

Povećanje estetskih svojstava drvnih ploča kao rezultat bojenja drvnog iverja

Brglez, Lucija

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:828333>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-03**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



**ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK**

**SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ
OBLIKOVANJE PROIZVODA OD DRVA**

**POVEĆANJE ESTETSKIH SVOJSTAVA DRVNIH PLOČA KAO
REZULTAT BOJENJA DRVNOG IVERJA**

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Oblikovanje proizvoda od drva

Predmet: Pločasti materijali

Ispitno povjerenstvo: 1. Prof. dr. sc. Vladimir Jambreković

2. Doc. dr. sc. Danijela Domljan

3. Dr. sc. Nikola Španić

Student: Lucija Brglez

JMBAG: 0068212617

Broj indeksa: 606/15

Datum odobrenja teme: 22.3.2016.

Datum predaje rada: 15.9.2016.

Datum obrane rada: 23.9.2016.

Zagreb, rujan 2016.

Dokumentacijska kartica

Naslov	Povećanje estetskih svojstava drvnih ploča kao rezultat bojenja drvnog iverja
Title	Enhancement of wood based panels aesthetic properties as a result of wood chip staining
Autor	Lucija Brglez
Adresa autora	Dubrovčan 16, Veliko Trgovišće, Republika Hrvatska
Rad izrađen	Šumarski fakultet Sveučilište u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Prof. dr. sc. Vladimir Jambreković
Izradu rada pomagao	Dr. sc. Nikola Španić
Godina objave	2016.
Obujam	40 stranica, 33 slika, 11 tablica i 7 navoda literature
Ključne riječi	Ploče iverice, estetska svojstva, bojanje iverja, primjena ploča, interijer
Key words	Particleboards, aesthetic properties, wood chip staining, board use, interior
Sažetak	<p>Ploče iverice iz makro iverja (OSB i QSB ploče) najčešće se koriste u građevinske svrhe gdje estetska funkcija ima sekundarni značaj. Ipak, s obzirom na to da trendovi uređenja interijera konstantno traže nove mogućnosti primjene pločastih materijala, takve ploče sve više se koriste i za izradu trajno vidljivih elemenata obloga zidova, stropova i/ili podova. Upravo iz tog razloga, u sklopu ovog diplomskog rada, iz prethodno obojenog strand iverja izrađene su eksperimentalne jednoslojne ploče iverice i utvrđena su njihova fizikalno-mehanička svojstava. Rezultati ispitivanja pokazali su da se bojenjem iverja prije izrade ploča mogu proizvesti ploče zadovoljavajućih fizikalno-mehaničkih svojstava, boljih estetskih svojstava. No, kod ploča izrađenih primjenom bojanog iverja koncentracija slobodnog formaldehida premašila je vrijednosti EN normi za klasu ploča E1. Stoga je glavni zaključak ovoga rada taj da se bojenjem iverja i njegovom primjenom mogu dobiti vrlo zanimljivi pločasti materijali, ali se pri tome mora paziti na usklađenost parametara izrade s karakteristikama, u proizvodnji primijenjenih kemijskih sirovina.</p>

SADRŽAJ

Dokumentacijska kartica	I
Sadržaj	II
Popis slika	IV
Popis tablica	V
1. Uvod	1
2. Cilj istraživanja	2
3. Pregled dosadašnjih istraživanja	3
3.1. Opis metode za izradu ploča iverica iz obojenog iverja	3
3.2. Distribucija smole kod ploča izrađenih od smrekovine te ocjenjivanje dekorativnih panela	4
3.3. Nove dekorativne ploče od usitenjog drva sa naknadno otisnutim površinskim reljefima	6
3.4. Odnos između promjene boje i poboljšanja dimenzijske stabilnosti toplinski tretiranih OSB ploča	8
3.5. Utjecaj drvenih zidnih panela na fiziološke i psihološke reakcije korisnika	9
4. Materijali i metode istraživanja	12
4.1. Ispitivani materijali	12
4.2. Metode istraživanja	14
4.2.1. Osnova za ispitivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava	14
4.2.2. Opis izlaganja uzoraka	15
4.2.3. Ispitivanje svojstava ploča	15
4.2.3.1. Fizikalna svojstva	15
4.2.3.1.1. Određivanje dimenzija	16
4.2.3.1.2. Određivanje gustoće	16
4.2.3.1.3. Utvrđivanje sadržaja vode	16
4.2.3.1.4. Ispitivanje debljinskog bubrenja i upijanja vode	17
4.2.3.2. Mehanička svojstva	18
4.2.3.2.1. Određivanje vlačne čvrstoće	18
4.2.3.2.2. Određivanje savojne čvrstoće	19
4.2.3.3. Ispitivanje koncentracije slobodnog formaldehida	20
4.2.3.3.1. Spektrofotometrijska analiza otopine formaldehida	21

4.2.4. Mjerna oprema	22
4.3. Anketni upitnik	22
4.4. Indeks dizajna	23
4.4.1. Analiza indeksa dizajna	25
5. Rezultati	26
5.1. Gustoća	26
5.2. Sadržaj vode	27
5.3. Debljinsko bubrenje.....	28
5.4. Apsolutno upijanje vode	29
5.5. Relativno upijanje vode	30
5.6. Savojna čvrstoća	31
5.7. Modul elastičnosti.....	32
5.8. Vlačna čvrstoća	33
5.9. Koncentracija slobodnog formaldehida.....	34
5.10. Analiza anketnih upitnika	34
6. Diskusija	38
7. Zaključak... ..	39
8. Literatura... ..	40

POPIS SLIKA

<i>Slika 1: Prikaz izrađenih ploča i različitih površinskih obrada</i>	4
<i>Slika 2: Dekorativna ploča sa iverjem obojanim sa histološkim bojama</i>	5
<i>Slika 3: Dekorativna ploča izrađena od iverja bojanog sa orahovim bojilom</i>	6
<i>Slika 4: Utisnuta čelična matrica na ploču</i>	7
<i>Slika 5: Krajnji rezultat - ploča sa otisnutom površinom</i>	7
<i>Slika 6: Početak testiranja - ispitanik pred bijelom zavjesom (kontrolno ispitivanje)</i>	10
<i>Slika 7: Ispitanik pred bijelim čeličnim zidnim panelima</i>	10
<i>Slika 8: Ispitanik pred drvenim zidnim panelima</i>	11
<i>Slika 9: Proces bojenja iverja i njegovog ispiranja</i>	12
<i>Slika 10: Sušenje iverja</i>	12
<i>Slika 11: Osušeno iverje</i>	13
<i>Slika 12: Gotove ploče</i>	13
<i>Slika 13: Princip ispitivanja i postavke uređaja za ispitivanje čvrstoće raslojavanja</i>	19
<i>Slika 14: Princip ispitivanja i postavke uređaja za ispitivanje savojne čvrstoće</i>	20
<i>Slika 15: Primjer opremanja dućana</i>	23
<i>Slika 16: Primjena ploča za izradu polica - bojanje ploča</i>	23
<i>Slika 17: Primjena ploče za rasvjetno tijelo</i>	24
<i>Slika 18: Primjena ploča u spavaćim sobama</i>	24
<i>Slika 19: Grafički prikaz vrijednosti gustoća ispitnih uzoraka</i>	26
<i>Slika 20: Grafički prikaz vrijednosti sadržaja vode ispitnih uzoraka</i>	27
<i>Slika 21: Grafički prikaz vrijednosti debljinskog bubrenja ispitnih uzoraka</i>	28
<i>Slika 22: Grafički prikaz vrijednosti apsolutnog upijanja vode ispitnih uzoraka</i>	29
<i>Slika 23: Grafički prikaz vrijednosti relativnog upijanja vode ispitnih uzoraka</i>	30
<i>Slika 24: Uzorci ploča nakon izlaganja djelovanju vode kroz 24 sata – postojanost boje</i>	30
<i>Slika 25: Grafički prikaz vrijednosti savojne čvrstoće ispitnih uzoraka</i>	31
<i>Slika 26: Grafički prikaz vrijednosti modula elastičnosti ispitnih uzoraka</i>	32
<i>Slika 27: Grafički prikaz vrijednosti vlačne čvrstoće ispitnih uzoraka</i>	33

Slika 28: Presjek uzoraka nakon ispitivanja čvrstoće raslojavanja	33
Slika 29: Primjerenost uporabe ploče u interijeru	34
Slika 30: Primjena ploče u domu ispitanika	35
Slika 31: Prostor primjene	35
Slika 32: Oblik primjene	36
Slika 33: Opis ploče navedenim pojmovima	37

POPIS TABLICA

Tablica 1: Normirane vrijednosti mehaničkih svojstava ploča iverica za opću uporabu u suhim uvjetima (tip P1)	14
Tablica 2: Normirane vrijednosti mehaničkih svojstava ploča iverica za uporabu u interijeru u suhim uvjetima uključujući izradu namještaja (tip P2)	14
Tablica 3: Vrijednosti gustoće ispitnih uzoraka ploča	26
Tablica 4: Vrijednosti sadržaja vode ispitnih uzoraka ploča	27
Tablica 5: Vrijednosti debljinskog bubrenja ispitnih uzoraka ploča.....	28
Tablica 6: Vrijednosti apsolutnog upijanja vode ispitnih uzoraka ploča	29
Tablica 7: Vrijednosti relativnog upijanja vode ispitnih uzoraka ploča	30
Tablica 8: Vrijednosti savojne čvrstoće ispitnih uzoraka ploča	31
Tablica 9: Vrijednosti modula elastičnosti ispitnih uzoraka ploča.....	32
Tablica 10: Vrijednosti vlačne čvrstoće ispitnih uzoraka ploča	33
Tablica 11: Vrijednosti koncentracije slobodnog formaldehida u ispitanim uzorcima ploča.....	34

PREDGOVOR

"Lucija, pamet u glavu!"

~Stjepan Brglez

Hvala profesoru Jambrekoviću što je prihvatio moju temu za diplomski rad čime je moja ideja bila realizirana.

Veliko hvala asistentu Španiću što mi je dao potporu, usmjeravao me i učinio sve kako ideja diplomskog rada ne bi ostala samo slovo na papiru.

Hvala svim profesorima i kolegama koji su moje fakultetsko vrijeme upotpunili lijepim uspomenama.

Hvala mojim prijateljima i obitelji koji su mi bili beskrajna podrška.

Hvala mami i bratu jer su uvijek tu za mene.

Hvala mom Lovri.

Tati...

1. Uvod

Ploče iverice izrađene od makro iverja (OSB i QSB) široke su primjene, no njihova osnovna primjena je u građevinske svrhe; koriste se kao zidni te krovni paneli, podovi, kao ambalaža za pakiranje raznih proizvoda i slično. Međutim, korištenje ovih tipova ploča signifikantno raste te one sve više zamjenjuju furnirske ploče, pa osim u visokogradnji poprimaju važnost i u proizvodnji namještaja.

Kako bi se mjesto i tip primjene ploča iz makroiverja proširio važno je takvu ploču napraviti privlačnom svim dobnim skupinama. Literatura sugerira da se potonje navedeno može ostvariti naknadnim bojenjem ploča. No, to ima svoje nedostatke. Bojanjem gotove ploče zatvara joj se površina te struktura drva nije u potpunosti vidljiva, a ujedno ne omogućava korištenje više boja, pa ploče mogu biti isključivo jednobojne.

Stoga se u ovom diplomskom radu bojenjem iverja prije izrade jednoslojnih ploča iverica iz strand iverja (QSB), željelo utjecati na estetska svojstva gotovih ploča. Na taj način zadržala se vidljiva struktura drva, a ostvaruje se i mogućnost korištenja većeg broja boja. Podizanjem metoda opisanih u sklopu ovog diplomskog rada s eksperimentalne, laboratorijske razine na industrijski nivo, omogućilo bi se sudjelovanje krajnjeg korisnika u kreiranju vlastite ploče – ploča se može formirati iz boja koje budući korisnik želi čime dobiva unikatnu ploču sasvim novih estetskih svojstava.

2. Ciljevi istraživanja

Cilj ovog eksperimentalnog rada bio je napraviti novi proizvod na tržištu – eksperimentalnu ploču novih estetskih svojstava. Obzirom da bi takva ploča imala primjenu u interijeru vrlo je važno ispitati sva fizikalno-mehanička svojstva te koncentraciju slobodnog formaldehida. Napravljene su tri različite ploče na kojima je provedeno ispitivanje.

Cilj istraživanja i razvoja eksperimentalne ploče realiziran je kroz nekoliko međusobno povezanih faza:

- bojanje industrijski proizvedenog drvnog iverja, bojom za tekstil,
- izrada ploča - ploča izrađena od industrijskog iverja, ploča izrađena sa 5 % obojanog iverja (5 % svake boje) te ploča izrađena sa 10 % obojanog iverja (10 % svake boje),
- krojenje ploča na dimenzije uzoraka 50 x 50 x d (mm) za ispitivanje gustoće, sadržaja vode, debljinskog bubrenja te vlačne čvrstoće,
- krojenje ploča na dimenzije uzoraka 250 x 50 x d (mm) za ispitivanje savojne čvrstoće,
- mjerenje dimenzija i mase uzoraka – potrebnih za izračun gustoće, sadržaja vode, debljinskog bubrenja, vlačne i savojne čvrstoće,
- sušenje uzoraka u sušioniku i potapanje uzoraka u vodu kroz 24 sata,
- ispitivanje uzoraka nakon sušenja i potapanja u vodu,
- ispitivanje mehaničkih svojstava na kidalici,
- statistička obrada i tumačenje dobivenih podataka s diskusijom,
- zaključci o specifičnostima pojedine vrste ploče i razlikama njihovih svojstava.

