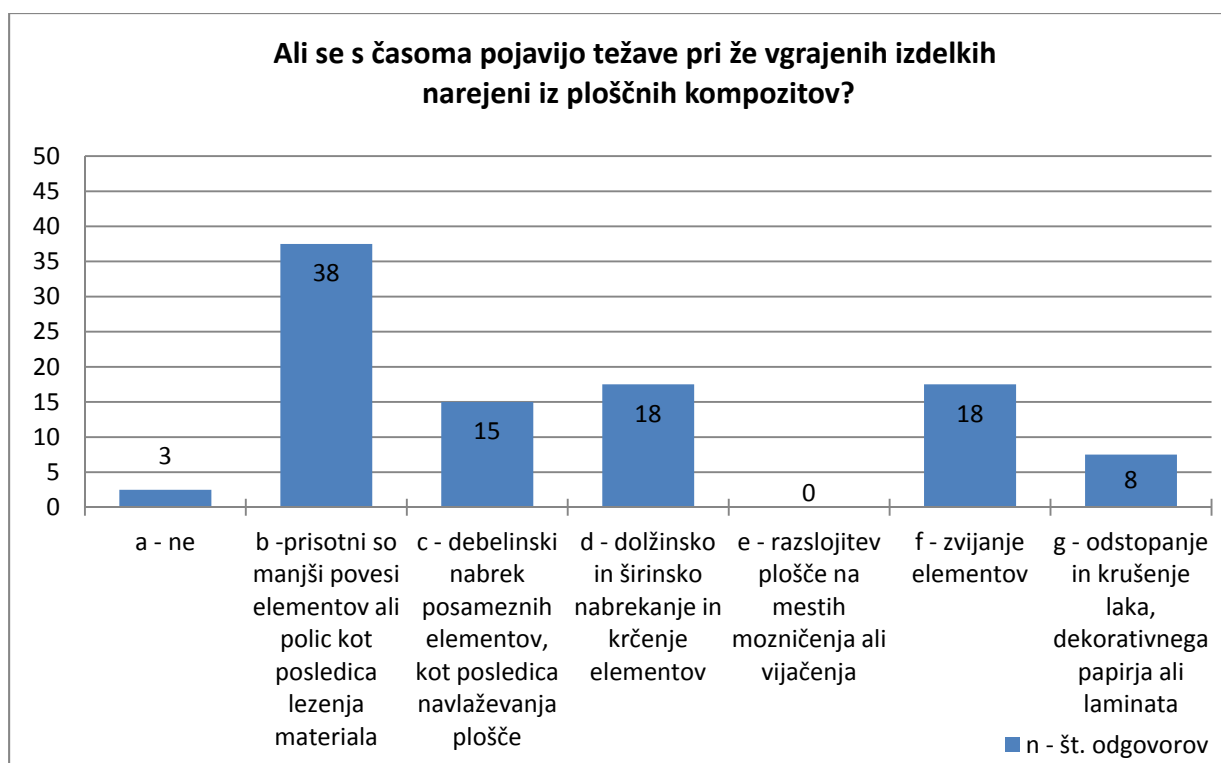
Slika 16: Grafični prikaz odgovorov ankete na vprašanje: Katere dejavnosti oz. metode izvajate na ploščah pri oplemenitenju le-teh?

Na grafu so prikazane delovne operacije, katerih se v največji meri poslužujejo v mizarskih delavnicah in lesnih obratih. Z 48 odgovori je najbolj pogosta robna obdelava s folijami in ABS-om, torej lahko povzamemo, da je največ uporabljenega ploščnega materiala prav iverala. 35 anketiranih izvaja operacijo lakiranja vlaknenih plošč, ki predvsem zajema najbolj vidne dele pohištva. Dobra polovica se poslužuje oplemenitenja površine in robu s furniranjem, polovica anketiranih pa za bolj izpostavljene dele kot so delovni pulti, uporabi laminate saj so veliko odpornejši proti udarcem, vročini in politju raznih pijač.