U sklopu istraživanja provedena je i anketa kako bi se dobila informacija od potencijalnih korisnika o eksperimentalnoj ploči s obojanim iverjem i njezinoj eventualnoj primjeni.

3. Pregled dosadašnjih istraživanja

Dosadašnja istraživanja koja uključuju bojenje drvenog iverja gotovo i ne postoje ili su vrlo rijetka. Neka od takvih istraživanja bave se bojenjem drvenog iverja raznim bojama, te pokazuju rezultate takve vrste obojenja. Također, postoje istraživanja koja pokazuju promjenu površinskog sloja OSB ploča uslijed termičkog tretiranja te su uspoređeni rezultati u ovisnosti o korištenoj temperaturi prilikom tretmana. Nađena su i istraživanja koja raznim površinskim tretiranjima mijenjaju površinski sloj ploče kako bi mu dali neko drugo estetsko svojstvo. Također, proučena su i istraživanja o efektima koje zidni paneli proizvedeni od različitog materijala, ostavljaju na čovjeku.

3.1. Opis metode za izradu ploča iverica iz obojenog iverja

Autori Thornber i Wrangham, (1976) godine proveli su istraživanje koje pokazuje nastanak dekorativnih ploča od usitnjenog drva u koju su ukomponirana obojena drvena iverja. Obojena iverja tvore čitavu ploču ili samo površinski sloj, a iverja su obojena u jednu ili više različitih boja. Širok izbor efekata moguć je obzirom na veličinu i oblik iverja, izbor boja, površinsko tretiranje te ujednačavanje ploče sa obojanim iverjem. Autori opisuju postupak izrade dekorativne ploče od usitnjenog drva kao izradu koja se sastoji od obojenja barem dijela odabranog drvenog iverja, sušenja svog izabranog iverja, zatim formiranja sendviča od odabranog iverja uključujući i obojano iverje koje tvori barem površinski sloj jednog lica ploče zajedno sa odabranim ljepilom, te na kraju vrućeg prešanja ploče iza kojeg slijedi i brušenje same ploče.

U skladu sa izumom autora, primjeri obojanih ploča od usitnjenog drva izvedeni su u tri primjerka u kojem je prikazana jedna ploča bez brušenja, te dvije ploče nakon brušenja površinskog sloja. Autori ne napominju koju vrstu boje koriste za obojenje iverja, već samo da su korištene plava, zelena, žuta i smeđa boja. No, napominje se kako je važno izabrati bojilo koje mora imati prihvatljivu otpornost na svjetlo te otpornost na blijedenje uzrokovano plinom. Brušenje koje slijedi nakon formiranja ploče zaglađuje površinu te tako eliminira praznine i izlaže područja različite nijanse boje pa se tako formira površina ploče sa mramornim finišem. Također, ploču je moguće površinski zaštititi lakom, uljem ili nekim drugim transparentnim premazom. Takav premaz pojačava boju te kontrast brušenog iverja, a sama se ploča može lako obnoviti novim brušenjem.

Estetski ugodan učinak moguće je postići i miješanjem obojanog iverja sa iverjem drva koje je prirodno jačeg obojenja, kao što je ebanovina ili orahovina. Ovaj izum nije ograničen za određenu svrhu korištenja obojene ploče, već se može koristiti kao zidna oplata, za podove, namještaj i slično.



Slika 1: Prikaz izrađenih ploča i različitih površinskih obrada

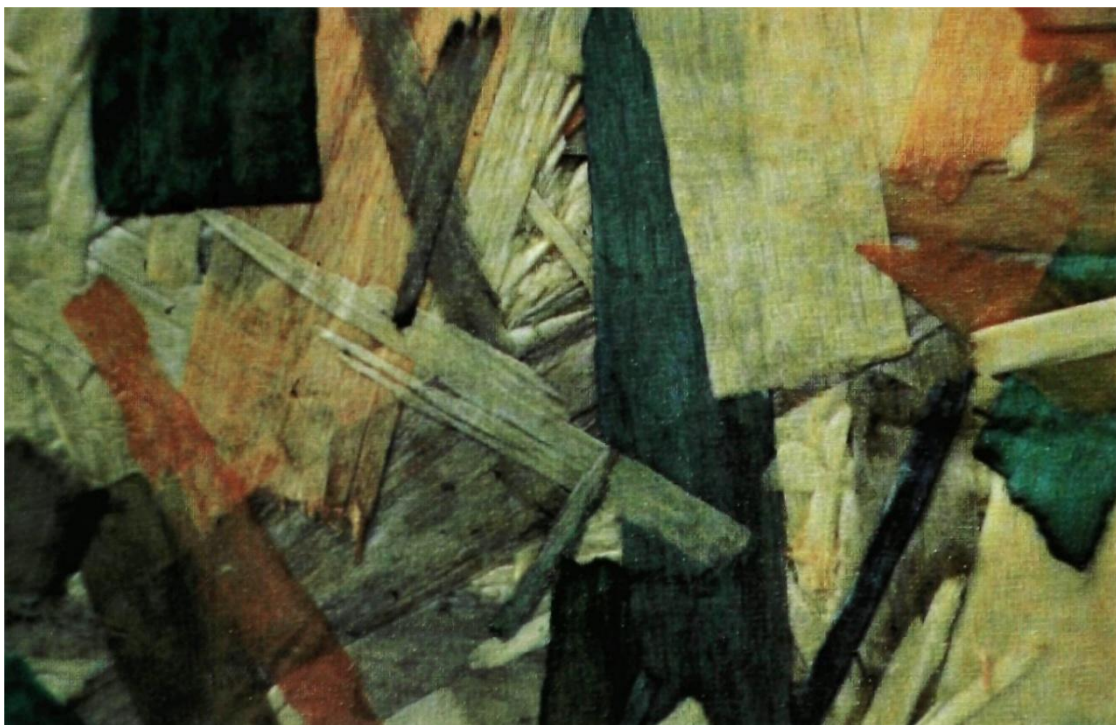
3.2. Distribucija smole i procjena estetskih svojstava OSB ploča izrađenih iz smrekovine

U istraživanju koje su proveli Kelly, Kutscha i Shuler (1975), standardno tekuće ljepilo urea formaldehid koristilo se u proizvodnji strand ploča od smrekovog iverja. Svojstva smole kao što je način apliciranja, njegova viskoznost, sadržaj vlage te period apliciranja korisni su za formiranje dobrog nanosa smole. Prosječan promjer kapljice iznosio je oko 20 mikrona, dok je prosječna pokrivenost drvene površine smolom iznosila 8,05 %. Raspodjela smole mikroskopski gledano pojavila se u obliku "točaka" te isprekidanih linija ljepila. Korištenje raznih histoloških i komercijalnih bojila učinkovito je u proizvodnji dekorativnih panela.

Različite fluorescentne i ne-fluorescentne boje se dodaju u ljepilo prije nanošenja ljepila na iverje. Slučajno odabrano iverje bilo je analizirano pomoću svjetla te sa fluorescentnim mikroskopom kako bi se odredila veličina kapljice ljepila te prosječna pokrivenost na drvenom iverju. Daljnja opažanja u istraživanju provedena su za procjenu svojstava vezivanja unutar panela te eventualnih dekorativnih mogućnosti gotovih ploča.

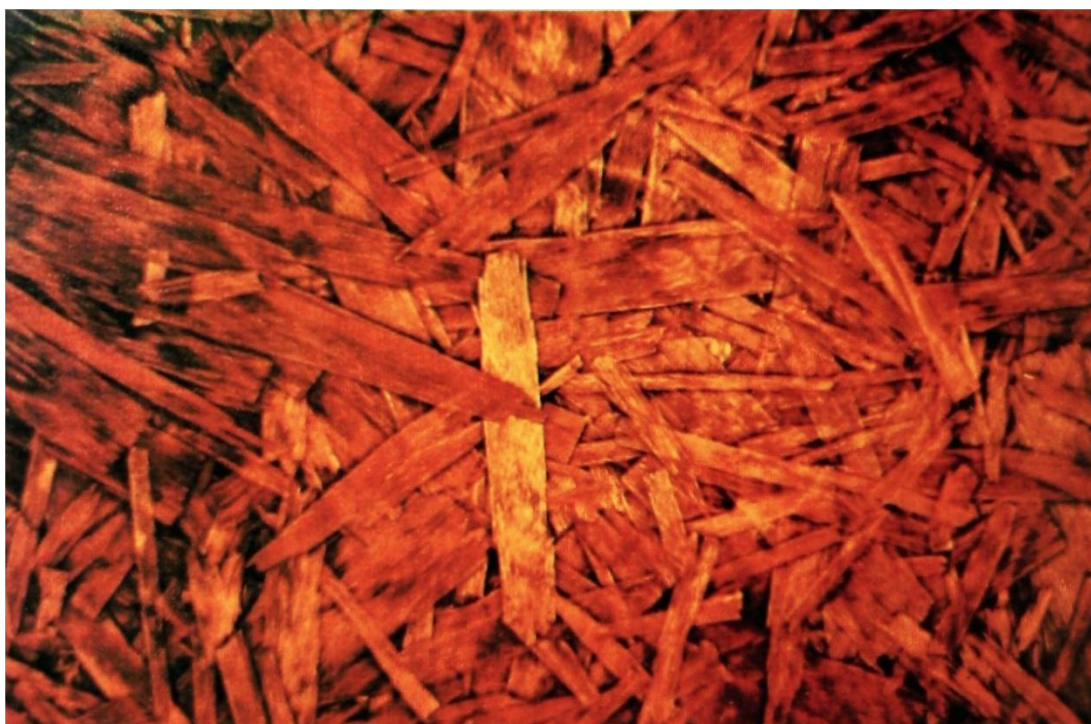
Prije nanošenja smole, razna bojila dodana su u smolu. Dva panela izrađena su sa korištenjem 1.0 i 2.0 % anilin plavog bojila, na temelju ukupne mase adheziva. U sljedeća dva ciklusa miješanja dodana su fluorescentna bojila, coriphosphine O te rodamin B. Koncentracija coriphosphine-a O iznosila je 0,1 % od cjelokupne količine smole, a koncentracija rodamina B iznosila je 0.6 %. Odmah nakon nanosa ljepila sa bojom, uzorci iverja uklonjeni su iz miješalice nasumično. Ovi uzorci iverja korišteni su samo za proučavanje veličine kapljica korištene smole te postotak pokrića na nanošeno područje. Nikakva fizikalna testiranja nisu provedena na pločama koje sadrže obojano iverje.

U istraživanju je ocjenjen potencijal dekorativne ploče izrađene od smrekovog iverja kao zidni panel. Histološka bojila uključujući i metil narančastu, zelenu, ljubičastu te crvenu korištene su za bojanje iverja gdje se 1 % koncentrata pomiješao sa vodom. Obojano iverje smješteno je u miješalicu kako bi se dobile ukrasne ploče i različite kombinacije boja. Ploče su završno obrađene teksturom oraha, te je primijenjeno tamno ulja hrasta i tamnjenje na suncu. Lak sa satenskim sjajem korišten je kako bi prikazao detalje drvnog presjeka na obojanim drvenim panelima.



Slika 2: Dekorativna ploča sa iverjem obojanim sa histološkim bojama

Prikazane slike ploča pokazuju potencijal smrekovih ploča kao dekorativnih zidnih panela. Razna histološka bojila kao što su metil narančasta, zelena te ljubičasta korištene su kod jedne vrste ploča, a kod druge vrste korištena je komercijalno bojilo oraha koje je topivo u vodi, te su time proizvedene interesantni te unikatni uzorci na pločama. Fleksibilnost boja mogla bi biti korisna prilikom korištenja ploča u kući. Ploče izrađene od iverja obojanog sa rodaminom B te fluorescentnim bojilom mogle bi se eventualno koristiti u objektima kao što su noćni klubovi koji koriste crnu (ultraljubičastu) rasvjetu. Razne drvene boje, oraha ili tamnoga hrasta, mogle bi se koristiti kako bi naglasile iverje i presjeke jer bi mijenjali ton boje duž panela.



Slika 3: Dekorativna ploča izrađena od iverja bojanog sa orahovim bojilom

3.3. Nove dekorativne ploče od usitnjenog drva sa naknadno otisnutim površinskim reljefima

Istraživanje autora Klimek i suradnika (2014), govori o razvoju jednoslojnih ploča od usitnjenog drva sa 3D utisnutim površinskim reljefom. Utisak je izvršen kao završni korak obrade tijekom proizvodnje ploče, a izveden je pomoću šesterokutne čelične šablone pod visokim tlakom. Uz pravilnu primjenu površinskih premaza takva ploča može se koristiti kao zidna ili stropna obloga ili kao ploča za proizvodnju dekorativnih predmeta.

Cilj istraživanja autora Klimek i sur., bio je razviti ploču na koju je na obje strane površinski bio otisnut heksagonalni uzorak, kako bi se stvorila ploča sa trodimenzionalnom površinom. Ploča na koju je vršeno utiskivanje bila je jednoslojna ploča tipa P2 (isporuka Kronospan) debljine 12, 15 i 18 mm. Utiskivanje šesterokutnog čeličnog uzorka učinjeno je naknadno na ploču. Uzorci jednoslojnih ploča termički su tretirane 15 minuta na 150 °C prilikom kojeg je bila aplicirana sila i utiskivanje čelične šablone.



Slika 4: Utisnuta čelična matrica na ploču

Ispitana je promjena svojstava takve ploče. Rezultati ispitivanja pokazuju kako se zbog 3D otiska modul elastičnosti i modul nosivosti smanjio za 2/3 do 3/4 u usporedbi sa kontrolnim vrijednostima. Ploča debljine 12 mm ima smanjen modul elastičnosti za 80 %, a modul nosivosti za 70 %. Mehanička svojstva smanjena su uglavnom zbog teških strukturnih deformacija nastalim nakon pritiska, međutim, mehanički integritet nije se u potpunosti izgubio. Otisak je značajno promijenio strukturu ploče, no minimum unutarnjeg mehaničkog integriteta ploče ipak ostaje. Jasno je kako ova vrsta ploče nije pogodna za uporabu u područjima koje zahtijevaju veće čvrstoće. Ipak, ova vrsta ploče može biti pogodna za primjenu zidnih i stropnih obloga ili proizvodnju nekih dekorativnih predmeta. Sa utisnutom šablonom dobivena je ploča novih estetskih svojstava koja povećava konkurentnost ploča od usitnjenog drva te otvara mogućnost razvoja na tržištu.



Slika 5: Krajnji rezultat - ploča sa otisnutom površinom

3.4. Odnos između promjene boje i poboljšanja dimenzijske stabilnosti toplinski tretiranih OSB ploča

Vrlo perspektivnu metodu poboljšanja dimenzijske stabilnosti OSB ploča proučavao je u Brazilu od 2001. godine autor Del Menezzi. Prema toj metodi, ploča je toplinski tretirana u blagim uvjetima koristeći vruću prešu. Dobiveni rezultati pokazuju poboljšanje dimenzijske stabilnosti, bez nepovoljnog utjecaja na mehanička svojstva, a da je pritom boja ploče izmijenjena. Cilj rada bio je procijeniti odnos između promjene boje i poboljšanja dimenzijske stabilnosti termički obrađenih OSB ploča.

Uzorci 36 komercijalnih OSB ploča bili su toplinski tretirani u preši na dvije različite temperature (190 i 200°C) i tri različita vremena prešanja (12, 16 i 20 minuta). Boja tretiranih uzoraka mjerena je prije i poslije toplinske obrade u skladu s CIE L*a*b* sustavom pomoću Datacolor Microflash D200 spektrofotometra (uređaju je kut postavljen na 10° te svjetlost na D65). Dobivene su sljedeće varijable: svjetlina (L*), crvenilo (a*), modrina (b*), nijansa (h) i kromatičnost (C). Izračunate su razlike boja (ΔE^*) i razlike kromatičnosti (ΔC^*). Uzorci su ispitani u skladu s ASTM D1037 za procjenu debljine bubrenja i apsorpciju vode nakon natapanja uzoraka u vodi 24 sata. Trajna debljina bubrenja i ravnotežni sadržaj vlage također je određen.

Pronađene su čvrste veze između kolorimetrijskih varijabli i svojstava vezanih za dimenzijsku stabilnost. Kako je ploča postala tamnija, varijabla L* je smanjena, a učinkovitost otpornosti na skupljanje se povećala. Utvrđeno je da varijabla vezana uz izmjenu boje (ΔE^*) ima obrnuti odnos sa trajnom debljinom bubrenja i ravnotežnim sadržajem vlage. Na kraju, može se zaključiti da je mjerenje boje pogodna metoda za predviđanje poboljšanja dimenzijske stabilnosti OSB ploča postignutih predloženim toplinskim post-obradama. Učinkovitost otpornosti na skupljanje poboljšana je kako površine ploča postaju tamnije, drugim riječima, ploče gube na svjetlini (L*). To znači da je debljina bubrenja tretiranih ploča smanjena uspoređujući s netretiranim pločama što je intenzivniji proces tamnjenja. Isti je trend zabilježen za varijablu b*: ploči se uz žutilo smanjuje i debljina bubrenja (otpornost na skupljanje je poboljšano). Poboljšanje dimenzijske stabilnosti povećava se sa intenzivnijim promjenama boje (veća vrijednost ΔE^*): tu je direktna veza između tih parametara. Del Menezzi i Tomaselli (2006) pronašli su kako gubitak mase u paru sa toplinskim tretmanom ima veliku korelaciju sa ravnotežnim sadržajem vlage te natapanjem uzoraka u vodi 24 sata.

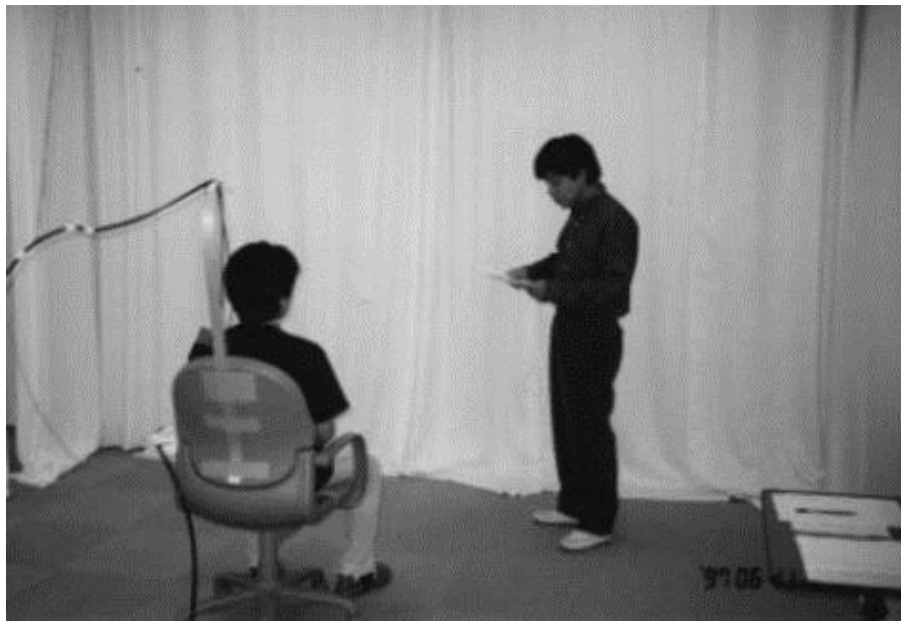
3.5. Utjecaj drvenih zidnih panela na fiziološke i psihološke reakcije korisnika

Koristeći drvene (drvo Hinoki pačempresa (*Chamaecyparis obtusa*)) i bijele čelične zidne panele autori Sakuragawa i dr. (2005) istraživali su učinak vizualne stimulacije na tijelu.

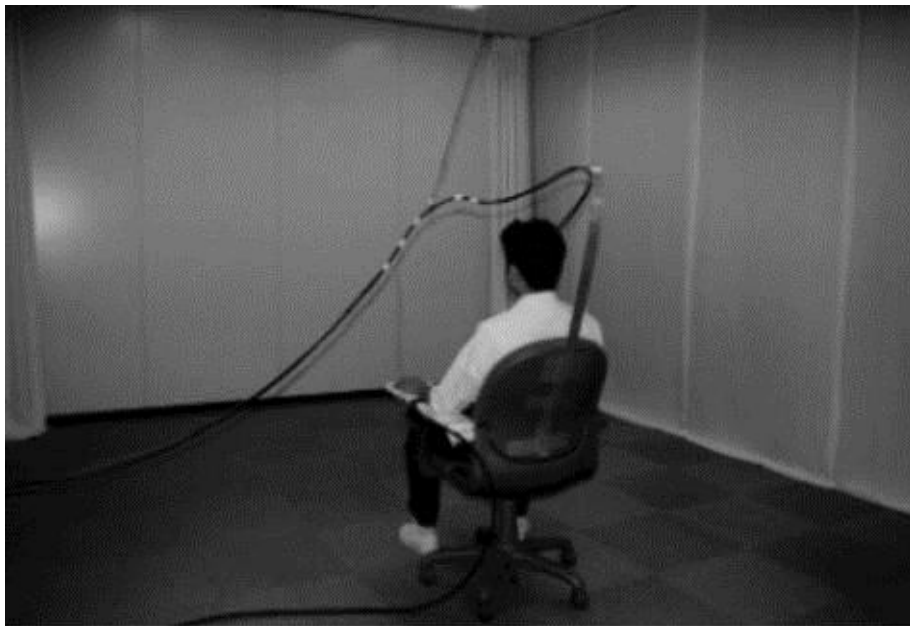
Kontinuirano mjerenje krvnog tlaka korišteno je kao fiziološki pokazatelj. Kako bi se utvrdile promjene u psihološkom dojmu provedeno je senzorno ocjenjivanje pomoću semantičke diferencijalne metode te testa stanja raspoloženja. Rezultati su pokazali da vizualne stimulacije iz drvenih panela imaju emotivan i prirodan dojam na ljude. Krvni tlak značajno je smanjen kod pacijenata kojima se sviđao takav drveni panel, a oni kojima se nije sviđio nema značajnog povećanja krvnog tlaka. Vizualna stimulacija iz bijelog čeličnog zidnog panela ostavio je nezdrav i zatvoren dojam te je povećao osjećaj depresije. Osim toga, onima kojima se taj panel nije sviđio izražen je porast krvnog tlaka kod ispitanika, ali i pojava stresa.

Prema tome, vizualne stimulacije drvenog i bijelo čeličnih zidnih panela imali su različite psihološke i fiziološke učinke, a rezultati variraju ovisno o vrijednostima ispitanog pojedinca. Testiranje se provodilo u laboratoriju površine 22 m², u kojem je bio postavljen zid za ispitivanje (dimenzija 2670 mm visine i 600 mm širine). Ispred panela za ispitivanje bila je postavljena bijela pamučna zavjesa, koja je zaklanjala površinu do početka ispitivanja. Predviđene su tri situacije ispitivanja: prikaz bijele zavjese (kontrolno ispitivanje), prikaz bijelog čeličnog zidnog panela te prikaz drvenog zidnog panela. Redoslijed prikazivanja ovih situacija bio je nasumičan. Eksperiment je izveden u prostoru pri 21-23°C, relativne vlažnosti zraka 50-60% te osvjetljenja od oko 350 luksa.

U ispitivanju je sudjelovalo 14 zdravih muških studenata. Ispitanici su dobili dovoljno informacija o ciljevima i postupku eksperimenta. Ispitanik je sjedio na rotirajućoj stolici u središtu laboratorija i gledao je prema zidu, a senzor za fiziološko mjerenje bio je priključen za njega. Ponuđeno je osamnaest parova epiteta (toplo, bezbrižno, ugodno, zanimljivo, mirno, ukusno, stabilno, prirodno, puno raznolikosti, sjajno, mekano, ne izaziva tjeskobu, prijateljski, zdravo, lijepo, svježije, otvoreno i sofisticirano) koji su korišteni za senzorsko vrednovanje po semantičkoj diferencijalnoj metodi. Procjena se temeljila na skali od sedam razina, od -3 do +3. Osim toga, procjena sviđa/ne sviđa također se temeljila na skali od sedam razina.



Slika 6: Početak testiranja - ispitanik pred bijelom zavjesom (kontrolno ispitivanje)



Slika 7: Ispitanik pred bijelim čeličnim zidnim panelima



Slika 8: Ispitanik pred drvenim zidnim panelima

Rezultati ispitivanja pokazuju kako:

1. drveni zidni paneli stvaraju prirodne i raznolike dojmove i smanjuju depresiju te potištenost; sistolički krvni tlak značajno je smanjen kod grupe ispitanika koja je drveni zidni panel pozitivno ocijenila, a nikakav stres nije primijećen u ispitnoj skupini koja je negativno ocijenila drvenu zidnu oblogu,

2. bijeli čelični zidni paneli stvaraju nezdrav i nov osjećaj, povećava depresiju te utučenost, a smanjuje energiju; sistolički krvni tlak znatno je povećan kod ispitne skupine koja je negativno ocijenila čeličnu zidnu oblogu, što rezultira značajnim stresom.

4. Materijali i metode istraživanja

4.1. Ispitivani materijali

Istraživanje je provedeno na jednoslojnim pločama ivericama iz strand iverja (tip P2). Proizvedene su tri vrste ploča: ploča od industrijskog iverja (kontrolna ploča), ploča sa 5 % obojanog iverja te ploča sa 10 % obojanog iverja. Korištene su četiri boje za bojanje iverja: crvena, zelena, plava i ljubičasta, od čega je u proizvodnji ploča korišteno 5 % odnosno 10 % iverja svake zasebne boje.

Bojilo koje se koristilo za bojanje drvenog iverja je Simplicol – boja za tekstil (bojilo na bazi natrij metasilikata). Bojanje je vršeno na sljedeći način: u 10l vode (temperature min. 35 °C) prvo je stavljen fiksator (400 g) koji je bio u vodi 5 minuta dok se u potpunosti nije otopio. Zatim je dodana boja (200 ml) te iverje (800 g). Čitava smjesa je promiješana te je iverje ostavljeno u bojilu 90 minuta. Nakon toga iverje je isprano pod hladnom vodom te ostavljeno na podlozi da se suši.



Slika 9: Proces bojenja iverja i njegovog ispiranja (Foto: Španić, 2016.)



Slika 10: Sušenje iverja (Foto: Brglez, 2016.)

Iverje je nakon sušenja imalo 13-18 % sadržaja vode te je stavljeno u sušionik na 100 °C kroz 24 sata gdje mu je sadržaj vode iznosio između 5,13 - 6,78 %.



Slika 11: Osušeno iverje (Foto: Španić, 2016.)

Industrijsko iverje pomiješano je sa prethodno obojanim iverjem i dodatkom odgovarajuće KF smole u unaprijed određenim količinama potrebnim za prešanje jedne ploče. Prešanje ploče trajalo je 7 minuta, na temperaturi od 155 °C i od 3,5 MPa. Nominalna debljina ploča bila je 14 mm.



Slika 12: Gotove ploče (Foto: Brglez, 2016)

Uzorkovanje i krojenje uzoraka obavljeno je u skladu s odrednicama HRN EN normi vezanih uz ispitivanja fizikalno-mehaničkih svojstava drvnih ploča. Ispitivani uzorci prije ispitivanja moraju biti kondicionirani tj. prilagođeni uvjetima od 65 ± 5 % relativne vlage zraka pri temperaturi 20 ± 2 °C. Uzorak se prilagođava sve dok ne postigne konstantnu masu. Konstantna masa se postiže kada rezultati dva uzastopna vaganja, provedena u razmaku od 24 sata, ne odstupaju više od 0,1 % mase ispitnog uzorka. U ovom ispitivanju koristilo se veći broj uzoraka (10 uzoraka) u svrhu dobivanja što preciznijih i vjerodostojnijih rezultata.