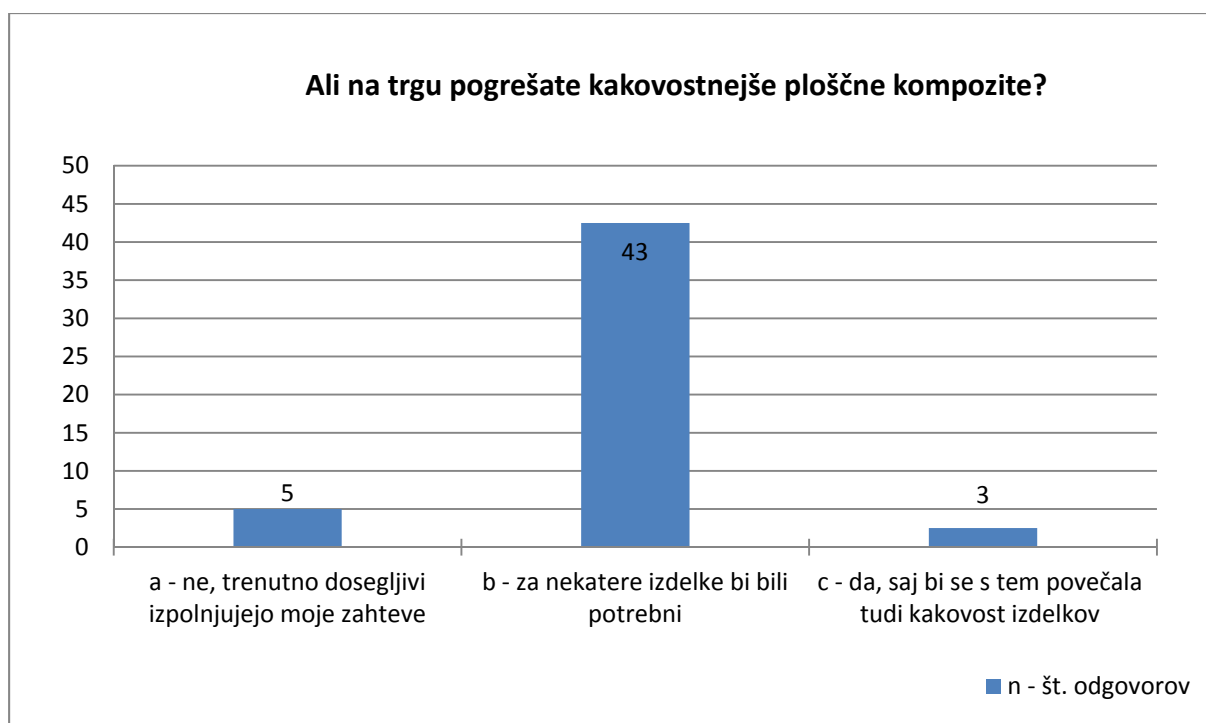
Slika 17: Grafični prikaz odgovorov ankete na vprašanje: S katerimi težavami se soočate pri obdelavi plošč?

Pri obdelavi materiala so anketirani izpostavili problem odkrušenih robov pri žaganju s 33 odgovori. Kritika se nanaša predvsem na iveral, zato lahko to lastnost pripisujemo slabemu oplemenitjenju materialov. Omenjeno težavo lahko primerjamo tudi s slabo čvrstostjo površine, ki jo je v tej anketi izpostavilo 20 vprašanih. Neravni površini plošč so anketiranci namenili 18 odgovorov, kjer se težava odraža predvsem pri furniranju večjih kosov pohištva. Le desetino vprašanih pa moti penetracija lepila v ploščo, predvsem pri oplemenitjenju le-teh, tako na površini kot tudi na robovih. Enaka težava je tudi z nanosom laka na material. Iz dane ankete lahko povzamemo, da so zunanji sloji na ploščah nekompaktni, vendar z izboljšanjem le-tega ne moremo omogočiti boljše penetracije lepil in premaznih sredstev.



Slika 18: Grafični prikaz odgovorov ankete na vprašanje: Ali se s časoma pojavijo težave pri že vgrajenih izdelkih narejeni iz ploščnih kompozitov?

Iz grafa je razvidno, da se težave pri vgrajenem pohištvu pojavijo predvsem pri izpostavljenosti vodi oz. vlagi, sončni svetlobi in stalni obremenjenosti elementov, ki izgubijo svojo prvotno obliko s t.i. lezenjem materiala, kar je potrdilo kar 38 vprašanih. Z dobro tretjino odgovorov (18) so anketirani omenili problem dolžinskega in širinskega nabrekanja ter krčenja vgrajenih kosov pohištva, predvsem v kopalnicah in kuhinjah, kjer je prisotna večja količina vlage. Enak delež je bil namenjen tudi zvijanju elementov, ki so neposredno izpostavljeni sončni svetlobi. 15 odgovorov je bilo namenjenih problemu debelinskega nabreka, kot posledica stalnega navlaževanja plošč, 8 pa jih omenja še odstopanje in krušenje laka, dekorativnega papirja in laminata.



Slika 19: Grafični prikaz odgovorov ankete na vprašanje: Ali na trgu pogrešate kakovostnejše ploščne kompozite?

Uporabniki lesnih ploščnih kompozitov so opozorili s 43 odgovori, da za določene izdelke potrebujejo ploščne materiale, kateri bi olajšali delo in izboljšali kakovost končnih izdelkov. Na trgu je sicer širok asortiman materialov za specifične namene uporabe, vendar je njihova kakovost sorazmerna tudi z visoko ceno. Desetina anketiranih je povsem zadovoljnih z uporabljenimi materiali, 3 pa so trdno prepričani, da bi morali biti na trgu še boljši kompoziti, zato bi bilo smotno izdelati kvalitetnejši in ekonomsko sprejemljivjši material.

4.2 DEBELINSKI NABREK

Debelinski nabrek je bil opravljen po testu SIST EN 317, namen le tega pa je bil ugotoviti delež absorbirane vode v snovanem kompozitu po 24-urni izpostavljenosti. Podatki o preizkusu so predstavljeni v preglednicah od 2 do 7.