4.2. Metode istraživanja

4.2.1. Osnova za ispitivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava

Ispitivanje je provedeno na osnovi odrednica norme HRN EN 210:2012 Ploče iverice – Specifikacije (EN 312:2010).

Tablica 1: Normirane vrijednosti mehaničkih svojstava ploča iverica za opću uporabu u suhim uvjetima (tip P1)

Normirana svojstva	Normirane vrijednosti							
	Debljinski razredi (mm)							
	<3	3-6	>6-13	>13-20	>20-25	>25-32	>32-40	>40
Savojna čvrstoća (N/mm ²)	11,5	11,5	10,5	10	10	8,5	7	5,5
Čvrstoća raslojavanja (N/mm ²)	0,31	0,31	0,28	0,24	0,20	0,17	0,14	0,14

Tablica 2: Normirane vrijednosti mehaničkih svojstava ploča iverica za uporabu u interijeru u suhim uvjetima uključujući izradu namještaja (tip P2)

Normirana svojstva	Normirane vrijednosti							
	Debljinski razredi (mm)							
	<3*	>4-6	>6-13	>13-20	>20-25	>25-32	>32-40	>40
Savojna čvrstoća (N/mm ²)	13	12	11	11	10,5	9,5	8,5	7
Modul elastičnosti savojne čvrstoće (N/mm ²)	1800	1950	1800	1600	1500	1350	1200	1050
Čvrstoća raslojavanja (N/mm ²)	0,45	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,20
Međuslojna čvrstoća (N/mm ²)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

* iste vrijednosti ima i debljinski razred od 3-4 mm, koji je zbog preglednosti ispušten iz tablice

4.2.2. Opis izlaganja uzoraka

Ispitni uzorci su podijeljeni u 4 skupine po 10 uzoraka za sve tipove ploča (10 uzoraka 50×50 mm za ispitivanje vlačne čvrstoće i 10 uzoraka 250×50 mm za ispitivanje savojne čvrstoće), te po 10 uzoraka za ispitivanje debljinskog bubrenja (dimenzija 50×50 mm) i 10 uzoraka za ispitivanje sadržaja vode, gustoće i dimenzija (50×50 mm). Prva skupina uzoraka tretirala se u sušioniku, druga skupina tretirana je potapanjem uzoraka, na trećoj skupini uzoraka ispitivana je savojna čvrstoća, a na četvrtoj skupini uzoraka ispitivana je vlačna čvrstoća. Dodatni uzorci ploča koristili su se za ispitivanje emisije slobodnog formaldehida. Prije tretiranja u sušioniku te izlaganja potapanju, uzorcima su izmjerene dimenzije i masa, a nakon izlaganja im je izmjerena i dimenzija i masa jer je tretiranjem došlo do promjena dimenzija i mase ispitanih uzoraka.

4.2.3. Ispitivanje svojstava ploča

Svojstva ispitana na uzorcima ploča mogu se podijeliti u dvije skupine:

- fizikalna svojstva
 - dimenzije
 - gustoća
 - sadržaj vode
 - debljinsko bubrenje (Q-24)
- mehanička svojstva
 - savojna čvrstoća
 - vlačna čvrstoća
- određivanje koncentracije slobodnog formaldehida

4.2.3.1. Fizikalna svojstva

Od fizikalnih svojstava ispitana je gustoća, dimenzije te debljinsko bubrenje (Q-24). Ispitivanja su provedena prema ovoj normi:

- dimenzije – HRN EN 324-1:1993 Ploče na osnovi drva – Određivanje dimenzija ploča-1. dio: određivanje debljine, širine i duljine (EN 324-1:1993),
- gustoća – HRN EN 323:1997 Ploče na osnovi drva – Određivanje gustoće (EN 323:1993),

- debljinsko bubrenje – HRN EN

4.2.3.1.1. Određivanje dimenzija

Pri određivanju dimenzija, potrebno je odrediti debljinu, duljinu i širinu. Za mjerenje vrijednosti debljine koristi se mikrometarski vijak (u ovom radu digitalni mikrometarski vijak). To je mjerni instrument koji mjeri s točnošću od stotinke milimetra. Mjerenje debljine vrši se umetanjem uzorka i laganim pritezanjem ploha mjernog instrumenta, najprije pomoću kraja vijka za grubo okretanje, a zatim finim pritezanjem čekrkom. Za mjerenje duljine i širine služi pomična mjerka (mjerilo). Pomična mjerka je mjerni instrument kojim je ostvarena mogućnost mjerenja s točnošću od desetinke milimetara. Mjerenje duljine pomičnom mjerilom vrši se pomicanjem i laganim stezanjem ploha mjernog instrumenta na mjerni uzorak. Na ljestvici tijela očitavaju se puni milimetri, dok se na skali noniusa očitavaju desetinke milimetra.

4.2.3.1.2. Određivanje gustoće

Gustoća je određena na kondicioniranim uzorcima. Od svake skupine ploča ispitano je 10 uzoraka, kvadratnog oblika sa dimenzijama 50 × 50 mm. Svakom ispitnom uzorku izmjerena je masa preciznom vagom s točnošću od 0,01 g. Masa uzoraka je mjerena po kondicioniranju. Uz masu, izmjerene su dimenzije i izračunata je gustoća. Gustoća se izražava kao omjer mase i volumena ploče, prema formuli:

$$\rho = \frac{m_u}{V}$$

....(1)

ρ – gustoća ispitnog uzorka, g/cm³
 m_u – masa ispitnog uzorka, g
 V – volumen ispitnog uzorka, cm³

4.2.3.1.3. Utvrđivanje sadržaja vode

Ispitni uzorci uza mjerenje sadržaja vode dimenzija su 50 × 50 mm, pri čemu se koristilo 10 ispitnih uzoraka za svaku vrstu ploče. Cilj je ispitivanja utvrditi količinu vode u ploči u trenutku ispitivanja. Kod pločastih materijala na bazi drva primjenjuje se gravimetrijska metoda (metoda vaganja).

Masa ispitnih uzoraka izmjeri se vagom s dopuštenim odstupanjem od ± 0,05 g. Ispitni uzorci zatim se stavljaju u sušionik i suše pri konstantnoj temperaturi od 103 ± 2°C, dok sva voda ne ispari iz uzorka, odnosno do konstantne mase. Uzorci se nakon

24 sata vade iz sušionika te im se ponovno mjeri masa. Sadržaj vode u uzorcima izrazit će se kao:

- relativna vlažnost (u_r) i izračunava se na osnovi razlike mase uzorka u zrakosuhom stanju i apsolutno suhom stanju prema:

$$u_r = \frac{m_u - m_o}{m_o} \times 100 \quad \dots(2)$$

u_r – relativna vlažnost, %

m_u – masa klimatiziranog uzorka prije sušenja, g

m_o – masa klimatiziranog uzorka nakon sušenja, g

4.2.3.1.4. Ispitivanje debljinskog bubrenja i upijanja vode

Debljinsko bubrenje i upijanje vode utvrđuje se zbog spoznaje o ponašanju ploča pri promjenama vage zraka ili direktnog utjecaja vode, u uvjetima uporabe. Za ispitivanje je potrebna slijedeća oprema: kada s vodom, uređaj za potapanje u vodu, sito za cijedenje, mjerila (pomično mjerilo, mikrometar i vaga).

Određivanje debljinskog bubrenja vršilo se potapanjem 10 uzoraka svake od izrađenih ploča dimenzija 50 × 50 mm u vodu. Uzorcima prethodi klimatizacija, te se njima izmjeri masa i debljina i nakon toga se uzorci potapaju u kadu s vodom. Klimatizirani uzorci potapaju se u okomitom položaju u vodu temperature $20 \pm 1^\circ\text{C}$ i drže se potopljeni u vodi 24 sata. Uzorci se međusobno ne smiju dodirivati, pa niti sa stjenkom posude i moraju čitavom svojom površinom biti potopljeni pod vodom (ne smiju isplivati). Razina vode iznad uzoraka je oko 25 mm. Nakon propisana vremena uzorci se vade iz vode i stavljaju na žičanu mrežicu na cijedenje kroz 10 minuta. Uzorci se zatim važu te im se mjeri dimenzija.

Debljinsko bubrenje (Q-24) razlika je debljine ispitanog uzorka nakon klimatizacije (prije tretmana) i njegove debljine nakon potapanja u vodu. Izražava se s točnošću od 0,1 mm, a računa se prema formuli:

$$Q-24 = \frac{d_o - d_u}{d_u} \times 100 \quad \dots(3)$$

Q-24 – debljinsko bubrenje nakon 24 sata izlaganja, %

d_o – debljina ispitanog uzorka nakon tretmana, mm

d_u – debljina klimatiziranog ispitanog uzorka, mm

Apsolutno upijanje vode (U_a) odnos je mase ispitnog uzorka nakon tretmana u vodi i mase klimatiziranog uzorka prije tretmana. Rezultat se izražava s točnošću od 0,1 g, a izračunava se prema formuli:

$$U_a = m_v - m_u \quad \dots(4)$$

U_a – apsolutno upijanje vode, %
 m_v – masa ispitnog uzorka nakon izlaganja, g
 m_u – masa ispitnog uzorka prije izlaganja, g

Relativno upijanje vode (U_r) odnos je apsolutnog upijanja vode i mase ispitnog uzorka prije tretmana, a računa se prema formuli:

$$U_r = \frac{m_v - m_u}{m_u} \times 100 \quad \dots(5)$$

U_r – relativno upijanje vode, %
 m_v – masa ispitnog uzorka nakon izlaganja, g
 m_u – masa ispitnog uzorka prije izlaganja, g

4.2.3.2. Mehanička svojstva

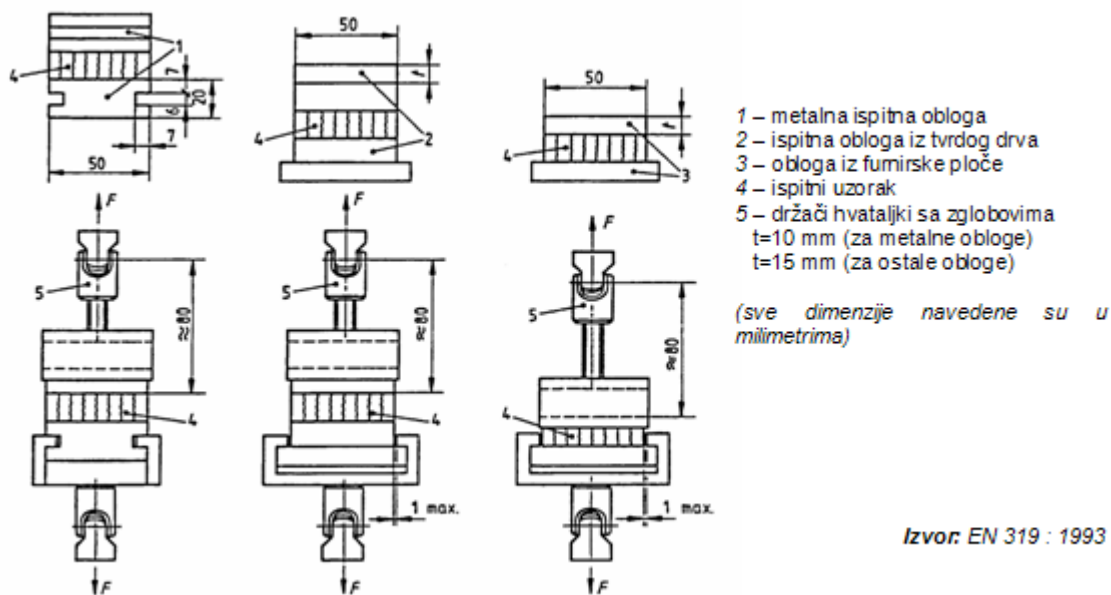
Od mehaničkih svojstava ispitivala se:

- vlačna čvrstoća – HRN EN 319:1999 Ploče iverice i ploče vlaknatice – Određivanje vlačne čvrstoće okomito na površinu ploče,
- savojna čvrstoća – HRN EN 310:1999 Ploče na osnovi drva – Određivanje savojne čvrstoće i modula elastičnosti savojne čvrstoće.

4.2.3.2.1. Određivanje vlačne čvrstoće

Vlačna čvrstoća okomito na površinu ploče maksimalna je sila kojom je bila opterećena površina presjeka ispitnog uzorka neposredno prije loma (raslojavanja). Uzorci, na kojima se mjerila vlačna čvrstoća su dimenzija 50 × 50 mm. Uzorci su se lijepili između dvije ispitne pločice dimenzija 60 × 50 × 5 mm.

Ispitivanje se izvodi postavljanjem obloga s uzorkom u hvataljke ispitnog uređaja. Ispitni uređaji kod kojih se pri ispitivanju hvatači udaljuju jedan od drugoga, moraju imati držače hvataljki sa zglobovima, kako bi sila tijekom ispitivanja djelovala okomito na ravninu uzorka. S povećanjem vlačne sile vrši se postupno opterećenje uzorka sve do njihova loma.