Preglednica 2: Debelinski nabrek pri plošči M 1

oznaka plošče	m1	t1	m2	t2	Gm (%)	Gt (%)
M1.10	23,35	15,64	45,62	20,75	95,37	32,67
M1.11	24,14	15,49	46,19	20,04	91,34	29,37
M1.12	22,84	15,17	44,63	18,45	95,40	21,62
M1.13	24,50	15,54	46,97	20,7	91,71	33,20
M1.14	22,48	15,69	44,75	20,44	99,07	30,27
M1.15	23,80	15,51	46,07	20,37	93,57	31,33
M1.16	22,48	15,31	44,6	18,54	98,40	21,10
M1.17	23,20	15,43	45,4	20,36	95,69	31,95
povp. vredn.					95,07	28,94
stand. odklon					2,80	4,84

Preglednica 3: Debelinski nabrek pri plošči M 2

oznaka plošče	m1	t1	m2	t2	Gm (%)	Gt (%)
M2.10	29,89	15,73	53,74	20,48	79,79	30,20
M2.11	29,83	15,57	52,58	20,88	76,27	34,10
M2.12	30,35	15,56	52,58	20,12	73,25	29,31
M2.13	30,79	15,64	53,34	20,26	73,24	29,54
M2.14	29,67	15,56	52,97	20,42	78,53	31,23
M2.15	29,52	15,63	52,91	20,8	79,23	33,08
M2.16	29,66	15,51	51,95	20,47	75,15	31,98
M2.17	29,78	15,60	52,93	20,55	77,74	31,73
povp. vredn.					76,65	31,40
stand. odklon					2,59	1,69

Preglednica 4: Debelinski nabrek pri plošči M 3

oznaka plošče	m ₁	t ₁	m ₂	t ₂	G _m (%)	G _t (%)
M3.10	23,84	15,64	46,47	18,83	94,92	20,40
M3.11	24,15	15,67	46,70	20,03	93,37	27,82
M3.12	25,13	15,39	47,56	18,44	89,26	19,82
M3.13	24,28	15,63	46,97	18,78	93,45	20,15
M3.14	23,90	15,72	46,34	19,98	93,89	27,10
M3.15	24,18	15,57	46,37	19,96	91,77	28,20
M3.16	24,77	15,51	47,18	18,49	90,47	19,21
M3.17	25,88	15,53	48,22	18,66	86,32	20,15
povp. vredn.					91,68	22,86
stand. odklon					2,87	4,04

Preglednica 5: Debelinski nabrek pri plošči M 4

oznaka plošče	m ₁	t ₁	m ₂	t ₂	G _m (%)	G _t (%)
M4.10	24,37	15,51	47,66	20,43	95,57	31,72
M4.11	25,29	15,38	48,44	20,39	91,54	32,57
M4.12	25,31	15,50	48,72	20,36	92,49	31,35
M4.13	23,08	15,55	46,38	20,55	100,95	32,15
M4.14	25,16	15,48	48,29	20,26	91,93	30,88
M4.15	24,81	15,29	47,86	20,12	92,91	31,59
M4.16	25,06	15,34	48,56	20,15	93,77	31,36
M4.17	24,16	15,54	47,23	20,03	95,49	28,89
povp. vredn.					94,33	31,32
stand. odklon					3,07	1,11

Preglednica 6: Debelinski nabrek pri plošči M 5

oznaka plošče	m ₁	t ₁	m ₂	t ₂	G _m (%)	G _t (%)
M5.10	25,76	15,72	48,38	20,43	87,81	29,96
M5.11	22,61	15,55	45,41	18,32	100,84	17,81
M5.12	24,24	15,43	46,61	18,28	92,29	18,47
M5.13	23,33	15,53	45,88	18,41	96,66	18,54
M5.14	22,16	15,52	44,44	18,44	100,54	18,81
M5.15	25,60	15,46	47,72	18,62	86,41	20,44
M5.16	23,82	15,41	45,98	18,47	93,03	19,86
M5.17	25,01	15,64	47,58	20,10	90,24	28,52
povp. vredn.					93,48	21,55
stand. odklon					5,46	4,83

Preglednica 7: Debelinski nabrek pri plošči M 6

oznaka plošče	m ₁	t ₁	m ₂	t ₂	G _m (%)	G _t (%)
M7.10	34,67	15,63	54,91	20,40	58,38	30,52
M7.11	34,54	15,55	53,80	18,79	55,76	20,84
M7.12	34,04	15,52	54,00	20,33	58,64	30,99
M7.13	34,11	15,56	54,21	20,55	58,93	32,07
M7.14	36,36	15,38	54,08	18,66	48,73	21,33
M7.15	36,56	15,46	54,18	20,27	48,19	31,11
M7.16	36,18	15,56	54,53	20,97	50,72	34,77
M7.17	36,40	15,49	54,03	18,76	48,43	21,11
povp. vredn.					53,47	27,84
stand. odklon					4,91	5,74

Po preizkusu plošč za debelinski nabrek vidimo iz preglednic, da so imeli kompoziti zelo različne stopnje sorpcije vode. Torej zgradba plošče iz različnih lesnih vrst, število posameznih slojev ter velikost gradnikov močno vplivajo na vpijanje vode v material, saj ob daljši izpostavljenosti v vodi lepilne vezi med seboj popustijo s tem pa se poveča debelina plošče ter posledično podre kompaktnost in strukturo materiala. Iz preglednic lahko razberemo, da je plošča M1 absorbirala največji delež vode. Z dokaj podobnim deležem pa ji sledita še plošči M4 ter M5. To lastnost lahko pripišemo zgradbi srednjega sloja, saj je zgoščenost gradnikov v plošči nizka, praznih prostorov v strukturi pa veliko. Omenjeni plošči vsebujeta tudi topolove iveri, ki so bolj sorpcijsko dovzetne. Iz stališča debelinskega nabreka pa ima največjo vrednost plošča M2 in M4.

4.3 UPOGIBNA TRDNOST IN MODUL ELASTIČNOSTI

Podatki o upogibni trdnosti in modulu elastičnosti, glede na strukturo plošče so predstavljeni v preglednicah od 8 do 13.

Preglednica 8: Upogibna trdnost in modul elastičnosti pri plošči M 1

oznaka plošče	t (mm)	b (mm)	F max. (N)	f _m (N/mm ²)	E-modul (N/mm ²)
M1.1	15,50	50,39	263	10,43	2333
M1.2	15,40	50,67	304	12,14	2433
M1.3	15,63	50,71	211	8,18	2048
M1.4	15,40	50,46	324	13,00	2450
M1.5	15,39	50,68	302	12,08	2354
M1.6	15,43	50,71	304	12,09	2293
M1.7	15,54	50,68	268	10,51	2424
M1.8	15,56	50,67	311	12,17	2367
M1.9	15,69	50,64	239	9,20	2126
povp. vred.			281	11,09	2314
stand. odklon			38	1,61	140

Preglednica 9: Upogibna trdnost in modul elastičnosti pri plošči M 2

oznaka plošče	t (mm)	b (mm)	F max. (N)	f _m (N/mm ²)	E-modul (N/mm ²)
M2.1	15,87	50,70	308	11,58	2325
M2.2	15,73	50,70	380	14,54	2579
M2.3	15,62	50,70	376	14,59	2659
M2.4	15,55	50,70	404	15,82	2719
M2.5	15,53	50,70	406	15,94	2797
M2.6	15,58	50,71	402	15,68	2746
M2.7	15,54	50,71	376	14,74	2902
M2.8	15,68	50,60	431	16,63	2906
M2.9	15,80	50,60	356	13,53	2569
povp. vred.			382	14,78	2689
stand. odklon			36	1,52	183

Preglednica 10: Upogibna trdnost in modul elastičnosti pri plošči M 3

oznaka plošče	t (mm)	b (mm)	F max. (N)	f _m (N/mm ²)	E-modul (N/mm ²)
M3.1	15,77	50,77	188	7,15	1682
M3.2	15,64	50,75	248	9,59	1840
M3.3	15,70	50,81	248	9,50	2039
M3.4	15,59	50,47	314	12,29	2398
M3.5	15,77	50,72	338	12,86	2644
M3.6	15,78	50,68	402	15,29	2697
M3.7	15,78	50,71	349	13,27	2860
M3.8	15,81	50,66	389	14,75	2841
M3.9	16,06	50,63	435	15,99	2712
povp. vred.			323	12,30	2413
stand. odklon			82	2,99	448

Preglednica 11: Upogibna trdnost in modul elastičnosti pri plošči M 4

oznaka plošče	t (mm)	b (mm)	F max. (N)	f _m (N/mm ²)	E-modul (N/mm ²)
M4.1	15,75	50,73	315	12,02	2400
M4.2	15,68	50,68	324	12,48	2400
M4.3	15,61	50,60	328	12,77	2466
M4.4	15,55	50,70	392	15,35	2559
M4.5	15,48	50,72	308	12,16	2472
M4.6	15,54	50,72	318	12,46	2269
M4.7	15,54	50,59	303	11,90	2374
M4.8	15,60	50,66	252	9,81	2271
M4.9	15,77	50,56	265	10,12	2136
povp. vred.			312	12,12	2372
stand. odklon			40	1,60	128

Preglednica 12: Upogibna trdnost in modul elastičnosti pri plošči M 5

oznaka plošče	t (mm)	b (mm)	F max. (N)	f _m (N/mm ²)	E-modul (N/mm ²)
M5.1	15,82	50,72	205	7,75	1775
M5.2	15,64	50,67	255	9,88	1941
M5.3	15,64	50,70	261	10,10	2095
M5.4	15,51	50,58	263	10,38	2138
M5.5	15,56	50,72	274	10,71	2246
M5.6	15,59	50,67	296	11,54	2109
M5.7	15,68	50,67	231	8,90	2243
M5.8	15,71	50,63	325	12,48	2584
M5.9	15,77	50,61	366	13,96	2758
povp. vred.			275	10,63	2210
stand. odklon			48	1,86	303

Preglednica 13: Upogibna trdnost in modul elastičnosti pri plošči M 7

oznaka plošče	t (mm)	b (mm)	F max. (N)	f _m (N/mm ²)	E-modul (N/mm ²)
M7.1	15,90	50,72	448	16,77	2924
M7.2	15,77	50,74	605	23,01	3727
M7.3	15,77	50,69	532	20,26	3611
M7.4	15,56	50,68	577	22,57	3575
M7.5	15,55	50,76	495	19,36	3343
M7.6	15,70	50,71	501	19,24	3247
M7.7	15,62	50,69	535	20,76	3516
M7.8	15,51	50,65	649	25,57	3737
M7.9	15,54	50,60	416	16,34	2969
povp. vred.			529	20,43	3405
stand. odklon			74	2,97	306

Rezultati povprečnih vrednosti pri testu upogibne trdnosti in modula elastičnosti nam kažejo, da ima najboljše vrednosti plošča M7. Ob visoki gostoti materiala smo izmerjeno vrednost pričakovali. Tudi plošča M2 s pet-slojno zgradbo ima glede na ostale kompozite relativno dober rezultat upogibne trdnosti in E-modula, razlog temu pa je v visoki zgoščenosti in zlepljenosti gradnikov v srednjem sloju in večplastni strukturi kompozita.