Slika 13: Princip ispitivanja i postavke uređaja za ispitivanje čvrstoće raslojavanja

Nakon loma uzorka očitana je maksimalna sila loma i proračunata vlačna čvrstoća (čvrstoća na raslojavanje) prema formuli:

$$\sigma_v = \frac{F}{b \times l} \quad \dots(6)$$

σ_v – vlačna čvrstoća okomito na površinu ploče, MPa

F – maksimalna vlačna sila, N

b – širina ispitnog uzorka, mm

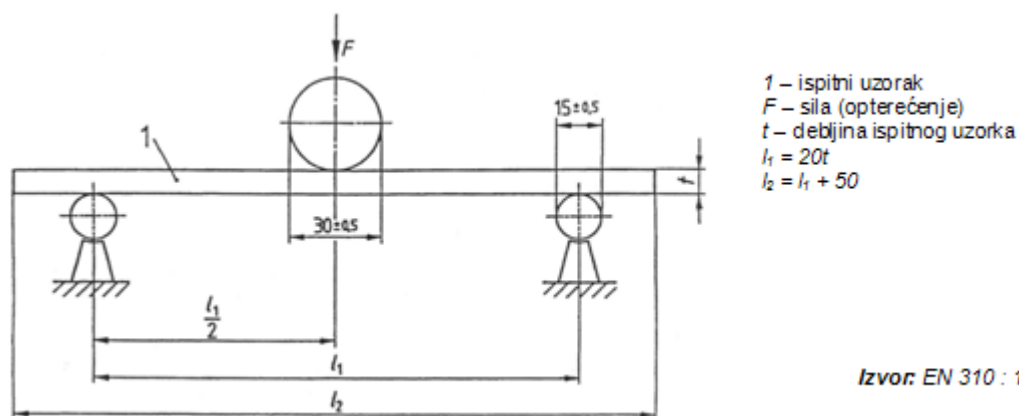
l – duljina ispitnog uzorka, mm

4.2.3.2.2. Određivanje savojne čvrstoće

Savojna čvrstoća je odnos maksimalnog savojnog momenta prije loma i momenta otpora. Dimenzije ispitnih uzoraka za utvrđivanje savojne čvrstoće normom su određene i iznose:

- širina 50 ± 1 mm
- duljina $20 \times d + 50$ mm (minimalno 150 mm; maksimalno 1050 mm)

Mjernoj duljini uvijek se dodaje isti iznos nadmjere od 50 mm (sa svake strane po 25 mm), čime se uzorak osigurava od proklizavanja ili deformacije slojeva, koji bi mogli ugroziti valjanost rezultata mjerenja.



Slika 14: Princip ispitivanja i postavke uređaja za ispitivanje savojne čvrstoće

Prilikom ispitivanja uzorak se postavlja na dva oslonca ispitnog uređaja (kidalice), s mogućnošću pomaka u ravnini paralelnoj s površinom ispitnog uzorka, čime se može regulirati otvor među osloncima. Širina oslonaca i pritiskivača ne smije biti manja od širine ispitnog uzorka. Dodirne površine oslonaca i pritiskivača s ispitnim uzorkom moraju biti zaobljene radijusom zaobljenosti 15 ± 5 mm. Brzina pomicanja vertikalnog pritiskivača mora se podesiti tako da lom nastupi u vremenu od oko jedne minute. 10 ispitnih uzoraka od svake ploče postavljaju se na ispitni uređaj. Za vrijeme opterećivanja sila djeluje u sredini mjerne duljine po cijeloj širini ispitnog uzorka. Na osnovi tako izmjerene sile, savojna čvrstoća se izračunava po formuli:

$$\sigma_s = \frac{3 \times F \times l}{2 \times b \times d^2} \quad \dots(7)$$

σ_s – savojna čvrstoća, MPa
 F – maksimalna pritisna sila, N
 l – razmak između oslonaca, mm
 b – širina ispitnog uzorka, mm
 d – debljina ispitnog uzorka, mm

4.2.3.3. Ispitivanje koncentracije slobodnog formaldehida

Slobodan formaldehid je nužna i neželjena popratna pojava u proizvodnji, ali i u kasnijoj upotrebi pločastih materijala. S obzirom da je slobodni formaldehid, otrovan plin koji nadražuje sluznicu, iritira dišne puteve, uzrokuje kronične zdravstvene probleme i što je kancerogena tvar, neophodna je konstantna kontrola emisije formaldehida, s ciljem smanjenja iste.

Ispitivanje slobodnoga formaldehida redovito se sastoji od dvije faze. U prvoj se formaldehid izdvaja iz uzorka i otapa u destiliranoj vodi, a u drugoj se analiziraju vodene formaldehidne otopine kemijsko-analitičkim i spektrofotometrijskim metodama. U ovom

slučaju koncentracija slobodnog formaldehida određena je perforatorskom metodom, uz spektrofotometrijsku analizu otopine formaldehida.

4.2.3.3.1. Spektrofotometrijska analiza otopine formaldehida

Spektrofotometri su vrlo precizni optički instrumenti za određivanje koncentracije određenih tvari u otopini. Spektrofotometri su opremljeni fotoćelijama, čime je omogućeno dobivanje foto-snimaka i efikasno prikazivanje rezultata mjerenja.

Određivanje formaldehida u vodenoj otopini spektrofotometrom provodi se acetil-acetonskom metodom. Osnovne kemikalije za provođenje spektrofotometrijske acetil-acetonske metode su:

- acetil-aceton,
- amonij-acetat.

Određivanje formaldehida spektrofotometrom temelji se na Hantzschovoj reakciji, u kojoj tekući formaldehid reagira s amonijevim ionima i acetilacetonom i tvori diacetil-dihidrolutidin (DDL), uz žuto obojenje.

Prije samog određivanja koncentracije formaldehida, potrebno je odrediti kalibracijski pravac spektrofotometrijskog uređaja. Za određivanje kalibracijskog pravca koristi se standardna otopina formaldehida, čija je koncentracija određena jodometrijski. Vrijednosti koncentracije standardnih formaldehidnih otopina nanese se na ordinatnu od u koordinatnom sustavu. Vrijednosti apscise očitaju se na mjernoj skali spektrofotometra, a pokazuju ekstinkciju (kod 412 nm), odnosno razliku apsorbancije svjetlosti standardne otopine i destilirane vode. Na taj način, u koordinatnom sustavu dobivene su vrijednosti kalibracijskog pravca.

Po određivanju kalibracijskog pravca, na spektrofotometru očitavaju se vrijednosti apsorbancije pripremljenih otopina formaldehida. Na osnovi dobivenih vrijednosti koncentracija slobodnog formaldehida izračunava se prema formuli:

$$F_{vs} = \frac{ABS \times f \times 50 \times (100 + u_r)}{m_u} \quad \dots(8)$$

F_{vs} - koncentracija formaldehida određena spektrofotometrijski, mg HCHO/100 g

ABS - očitavanje apsorbance

f - koncentracija očitana na kalibracijskom pravcu, mg/ml

u_r - sadržaj vode zrakosuhog uzorka, %

m_u - masa zrakosuhog uzorka, g

4.2.4. Mjerna oprema

Debljina uzoraka mjerena je mikrometrom (sl. 3) s pomakom mjernih površina po načelu vijka, mjernog područja od 0 – 25 mm, točnosti mjerenja na dvije decimale. Duljina i širina uzoraka mjerena je pomičnom mjerkom (sl. 4) mjernog područja od 0 – 150 mm. Masa je mjerena analitičkom vagom s mogućnošću mjerenja na dvije decimale. Uzorci su sušeni u sušioniku pri konstantnoj temperaturi od 103 ± 2 °C kroz 24 sata. Uzorci su bili potopljeni u vodi temperature 20 ± 1 °C kroz 24 sata. Čvrstoća raslojavanja i savojna čvrstoća ispitane su na kidalici laboratorija za ploče Šumarskog fakulteta. Sva mjerna oprema primijenjena u ispitivanju svojstava, umjerena je i ovjerena markicom Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo. Mjerenje koncentracije slobodnog formaldehida vrši se na spektrofotometru Shimadzu UV-mini 1240.

4.3. Anketni upitnik

Anketni upitnik istraživački je instrument sa definiranim pitanjima čiji je cilj istražiti i prikupiti podatke koji se odnose na neku određenu problematiku, u ovom slučaju istraživanje potencijalnih korisnika o eksperimentalnoj ploči sa obojanim iverjem i njezinoj eventualnoj primjeni. Pitanja su formulirana u obliku da/ne tvrdnji i odabira višestrukih odgovora. Ostavljena je mogućnost dodavanja odgovora i osobnog komentara o eksperimentalnoj ploči. Ispitanici su birani slučajnim odabirom, a vrijeme anketiranja u prosjeku traje 5-10 minuta. Podaci su prikupljeni metodom osobnog anketiranja prilikom kojeg im je bila prikazana izrađena ploča te ploča sa industrijskim iverjem. Sveukupni broj ispunjenih anketa je 25, a anketni upitnik je sadržavao 8 pitanja. Prikupljanje podataka putem ankete počelo je 8.9.2016. godine, a završilo je 15.9.2016. godine te su s tim datumom odgovori uvršteni u pripremljenu bazu anketnih upitnika.

Svaka anketa koja se provodila u svrhu istraživanja i prikupljanja podataka za diplomski rad započela je s tri identična pitanja koja su se odnosila na općenite informacije o ispitivanim osobama; spol, dob i razinu obrazovanja ispitanika.

Ostatak ankete odnosio se na mišljenje anketiranih osoba o samoj ploči, da li je ta ploča primjerena za interijer te tko bi od anketiranih osoba takvu vrstu ploče upotrijebio u svom domu. Cilj ankete bio je saznati i prostor u kojem bi se primjenjivala ova ploča, ali i kako bi se saznalo u kojem bi obliku ta primjena bila ostvarena. Osim toga, željelo se saznati koje pojmove anketirane osobe mogu povezati sa viđenom pločom. Anketa je završila sa mogućnošću dodavanja vlastita komentara.

4.4. Indeks dizajna

Indeks dizajna služi kao ogledni primjer svih raspoloživih proizvoda na tržištu, bilo da se radi o inovacijama, povijesnim primjercima, "uradi sam" idejama ili nečem drugom. Koristan je kao inspiracija te za kristaliziranje projekta odnosno vizije, u ovom slučaju za proizvodnju nove ploče na tržištu kao i njegova primjena u budućnosti.



Slika 15: Primjer opremanja dućana (Izvor: <https://www.australiandesignreview.com/designwall/1327-interior-design-fame-agenda-docklands>)



Slika 16: Primjena ploča za izradu polica - bojanje ploča (Izvor: <http://ninered.blogspot.hr/2012/07/spotlight-modular-osb-furniture.html>)



Slika 17: Primjena ploče za rasvjetno tijelo (Izvor: <http://threefourdesigns.com/osb/>)



Slika 18: Primjena ploča u spavaćim sobama (Izvor: <http://www.mylivingroomideas.com/focus-osb-wood-home-interior-designs>)

4.4.1. Analiza indeksa dizajna

Fotografije u indeksu dizajna prikazuju u koju se svrhu danas koriste građevinske ploče. Možemo vidjeti kako su ploče iskorištene u svrhu stanovanja, poslovnih prostora, raznih izložbenih prostora, ali i za kreiranje nekih gotovih proizvoda (primjerice, rasvjetno tijelo za lampu). Ujedno, vidi se kako postoji primjer bojanja gotove ploče u namjenu pohranjivanja.

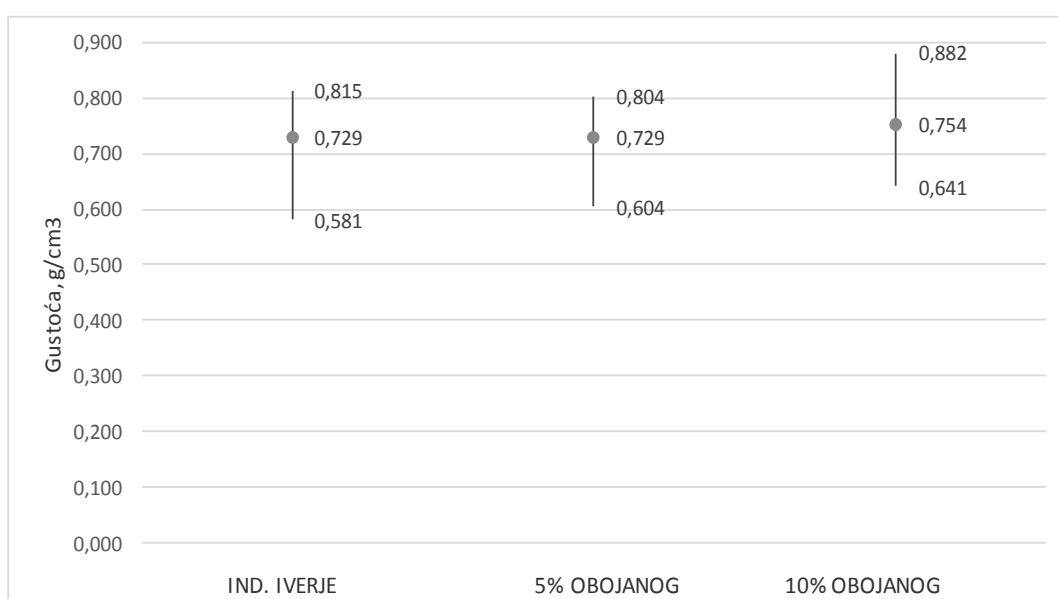
Indeksom dizajna možemo osim mjesta primjene novoizrađene eksperimentalne ploče, predočiti i način primjene.