4.4 RAZSLOJNA TRDNOST

Rezultati meritev razslojne trdnosti so prikazani v preglednicah od 14 do 19.

Preglednica 14: Razslojna trdnost pri plošči M 1

oznaka plošče	l (mm)	b (mm)	A (m ²)	F _{max.} (N)	f _t (N/mm ²)
M1.23	50,77	50,75	0,26	962	0,38
M1.24	50,57	50,72	0,26	388	0,16
M1.25	50,75	50,71	0,26	670	0,27
M1.26	50,68	50,72	0,26	720	0,29
M1.27	50,70	50,76	0,26	463	0,19
M1.28	50,74	50,69	0,26	611	0,24
M1.29	50,75	50,67	0,26	1000	0,40
M1.30	50,64	50,55	0,26	744	0,30
povp. vred.				694,75	0,28
stand. odklon				214,84	0,08

Preglednica 15: Razslojna trdnost pri plošči M 2

oznaka plošče	l (mm)	b (mm)	A (m ²)	F _{max.} (N)	f _t (N/mm ²)
M2.18	50,57	50,78	0,26	1360	0,54
M2.19	50,64	50,79	0,26	1540	0,61
M2.20	50,80	50,67	0,26	1190	0,47
M2.21	50,77	50,80	0,26	1330	0,53
M2.22	50,84	50,67	0,26	1180	0,47
M2.23	50,73	50,74	0,26	1290	0,52
M2.24	50,62	50,74	0,26	1200	0,48
M2.25	50,78	50,76	0,26	1370	0,55
povp. vred.				1315,00	0,52
stand. odklon				121,39	0,05

Preglednica 16: Razslojna trdnost pri plošči M 3

oznaka plošče	l (mm)	b (mm)	A (m ²)	F _{max.} (N)	f _t (N/mm ²)
M3.18	50,71	50,76	0,26	712	0,28
M3.19	50,84	50,85	0,26	575	0,23
M3.20	50,79	50,77	0,26	398	0,16
M3.21	50,61	50,74	0,26	592	0,24
M3.22	50,60	50,65	0,26	502	0,20
M3.23	50,63	50,79	0,26	445	0,18
M3.24	50,68	50,74	0,26	523	0,21
povp. vred.				535,29	0,21
stand. odklon				103,50	0,04

Preglednica 17: Razslojna trdnost pri plošči M 4

oznaka plošče	l (mm)	b (mm)	A (m ²)	F _{max.} (N)	f _t (N/mm ²)
M4.18	50,72	50,69	0,26	742	0,30
M4.19	50,65	50,83	0,26	1080	0,43
M4.20	50,75	50,77	0,26	1080	0,43
M4.21	50,75	50,65	0,26	953	0,38
M4.22	50,69	50,70	0,26	957	0,38
M4.23	50,70	50,76	0,26	1130	0,45
M4.24	50,70	50,75	0,26	939	0,38
M4.25	50,68	50,68	0,26	902	0,36
povp. vred.				972,88	0,39
stand. odklon				124,07	0,05

Preglednica 18: Razslojna trdnost pri plošči M 5

oznaka plošče	l (mm)	b (mm)	A (m ²)	F _{max.} (N)	f _t (N/mm ²)
M5.18	50,68	50,76	0,26	842	0,34
M5.19	50,77	50,72	0,26	599	0,24
M5.20	50,78	50,69	0,26	855	0,34
M5.21	50,67	50,73	0,26	953	0,38
M5.22	50,73	50,77	0,26	934	0,37
M5.23	50,70	50,73	0,26	458	0,18
M5.24	50,78	50,55	0,26	631	0,25
M5.25	50,74	50,75	0,26	707	0,28
povp. vred.				747,38	0,30
stand. odklon				176,71	0,07

Preglednica 19: Razslojna trdnost pri plošči M 7

oznaka plošče	l (m)	b (mm)	A (m ²)	F _{max.} (N)	f _t (N/mm ²)
M7.18	50,80	50,86	0,26	2380	0,95
M7.19	50,73	50,72	0,26	2040	0,82
M7.20	50,75	50,76	0,26	2010	0,80
M7.21	50,67	50,77	0,26	1910	0,76
M7.22	50,69	50,82	0,26	2960	1,18
M7.23	50,73	50,69	0,26	2330	0,93
M7.24	50,71	50,72	0,26	2320	0,93
M7.25	50,74	50,83	0,26	2250	0,90
povp. vred.				2275,00	0,91
stand. odklon				326,15	0,13

Pri testiranju razslojne trdnosti je razvidno, da je plošča M7 s povprečno vrednostjo najboljša. Kot razlog lahko izpostavimo velik faktor zgostitve gradnikov po celotni debelini materiala. Z enakim razlogom v srednjem sloju lahko primerjamo tudi ploščo M2, ki je glede na ostale preizkušene kompozite dosegla zelo obetavno vrednost. Pri ostalih ploščah, so v srednjem sloju prazni prostori zaradi pregrobih gradnikov, ki so posledično slabo oblepljeni in tako ne tvorijo neke prepletenosti med seboj, temu primerni pa so tudi izmerjeni rezultati.