5. Rezultati

5.1. Gustoća

Tablica 3: Vrijednosti gustoće ispitnih uzoraka ploča

Oznaka grupe uzoraka	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (g/cm ³)	Minimum (g/cm ³)	Maksimum (g/cm ³)	Standardna devijacija
IND. IVERJE	10	0,728	0,581	0,815	0,076
5% OBOJANOG	10	0,725	0,604	0,804	0,070
10% OBOJANOG	10	0,754	0,641	0,882	0,082



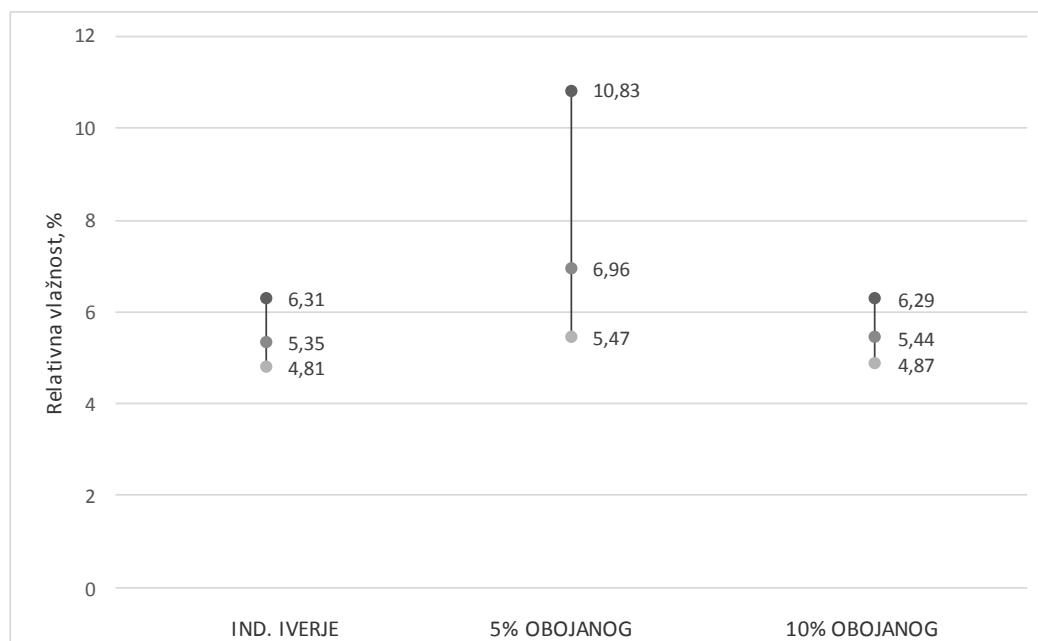
Slika 19: Grafički prikaz vrijednosti gustoća ispitnih uzoraka

Ispitivanje gustoće ispitnih uzoraka pokazuje kako su srednje vrijednosti svih ploča približno jednake. Najmanju ima ploča izrađena sa 5 % obojanog iverja te gustoća iznosi 0,725 g/cm³, a najveći iznos gustoće ima ploča izrađena sa 10 % obojanog iverja te ona iznosi 0,754 g/cm³. Povećanje gustoće ploča sasvim sigurno posljedica je nešto većeg sadržaja vode bojanog iverja. S povećanjem sadržaja vode povećava se i masa iverja, o čemu ovisi matematički izračun gustoće.

5.2. Sadržaj vode

Tablica 4: Vrijednosti sadržaja vode ispitnih uzoraka ploča

Oznaka grupe uzoraka	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (%)	Minimum (%)	Maksimum (%)	Standardna devijacija
IND. IVERJE	10	5,35	4,81	6,31	0,456
5% OBOJANOG	10	6,96	5,47	10,83	1,520
10% OBOJANOG	10	5,44	4,87	6,29	0,395



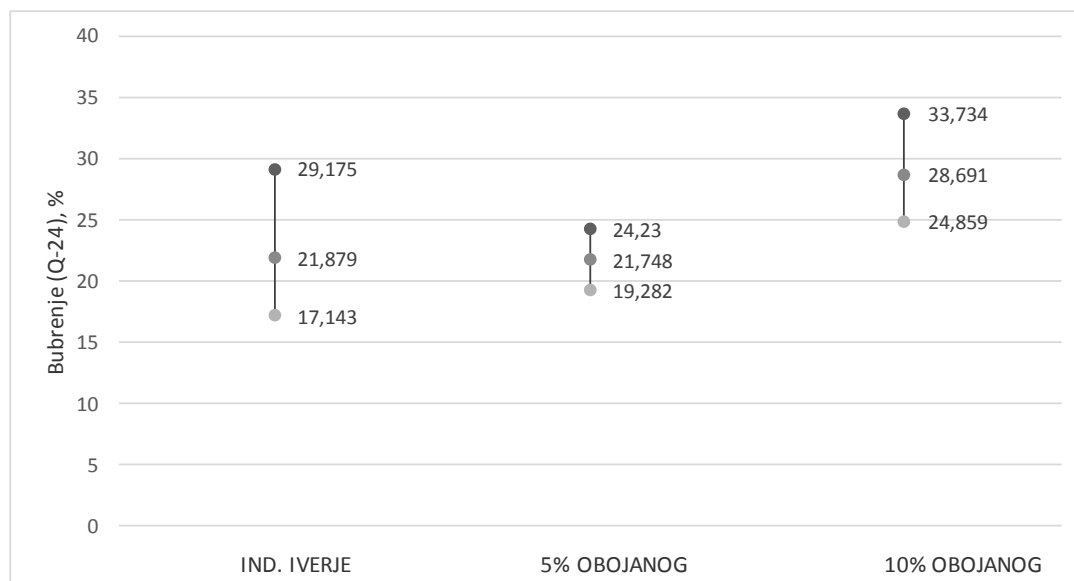
Slika 20: Grafički prikaz vrijednosti sadržaja vode ispitnih uzoraka

Nakon sušenja ispitnih uzoraka 24 sata u sušioniku pri konstantnoj temperaturi od $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$, oni se vade iz sušionika. Na osnovi razlike mase uzorka u zrakosuhom stanju i apsolutno suhom stanju, odnosno prije i poslije tretmana u sušioniku, rezultati pokazuju kako je relativna vlažnost ispitnih uzoraka sa 5% obojanog iverja veća od relativne vlažnosti ploča izrađenih od industrijskog iverja te sa 10% obojanog iverja čiji su iznosi sadržaja vode gotovo isti i iznose 5,35 odnosno 5,44 %.

5.3. Debljinsko bubrenje

Tablica 5: Vrijednosti debljinskog bubrenja ispitnih uzoraka ploča

Oznaka grupe uzoraka	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (%)	Minimum (%)	Maksimum (%)	Standardna devijacija
IND. IVERJE	10	21,89	17,143	29,175	4,078
5% OBOJANOG	10	21,748	19,282	24,859	1,405
10% OBOJANOG	10	28,691	24,23	33,734	2,591



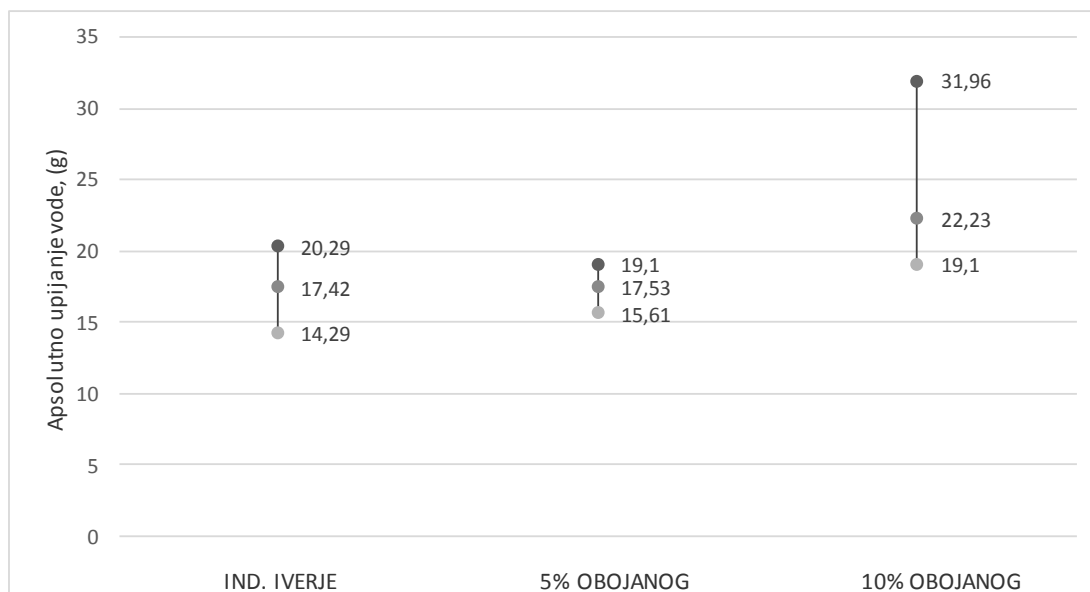
Slika 21: Grafički prikaz vrijednosti debljinskog bubrenja ispitnih uzoraka

Nakon 24-satnog bubrenja, uzorcima se mjeri dimenzija debljine te rezultati ispitivanja pokazuju kako je bubrenje uzoraka ploča sa 10 % obojanog iverja veće od nego na uzorcima ploča izrađenih od industrijskog iverja te ploča izrađenih sa 5 % obojanog iverja. Iznosi debljinskog bubrenja za uzorke izrađene od industrijskog iverja te sa 5 % obojanog iverja približno su jednaku te iznose 21,89 odnosno 21,748 %, dok je taj iznos za ploču izrađenu sa 10 % obojanog iverja gotovo 7 % veći.

5.4. Apsolutno upijanje vode

Tablica 6: Vrijednosti apsolutnog upijanja vode ispitnih uzoraka ploča

Oznaka grupe uzoraka	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (%)	Minimum (%)	Maksimum (%)	Standardna devijacija
IND. IVERJE	10	17,42	14,29	20,29	2,112
5% OBOJANOG	10	17,53	15,61	19,10	1,219
10% OBOJANOG	10	22,23	19,10	31,96	3,542



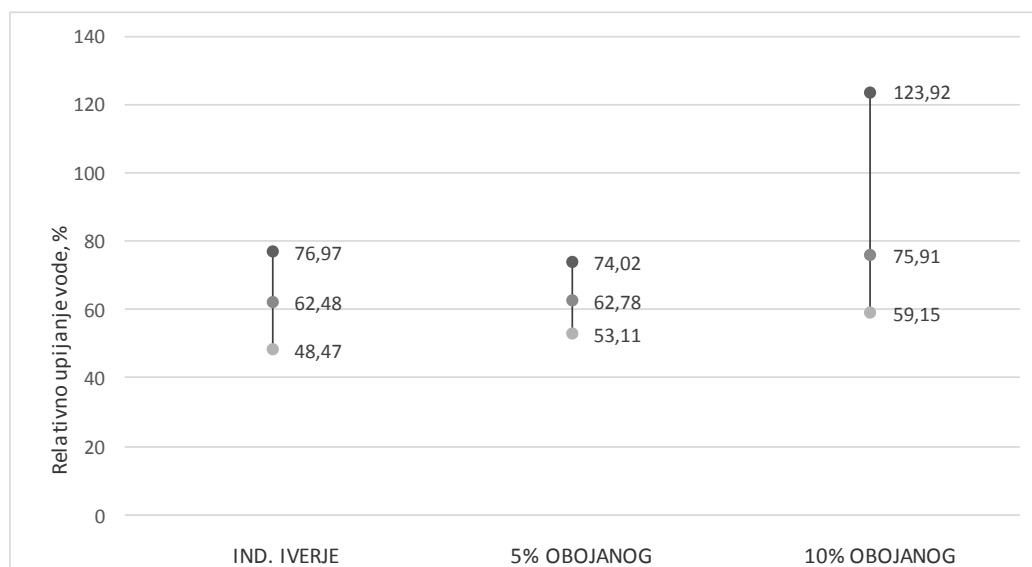
Slika 22: Grafički prikaz vrijednosti apsolutnog upijanja vode ispitnih uzoraka

Vrijednosti apsolutnog upijanja dobili smo razlikom masa uzoraka prije i poslije potapanja u vodi, te je ispitivanjem utvrđeno da su vrijednosti apsolutnog upijanja vode veći kod ispitnih uzoraka ploča izrađenih sa 10 % obojanog iverja. Vrijednosti apsolutnog upijanja vode za ostala dva uzorka gotovo su identični te oni iznose 17,42 odnosno 17,53 %.

5.5. Relativno upijanje vode

Tablica 7: Vrijednosti relativnog upijanja vode ispitnih uzoraka ploča

Oznaka grupe uzoraka	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (%)	Minimum (%)	Maksimum (%)	Standardna devijacija
IND. IVERJE	10	62,48	48,47	76,97	8,867
5% OBOJANOG	10	62,78	53,11	74,02	7,625
10% OBOJANOG	10	75,91	59,15	123,92	17,580



Slika 23: Grafički prikaz vrijednosti relativnog upijanja vode ispitnih uzoraka

Vrijednosti relativnog upijanja pokazuju kako su vrijednosti u istom omjeru kao i rezultati apsolutnog upijanja vode, te iznosi pokazuju kako je je relativno upijanje vode veće kod ploče izrađene sa 10 % obojanog iverja, a vrijednosti za ostale dvije ploče ponovno su gotovo identične te one iznose 62,48 odnosno 62,78 %. Nakon izlaganja djelovanju vode uzorci su ostavljeni da se osuše (slika 24). Na prikazanim uzorcima vidljiva je postojanost boje – obojano iverje nije izgubilo boju nakon potapanja, te se boja različito obojanog drvenog iverja još uvijek raspoznaje.

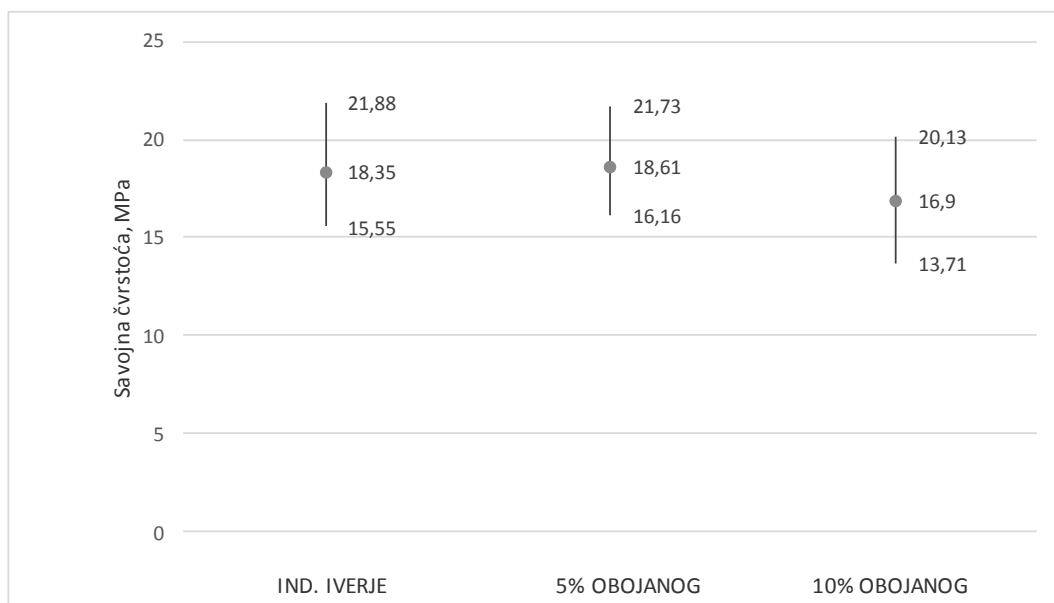


Slika 24: Uzorci ploča nakon izlaganja djelovanju vode kroz 24 sata - postojanost boje (Foto: Španić, 2016.)

5.6. Savojna čvrstoća

Tablica 8: Vrijednosti savojne čvrstoće ispitnih uzoraka ploča

Oznaka grupe uzoraka	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (MPa)	Minimum (MPa)	Maksimum (MPa)	Standardna devijacija
IND. IVERJE	10	18,35	15,55	21,88	1,93
5% OBOJANOG	10	18,61	16,16	21,73	1,97
10% OBOJANOG	10	16,9	13,71	20,13	1,93



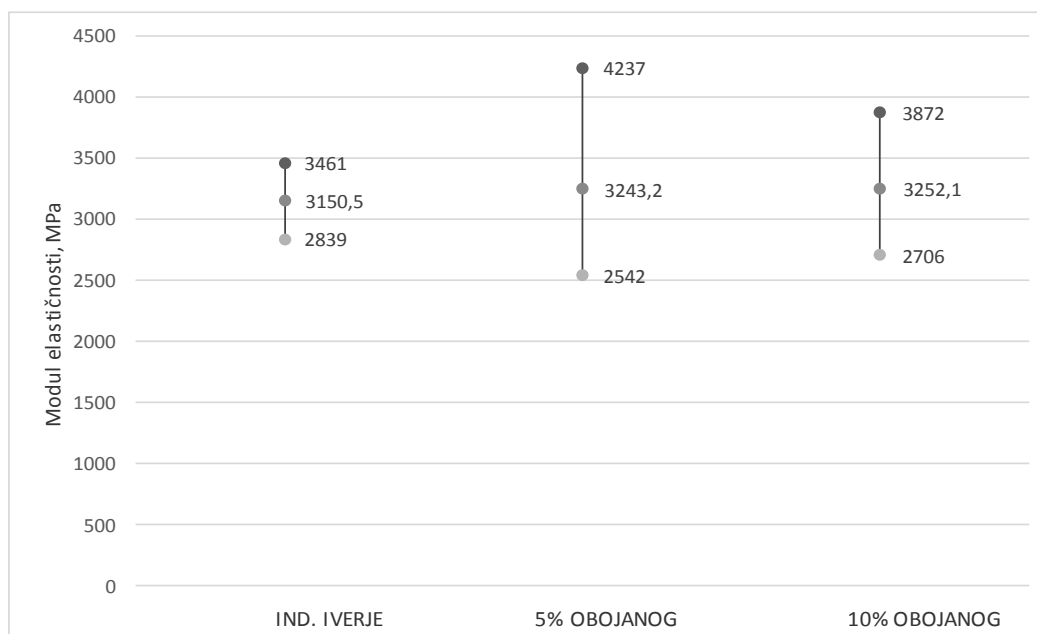
Slika 25: Grafički prikaz vrijednosti savojne čvrstoće ispitnih uzoraka

Nakon ispitivanja savojne čvrstoće na tri skupine uzoraka i vidljivih rezultata, dolazimo do zaključka kako je savojna čvrstoća najveća na uzorku ploče sa 5 % obojanog iverja, iza čega slijedi ploča izrađena od industrijskog iverja, te najmanju savojnu čvrstoću ima uzorak ploče izrađen od 10% obojanog iverja. Ovakva distribucija podataka navodi na zaključak da dodatak obojanog iverja do 5% ne utječe značajnije na vrijednosti savojne čvrstoće. No kako je raspon povećanja udjela obojanog iverja dosta velik (5%) trebalo bi provesti dodatna istraživanja s ciljem utvrđivanja maksimalnog udjela obojanog iverja u smjesi, a koje neće narušiti ispitivano svojstvo.

5.7. Modul elastičnosti

Tablica 9: Vrijednosti modula elastičnosti ispitnih uzoraka ploča

Oznaka grupe uzoraka	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (MPa)	Minimum (MPa)	Maksimum (MPa)	Standardna devijacija
IND. IVERJE	10	3150,5	2839	3461	204,87
5% OBOJANOG	10	3243,2	2542	4237	495,45
10% OBOJANOG	10	3252,1	2706	3872	367,84



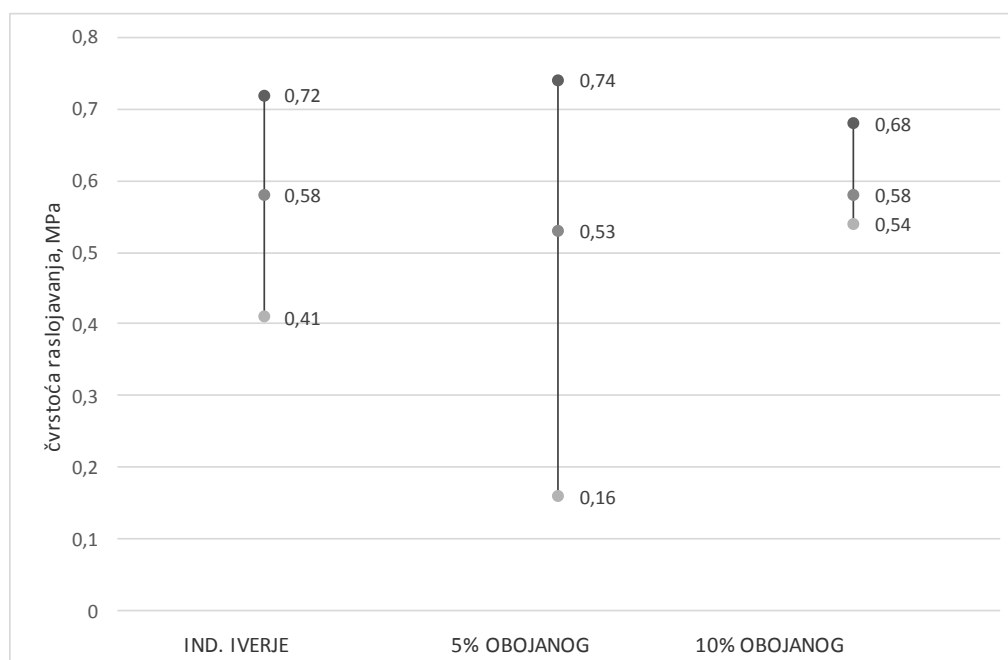
Slika 26: Grafički prikaz vrijednosti modula elastičnosti ispitnih uzoraka

Vrijednosti modula elastičnosti najveće su na uzorku ploče sa 10 % obojanog iverja, zatim ploča sa 5 % obojanog iverja, a najmanja je vrijednost na uzorku ploče izrađene od industrijskog iverja. Slično tendenciji promjene vrijednosti u slučaju savojne čvrstoće i kod modula elastičnosti bilježe se promjene ovisno o udjelu obojenog iverja. Zanimljivo je veliko rasipanje vrijednosti u slučaju ploča s 5 % obojanog iverja koje sugerira na nepotpunu kompatibilnost ne obojanog i bojanog iverja, odnosno na potencijalnu inaktivnost površine bojanog iverja.

5.8. Vlačna čvrstoća

Tablica 10: Vrijednosti vlačne čvrstoće ispitnih uzoraka ploča

Oznaka grupe uzoraka	Broj uzoraka (n)	Aritmetička sredina (MPa)	Minimum (MPa)	Maksimum (MPa)	Standardna devijacija
IND. IVERJE	10	0,58	0,41	0,72	0,10
5% OBOJANOG	10	0,53	0,16	0,74	0,18
10% OBOJANOG	10	0,58	0,54	0,68	0,05



Slika 27: Grafički prikaz vrijednosti vlačne čvrstoće ispitnih uzoraka

Rezultati dobiveni ispitivanjem vlačne čvrstoće pokazuju kako su vrijednosti ispitivanja ploče od industrijskog iverja te ploče sa 10 % obojanog iverja isti, dok je vrijednost čvrstoće raslojavanja ploče sa 5 % obojanog iverja nešto manja. Slika 28 prikazuje presjek uzorka nakon ispitivanja – nasumičan raspored iverja unutar sloja.



Slika 28: Presjek uzorka nakon ispitivanja čvrstoće raslojavanja (Foto: Brglez, 2016.)

5.9. Koncentracija slobodnog formaldehida

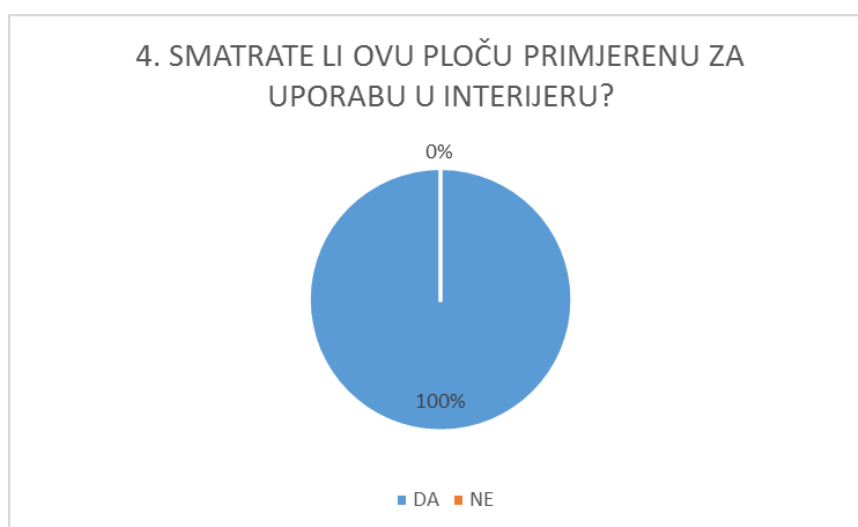
Tablica 11: Vrijednosti koncentracije slobodnog formaldehida u ispitanim uzorcima ploča

	IND. IVERJE	5% OBOJANOG	10% OBOJANOG
F _{vs}	4,96	6,15	13,41
Emisijska klasa	E1	E1	E2

Ispitivanjem koncentracije slobodnog formaldehida došli smo do rezultata kako se uzorci ploča sa industrijskim iverjem te ploča sa 5 % obojanog iverja nalaze u E1 emisijskoj klasi, dok se uzorci ploča sa 10 % obojanog iverja nalaze u E2 emisijskoj klasi sa gotovo 2,5 puta većom količinom slobodnog formaldehida određenom spektrofotometrijski. Veću koncentraciju slobodnog formaldehida možemo pripisati tome da korišteno bojilo sadrži formaldehid.

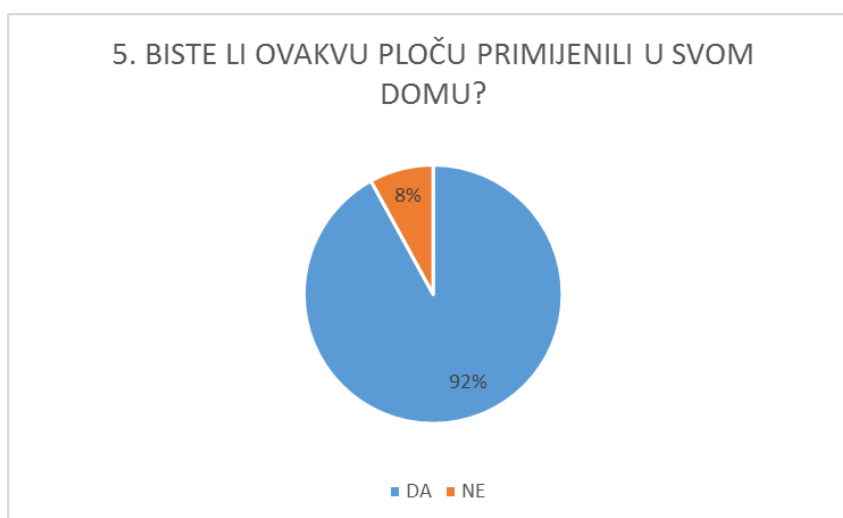
5.10. Analiza anketnih upitnika

U prvom pitanju saznaje se spol ispitanika, od ispunjenih 25 anketa, 68 % odgovora dale su žene, a 32 % muškarci. Saznaje se da najveći broj ispitanika ima srednju stručnu spremu (42 %), četvero ih ima nižu, a 9 osoba ima visoku stručnu spremu. Treće pitanje odnosilo se na dob ispitanika. Rezultati pokazuju kako je najveći udio ispitanika u skupini 18-30 godina (40 %), a najmanje ispitanika se nalazi u skupinama 51-60 i 60+ godina. U skupini do 18 godina anketirane osobe bila su djeca uzrasta 6-8 godina. Četvrto pitanje pokazuje kako svi ispitanici smatraju da je izrađena ploča primjerena za uporabu u interijeru.