4.5 STRIŽNA TRDNOST

Preizkus strižne trdnosti glede na strukturo materiala je predstavljen v preglednicah od 20 do 25.

Preglednica 20: Strižna trdnost pri plošči M 1

oznaka plošče	b (mm)	d (mm)	F max. (N)
M1.4	50,40	15,40	4862
M1.5	50,73	15,49	4480
M1.6	50,79	15,39	4356
M1.7	50,70	15,49	4963
M1.8	50,70	15,43	4393
povp. vred.			4611
stand. odklon			281

Preglednica 21: Strižna trdnost pri plošči M 2

oznaka plošče	b (mm)	d (mm)	F max. (N)
M2.8	50,68	15,46	7167
M2.9	50,72	15,48	6802
M2.10	50,73	15,48	6881
M2.11	50,73	15,56	7093
M2.12	50,70	15,64	6684
povp. vred.			6925
stand. odklon			201

Preglednica 22: Strižna trdnost pri plošči M 3

oznaka plošče	b (mm)	d (mm)	F max. (N)
M3.4	50,65	15,45	3580
M3.5	50,75	15,53	4231
M3.6	50,76	15,56	4238
M3.7	50,71	15,68	4664
M3.8	50,75	15,75	4476
povp. vred.			4238
stand. odklon			410

Preglednica 23: Strižna trdnost pri plošči M 4

oznaka plošče	b (mm)	d (mm)	F max. (N)
M4.4	50,76	15,44	5253
M4.5	50,67	15,43	4309
M4.6	50,69	15,47	4284
M4.7	50,54	15,44	4458
M4.8	50,47	15,44	4576
povp. vred.			4576
stand. odklon			396

Preglednica 24: Strižna trdnost pri plošči M 5

oznaka plošče	b (mm)	d (mm)	F max. (N)
M5.4	50,40	15,37	3250
M5.5	50,75	15,46	3768
M5.6	50,73	15,40	3807
M5.7	50,67	15,61	4611
M5.8	50,72	15,67	4475
povp. vred.			3982
stand. odklon			559

Preglednica 25: Strižna trdnost pri plošči M 7

oznaka plošče	b (mm)	d (mm)	F max. (N)
M7.4	50,78	15,53	8671
M7.5	50,74	15,54	7458
M7.6	50,74	15,50	7960
M7.7	50,73	15,58	8349
M7.8	50,57	15,57	8367
povp. vred.			8161
stand. odklon			467

Najboljšo vrednost je bila izmerjena pri plošči M7, saj je njena struktura najbolj zgoščena po celotni debelini temu primerna pa je tudi visoka gostota. Bolj zanimiv podatek izraža plošča M2, ki je s svojo kompaktno pet-slojno sestavo dosegla zelo obetaven rezultat. Pričakovano najslabše izmerjene vrednosti pa so dosegle plošče, ki so vsebovale gradnike topola.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

Namen diplomskega projekta je bil ugotoviti izpostavljene slabosti ivernih plošč preko anketnega vprašalnika, nato pridobljene podatke natančno analizirati in izdelati kompozit z izboljšanimi lastnostmi in hkrati povečati uporabnost materiala v različnih lesno-obdelovalnih panogah. Povprečne vrednosti vseh testov so prikazane v preglednici 26.

Preglednica 26: Prikaz povprečnih vrednosti opravljenih preizkusov

oz. plošč	d (mm)	σ (kg/m ³)	Debel. nabrek		Upogibna trdnost		Razslojna tr.	Strižna tr.
			Gm (%)	Gt (%)	Fm (N/mm ²)	E-modul (N/mm ²)	Ft (N/mm ²)	F max. (N)
M1	15,52	584	95,07	28,94	11,09	2314	0,28	4611
M2	15,62	733	76,65	31,40	14,78	2689	0,52	6925
M3	15,72	612	91,68	22,86	12,30	2413	0,21	4238
M4	15,52	617	94,33	31,32	12,12	2372	0,39	4576
M5	15,58	592	93,48	21,55	10,63	2210	0,30	3982
M7	15,59	853	53,47	27,84	20,43	3405	0,91	8161

Tako smo iz fizikalnega stališča preizkušance potopili za 24 ur v vodno kopel, kjer smo izmerili debelinski nabrek ter izračunali delež absorbirane vode. Iz rezultatov lahko razberemo, da je plošča M5 z dokaj nizko gostoto dosegla najmanjši debelinski nabrek, vendar nam hkrati podatki kažejo, da je ista plošča absorbirala relativno veliko količino vode. To pomeni, da pri stiskanju nismo dosegli visokega faktorja zgostitve materiala, zato so v strukturi srednjega sloja nastali prazni prostori. Ob preizkusu je tako lahko material sprejel veliko količino vode. Plošča M2 je popolno nasprotje, saj vidimo iz preglednice, da ima veliko gostoto, kar pomeni tudi veliko stisnjenega materiala, zato ne preseneča podatek o največjem debelinskem nabreku, kljub temu, da podatek o absorbirani količini vode ni velik.

Ploščne kompozite pa odlikujejo predvsem preizkusi iz mehanskega stališča. Da se mehanske lastnosti sorazmerno izboljšujejo glede na gostoto materiala, lahko potrdimo z rezultati, ki smo jih pridobili s testiranjem.