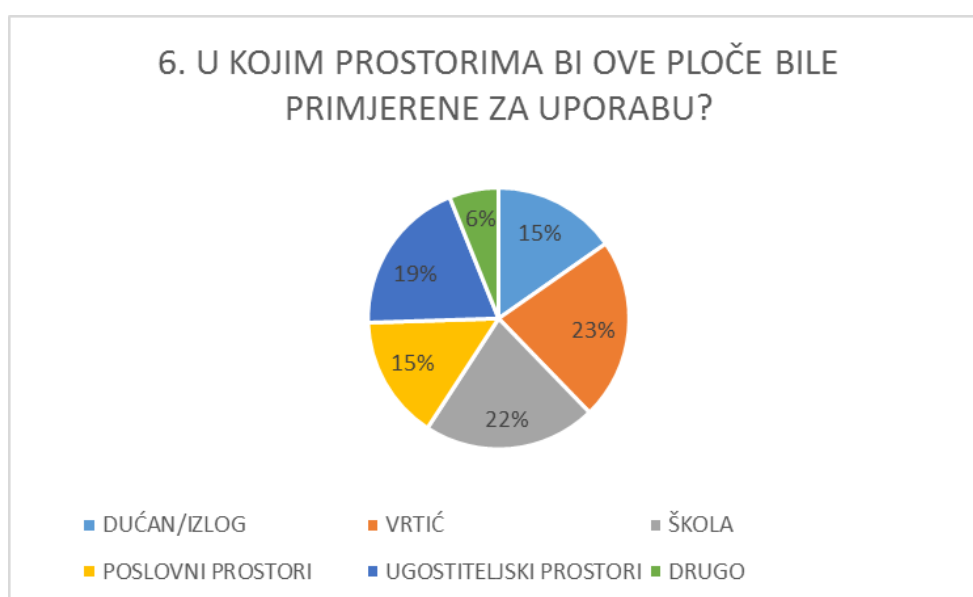
Slika 29: Primjerenost uporabe ploče u interijeru

U petom pitanju 23 ispitanika izjasnilo se kako bi ploču primijenili u svom domu, a dvoje ispitanika odgovorilo je kako ne bi primijenili ploču u svom domu uz naznaku kako im se ploča ne uklapa u sadašnje uređenje doma.



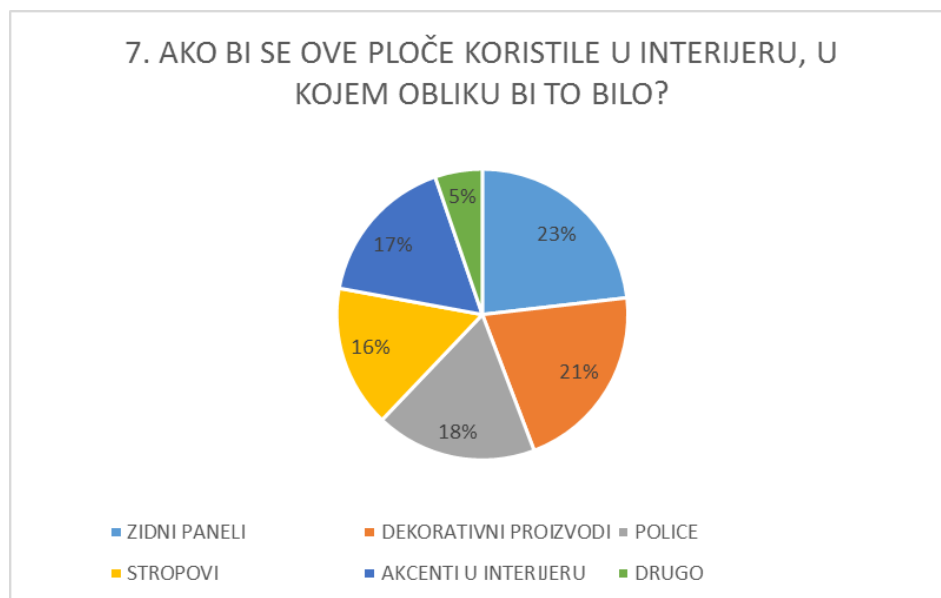
Slika 30: Primjena ploče u domu ispitanika

Šesto pitanje ispituje prostore u kojima bi ploča bila primjerena za uporabu; najviše ispitanika ploču bi primijenilo u vrtiće (22 osoba) i škole (21 osoba), podjednak broj ispitanika (15 ispitanika) primijenio bi ploče u dućane i izloge te u poslovne prostore, dok bi 19 osoba koristilo bi ove ploče u ugostiteljskim prostorima. Ispitanicima je ponuđena i mogućnost da dopišu druge prostore u kojima bi koristili ove ploče te su kao odgovore dopisali kako bi ploče bile primjenjive u kino dvoranama te u stanovima.



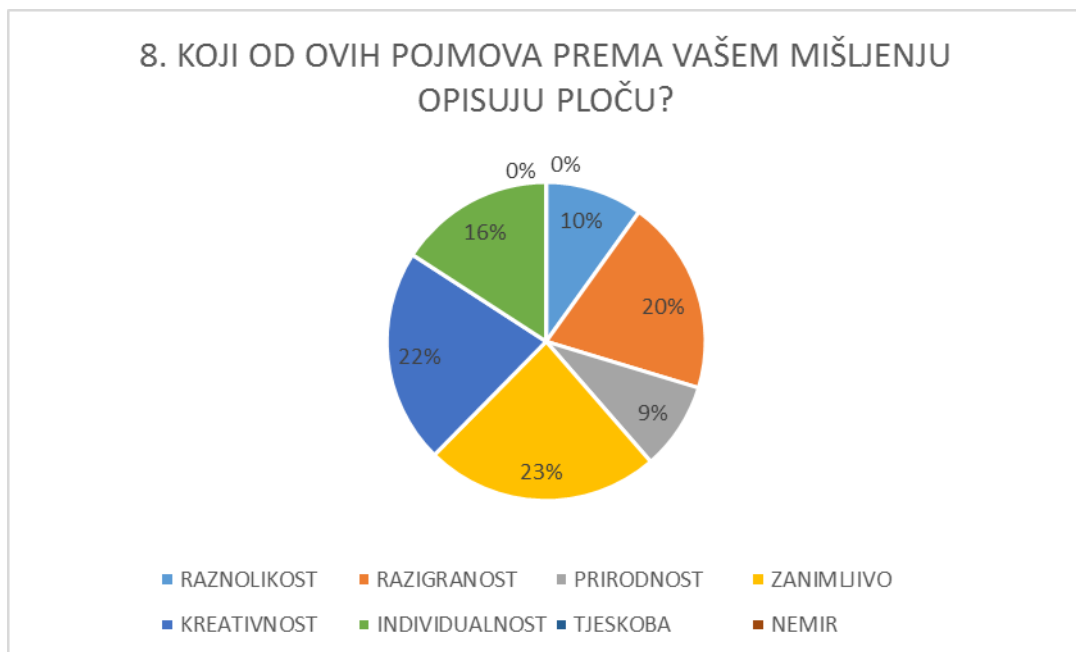
Slika 31: Prostor primjene

Sedmo pitanje bavi se oblikom primjene izrađene ploče; najviše ispitanika koristilo bi ploču u obliku zidnih panela (22 osobe) te u obliku dekorativnih proizvoda gdje im je kao primjer ponuđena izrada kutija za igračke (20 osoba), slijedi izrada polica, raznih akcenata u prostoru te izrada stropnih panela. Kao mogućnost nadopune odgovora, ispitanici su dodali kako bi ploču koristili za izradu kuhinjskih fronti, unutrašnjih vrata, za izradu pregradnih zidova, za izradu dječjih ormarića u vrtićima i školama te ostalog namještaja.



Slika 32: Oblik primjene

Osmo pitanje je od ispitanika tražilo da označe kojim pojmom mogu opisati izrađenu ploču. Najviše ispitanika složilo se kako je ploča zanimljiva (24 osobe), zatim, kreativna (22 osobe) te 20 osoba može ploču povezati sa pojmom razigranost. Najmanji broj osoba ploču je povezao sa pojmom prirodnost i raznolikost, a nitko od ispitanika nije odgovorio da im navedena ploča izaziva osjećaj tjeskobe i nemira.



Slika 33: Opis ploče navedenim pojmovima

Prilikom dodavanja osobnog komentara o ploči, ispitanici su dopisali kako im se više sviđa ideja sa većim postotkom dodanog obojanog iverja, te kako ploča izgleda privlačnije ukoliko se nalazi više različitih boja.

6. Diskusija

Rezultati gustoće ispitnih uzoraka pokazuju kako sve ispitane ploče imaju približno jednake vrijednosti koje iznose od $0,729 \text{ g/cm}^3$ za ploče izrađene od industrijskog iverja i ploču izrađenu sa 5 % obojanog iverja do $0,754 \text{ g/cm}^3$ za ploču izrađenu sa 10 % obojanog iverja. Nakon sušenja uzoraka može se primijetiti kako je razlika masa prije i nakon veća kod uzorka ploče izrađene sa 5% obojanog iverja, a ta razlika nešto je manja kod ostale dvije ploče te je taj iznos približno jednak. Potapanjem uzoraka u vodu kroz 24 sata te mjerenjem debljina uzorkovanih ploča možemo utvrditi kako najviše bubre uzorci izrađeni sa 10 % obojanog iverja, dok ploče izrađene od industrijskog iverja te ploče izrađene sa 5 % obojanog iverja imaju približno jednake dimenzije nakon bubrenja. Rezultati apsolutnog i relativnog upijanja veći su kod ploča izrađenih sa 10 % obojanog iverja, a to možemo pripisati nešto većem iznosu gustoće te ploče.

Ispitivanjem mehaničkih svojstava, sve tri ploče zadovoljile su iznose prema normi. Rezultati savojne čvrstoće približno su jednaki za ploču izrađenu od industrijskog iverja te ploču izrađenu sa 5 % obojanog iverja, a taj iznos nešto je manji kod ploče izrađene sa 10 % obojanog iverja. Međutim, rezultati pokazuju kako je modul elastičnosti najmanji kod ploče izrađene od industrijskog iverja, dok je najveći kod ploče izrađene sa 10 % obojanog iverja. Ispitivanjem čvrstoće raslojavanja dobivamo rezultate koji su gotovo isti te iznose od 0,53 do 0,58 MPa.

Rezultati ispitivanja koncentracije slobodnog formaldehida pokazuju kako se ploče izrađene od industrijskog iverja i ploča izrađena sa 5 % obojanog iverja nalaze u emisijskoj klasi E1, dok se ploča izrađena od 10 % obojanog iverja nalazi u emisijskoj klasi E2. Obzirom da količina slobodnog formaldehida proporcionalno raste povećanjem količine obojanog iverja u pločama, možemo pretpostaviti da je upravo bojilo to koje povećava količinu slobodnog formaldehida u ploči.

7. Zaključak

Obzirom na zahtjeve propisane normom za P2 tip ploča, izrađene eksperimentalne ploče sa 5 i 10 % obojanog iverja, gotovo dvostruko premašuju normirane vrijednosti mehaničkih svojstava, te je time ploča zadovoljila normu.

Ono što predstavlja problem je oveća količina slobodnog formaldehida kod ploča izrađenih sa većim postotkom obojanog iverja. Taj je podatak vrlo važan te može biti temelj za daljnja istraživanja obojenog iverja. Mogućnost smanjenja količine slobodnog formaldehida omogućila bi eventualna uporaba nekog drugog bojila, ali i površinska zaštita gotovih ploča. Pravilna zaštita, primjerice oblaganje cijelih ploča folijama, omogućilo bi, osim onemogućavanja prodiranja formaldehida i zaštitu ploče od dodira sa vlagom, raznim atmosferilijama, omogućilo bi lakše održavanje takve površine i slično.

Različitom kombinacijom boja dobiva se unikatna ploča prema želji korisnika, pravilnom površinskom zaštitom produljilo bi joj se vrijeme uporabe u prostoru, a time i omogućilo neku drugačiju primjenu.

LITERATURA

1. Del Menezzi, C. H. S., 2008: Relationship between color modification and dimensional stability improvement of thermally treated OSB. Proceedings of the 51st international convention of society of wood science and technology, Chile.
2. Jambrečić, V., 2004: Drvne ploče i emisija formaldehida. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
3. Kelly R.A.; Kutscha N. P.; Shuler C. E., 1975: Eastern spruce flakeboard resin distribution and decorative panel evaluation. Technical Bulletin 74. University of Maine at Orono.
4. Klimek, P.; Wimmer, R.; Kral, P., 2014: Novel decorative particleboard by means of post-imprinted surface pattern. Project InWood "The establishment of an international research team for the development of new wood-based materials".
5. Mendes, R. F.; Junior, G. B.; De Almeida, N. F.; Surdi, P. G.; Barbeiro, I. N., 2013: Effects of thermal pre-treatment and variables of production on properties of OSB panels of Pinus taeda. Maderas. Ciencia y tecnologia 15(2): 141-152.
6. Sakuragawa, S.; Miyazaki, Y.; Kaneko, T.; Makita, T., 2005: Influence of wood wall panels on physiological and psychological responses. The Japan wood research society 51:136-140.
7. Thornber, W.; Wrangham, B., 1976: Method of making colored particleboard. United States Patent.