Pri testu upogibne, razslojne ter strižne trdnosti je bila najboljša vrednost izmerjena pri plošči M7, ki jo odlikuje visoka gostota, katera je bila dosežena z visokim faktorjem zgostitve. S tem pa so dobro oblepljeni gradniki tvorili kompaktno strukturo tako na površini, kot tudi v notranjih slojih plošče, zato izmerjen rezultat ni bil presenečenje.

Z enakim razlogom lahko povežemo tudi pet-slojno ploščo M2 z manjšo gostoto, ki je dosegla obetaven rezultat. Torej, lahko potrdimo, da zgradba plošče pomembno vpliva na trdnost materialov. Pri ostalih kompozitih so v srednjem sloju nastali prazni prostori, prepletenost topolovih gradnikov je bila minimalna, zato so tudi njihove izmerjene vrednosti najnižje. Lahko povzamemo, da je glede na gostoto izdelanih materialov, pet-slojno sestavo plošče in kasneje izmerjenih testnih vrednosti plošča M2 z vidika mehanskih lastnosti optimalen material, izjema je le debelinski nabrek, kar pa zaključuje dejstvo, da je razlika v 16 milimetrskih ploščah med najbolj in najmanj sorpcijsko dovzetno le 10 %, kar pomeni slab milimeter in pol. Pri notranjem pohištvu pa se takšni pogoji omočitve materiala malokrat prakticirajo, izjema so le nezgode.

5.2 SKLEPI

V raziskavi, ki je kombinacija pridobivanja informacij s strani uporabnikov na osnovi anketnega vprašalnika in laboratorijske izdelave, smo ugotovili prednosti in pomanjkljivosti lesnih plošč iz iveri. Na osnovi pridobljenih informacij smo v laboratorijskih pogojih izdelali iverno ploščo, ki izpolnjuje nekatere izmed zahtev uporabnikov. Ugotovili smo, da so fizikalno-mehanske lastnosti pogojene z gostoto plošče. Z zgoščevanjem gradnikov dosežemo kompaktno strukturo, ki pa se izboljšuje sorazmerno z gostoto. Torej večjo gostoto plošče dosežemo, če so gradniki dobro oblepljeni in prepleteni ter imajo visok faktor zgostitve v posameznih slojih plošče. V srednjem sloju so torej zaželeni daljše frakcije s večjo specifično površino, ki jih je možno zgostiti. V zunanjih slojih pa si želimo manjše gradnike, ki bodo tvorili čvrsto površino ter se s srednjim slojem dodobra povezali. To predvsem vpliva na mehanske lastnosti kot so: upogibna trdnost in modul elastičnosti ter razslojna in strižna trdnost. Višja gostota plošče pa ob absorpciji vode povzroča večji debelinski nabrek, če plošča ni dovolj kompaktna oz. se njena struktura poruši. Plošče z nižjo gostoto torej lahko absorbirajo večjo količino vode, s tem pa je debelinski nabrek obratno sorazmeren. Na osnovi razprave lahko sklepamo, da je pri snovanju potrebna odločitev kakšen kompozit želimo izdelati oz. natančno določiti namen uporabe le-tega. V projektu lahko izpostavimo izdelano ploščo M2, ki je glede na gostoto in povprečne izmerjene vrednosti preizkusov najboljša s tem pa se njena uporaba udeležuje na širšem področju lesne dejavnosti.

6 POVZETEK

Namen diplomskega projekta je bila izdelava kompozita iz iveri, s katerim bi izboljšali lastnosti, ki so izpostavljene v anketnem vprašalniku in s tem povečati spekter uporabe ivernih plošč. Anketni vprašalnik je bil posredovan petdesetim naključno izbranim izdelovalcem pohištva, kateri v največji meri uporabljajo iverno ploščo. Vprašalnik zaprtega tipa je bil sestavljen na podlagi teoretičnega in praktičnega znanja, z omenjenimi prednostmi in slabosti, ki se udeležujejo v mizarskih delavnicah in lesnih obratih. Pridobljene odgovore, smo analizirali in izpostavili lastnosti, katere so bile temelj za snovanje kompozita.

Tako smo izdelali šest večslojnih ivernih plošč različnih struktur, nominalne debeline 16 mm, ki so bile sestavljeni iz iveri iglavcev in listavcev različnih velikosti glede na posamezni sloj materiala. Nekaterim ploščam pa so bili dodani topolovi gradniki finih in grobih frakcij. Izdelane kompozite smo nato preizkusili skladno s standardi, ki jih predpisujejo za omenjene materiale.

Pri preizkusu debelinskega nabreka se je izkazalo, da so imeli izdelani kompoziti, glede na strukturo plošče, zelo različne stopnje nabreka. Razlog temu je v uporabljeni različni lesni vrsti materiala, številu posameznih slojev ter velikosti gradnikov. Pri daljši izpostavitvi materiala, gradniki absorbirajo določeno količino vode, lepilne vezi popustijo in s tem se kompaktnost in struktura plošče praktično podre. Rezultati so pokazali, da sta tako debelinski nabrek kakor tudi vpijanje vode odvisna od uporabljene vrste lesa, velikosti gradnikov, števila slojev, gostote plošče in zgostitve gradnikov.

Test upogibne trdnosti in modula elastičnosti nam je pokazal, da je plošča z največjo gostoto, dosegla najboljše vrednosti. Relativno dobre vrednosti pa smo ugotovili tudi pri pet-slojni iverni plošči, kjer smo za izdelavo uporabili 30 % iveri iglavcev, 40 % topolovih iveri in 30 % iveri trdih listavcev.

Tudi pri preizkusu razslojne trdnosti se je plošča z visoko gostoto izkazala kot najboljša. Visok faktor zgostitve in prepletenost gradnikov sta razloga za dobre izmerjene vrednosti. Relativno dobre vrednosti pa smo ugotovili tudi pri pet-slojni iverni plošči, kjer smo za izdelavo uporabili 60 % iveri iglavcev, 20 % topolovih iveri in 20 % iveri trdih listavcev. Povprečne vrednosti ostalih plošč so bile nižje.

Prav tako smo pri testu strižne trdnosti plošči ugotovili visoke vrednosti pri ploščah z višjo gostoto. Nižje vrednosti so dosegle plošče, ki so vsebovale gradnike topola.

V diplomskem projektu sta po vseh testiranjih izstopali plošči z nekoliko višjo gostoto. Kot plošča z optimalnimi rezultati lahko izpostavimo pet-slojno ploščo z gostoto 733 kg/m^3 , saj smo dosegli optimalno razmerje med gostoto in mehanskimi in sorpcijskimi lastnostmi. Izdelana plošča z izboljšanimi lastnostmi je uporabna tako v pohištveni industriji za specifične izdelke, kot tudi za razne konstrukcijske namene, še posebej pa pri gradnji lesenih objektov.

7 LITERATURA IN VIRI

Čermak M. 1996. Furnirji in plošče. Ljubljana, Lesarska založba: 204 str.

Fan M., Ohlmeyer M., Irle M., Haelvoet W., Athanassiadou E., Rochester I. 2009. Performance in use and new products of wood based composites. London – England, Brunel University Press: 325 str.

Gorišek Ž. 2008. Študijsko gradivo za predavanja pri predmetu Mehanske lastnosti lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 18 str.
http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/09_Mehanske_lastnosti_lesa_02.pdf

Kollman F.P.F., Kuenzi W. E., Stamm J.A. 1975. Principles of wood science and technology II: wood based materials. Berlin, Springer: 703str.

Maloney T.M. 1993. Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing. San Francisco, Miller Freeman: 681 str.

Medved S. 2009 Študijsko gradivo za laboratorijske vaje pri predmetu Vlakninska in iverna lesna tvoriva. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 12 str.
http://les.bf.uni-lj.si/fileadmin/datoteke_asistentov/smedved/gradivo-uni/Laboratorijske_vaje_-_lastnosti_plosc_2.pdf

Medved S. 2010. Lesni ploščni kompoziti v arhitekturi – uporaba vlaknenk, iverk in OSB plošč. 90-94 str. BFOL Strokovni seminar, 2.9. 2010
http://www.lesena-gradnja.si/html/img/pool/Lesni_plo__ni_kompoziti.pdf (15.8.2012)

Medved S. 2011. Študijsko gradivo za predavanja pri predmetu Vlaknati in iverni ploščni kompoziti. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 4 str.

SIST EN 310. Lesne plošče - Določanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti. kompoziti. Woodbased panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. 1996

SIST EN 317. Iverne in vlaknene plošče - Ugotavljanje debelinskega nabreka po potapljanju v vodi. Particleboards and fibreboards - Determination of swelling in thickness after immersion in water. 1996

SIST EN 319. Iverne in vlaknene plošče - Določanje razplastne trdnosti pravokotno na površino plošče. Particleboards and fibreboards - Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. 1996

SIST EN 789. Test strižne trdnosti, Lesene konstrukcije - Preskusni postopki - Ugotavljanje mehanskih lastnosti lesnih plošč. Shear strength test, Timber structures - Test methods - Determination of mechanical properties of wood based panels. 2005

Weigl M., Wimmer R., Leder S., Harm M. 2008. Achieving lower density for particle boards by means of raw material selection. V: Medved S. 2008. Lightweight wood-based composites, production, properties and usage. Proceedings of the COST E49 international workshop, Bled, Slovenia, 23rd to 25th June. Bled, Univerza v Ljubljani: 67-80.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju doc. dr. Sergeju Medvedu za vzpodbudo ter strokovno pomoč in napotke tako pri eksperimentalnem, kot tudi teoretičnem delu projekta. Enako se zahvaljujem tudi somentorju izr. prof. dr. Leonu Oblaku za vso dodatno pomoč in nasvete pri nalogi.

Zahvala gre tudi izr. prof. dr. Milanu Šerneku za strokovno recenzijo diplomske naloge.

Zahvaljujem pa se tudi tehničnemu sodelavcu g. Janiju Renku, ki je pomagal pri pripravi preizkušancev, ter vsem ostalim profesorjem, ki so v času mojega študija pripomogli k uspešnemu zaključku projekta.

Iskreno se zahvaljujem tudi svoji družini za moralno podporo tekom študija.

Zahvaljujem pa se tudi vsem prijateljem, ki so na kakršenkoli način pomagali pri nastanku diplomskega projekta.

Iskreno hvala vsem!