



PRIMERJAVA LASTNOSTI OBLOŽENE CEMENTNO-IVERNE PLOŠČE IN POVRŠINSKO OBDELANE FURNIRNE PLOŠČE

COMPARISON OF PROPERTIES OF SURFACED CEMENT-BONDED PARTICLEBOARD AND SURFACE FINISHED PLYWOOD

Jure Žigon^{1*}, Primož Habjan¹

UDK 630*862.4:692.23-035.3

Izvleček / Abstract

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Izvleček: V raziskavi smo izdelali dve vrsti oblog, namenjeni za zunanji sloj prezračevane fasade. Prvo fasadno oblogo je predstavljala cementno-iverna plošča, obložena z nizkotlačnim laminatom za oblaganje, drugo pa vlagoodporna furnirna plošča, premazana z lazurnim premaznim sistemom. Obe vrsti fasadnih oblog smo izpostavili postopku umetnega pospešenega staranja in temperaturnega obremenjevanja ter biotskim dejavnikom, s čimer smo simulirali pogoje realne uporabe. Spremembe klimatskih pogojev in ostali dejavniki opravljenih preskusov so vplivali bolj na obnašanje in lastnosti površinsko obdelane furnirne plošče. Obe vrsti kompozitov nista bili dovzetni za okužbo z glivami modrivkami in razkrojevalkami. Glede na rezultate raziskave sta tako obe vrsti oblog primerni za uporabo v gradbeništvu kot zunanji element prezračevane fasade.

Ključne besede: fasadna obloga, lesno-ploščni kompoziti, obstojnost, umetno pospešeno staranje

Abstract: In this study, we produced two types of claddings, representing the element of the ventilated façade. The first façade cladding was a cement-bonded particleboard, surfaced with a low-pressure laminate, while the second was a waterproof plywood board, coated with a stain-coating system. Both types of façade claddings were exposed to processes of artificial accelerated aging and temperature cycling tests, as well as to biotic factors, in order to simulate the conditions in real use. Changes in climatic conditions and other factors of the performed tests had a larger influence on the behaviour and properties of the surface finished plywood board. Both types of composites were not susceptible to infection with wood decay and blue-stain fungi. According to the results of the research, both types of claddings are suitable for the intended use as the outer element of a ventilated façade.

Keywords: façade covering, wood-based composites, durability, artificial accelerated weathering

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Razvoj novih tehnologij in ustreznih lepil je v drugi polovici 20. stoletja povzročil razmah proizvodnje furnirnih, ivernih in vlaknenih plošč. Sprva so jih uporabljali predvsem za izdelavo pohištva, kasneje pa so jih zaradi dobrih lastnosti začeli uporabljati tudi v gradbeništvu. Prednosti lesnih ploščnih kompozitov pred masivnim lesom so povezane predvsem z njihovo homogeno strukturo, dobrimi mehanskimi lastnostmi in dimenzijsko stabilnostjo (Medved, 2010).

Cementno-iverna plošča (CIP, angl.: *cement-bonded particleboard*, CBP) je produkt z visoko gostoto,

gladko površino in z dobrimi lastnostmi za uporabo na prostem in tam, kjer se zahteva odpornost proti gorenju. Proizvodnja teh plošč se je začela leta 1973 v Švici, do danes so postale pomemben del moderne arhitekture (Fan et al., 2006). Tovrstne plošče vsebujejo od 30 % do 65 % iveri in od 25 % do 60 % mineralnega veziva, ter 10 % vode in dodatkov (npr. pigmentov, pospeševalcev hidracije veziva itd.). Najpomembnejši vrsti lesa za izdelavo CIP sta topolovina in jelševina, vezivo visoke kakovosti pa je t. i. portlandski cement (Nazerian et al., 2011). CIP imajo zelo dobre zvočno izolativne lastnosti, visoko odpornost proti vpijanju vode, termitom, glivam in izkazujejo zelo dobro trajnost ob izpostavitvi v 2. do 4. razredu uporabe [znotraj ali pod streho (2.), mesto uporabe izdelka na prostem, nad zemljo, z (3.1) oz. brez ustrezne konstrukcijske zaščite in na prostem (3.2), v stiku s tlemi in/ali sladko vodo (4) (EN 335, 2013)]. CIP upo-

¹ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, SLO

* e-pošta: jure.zigon@bf.uni-lj.si; telefon: 01-320-3612

rabljajo za kritino, za stenske in talne elemente ter kot elemente za absorpcijo zvoka (Fan et al., 2004a; Abdel-Aal, 2014). Nezdržljivost nekaterih vrst lesa (večinoma gre za listavce in tropske drevesne vrste) s cementom zaradi prisotnosti topnih komponent v lesu (hemiceluloz in ekstraktivnih snovi, kot so tanini, fenoli itd.), ki otežujejo hidracijo cementa, lahko omejuje praktično uporabnost nekaterih lesnih vrst v lesno-cementnih kompozitih (Fan et al., 2012; Na et al., 2014). Najpomembnejši dejavniki, ki vplivajo na lastnosti CIP, so vrsta lesa in cementa ter velikost lesnih iveri. Velik vpliv na lastnosti plošč ima razmerje med lesom in cementom in njihova gostota (Fan et al., 2006; Nazerian et al., 2011; Abdel-Aal, 2014). Lastnosti so odvisne od premreženja lesnih iveri, cementa in deleža praznih prostorov, ki se pojavijo na stikih med osnovnimi materiali in nastanejo v času proizvodnega procesa (Fan et al., 2000; Nasser, 2014). Orientacija, velikost in oblika lesnih iveri po debelini in v prečnih smereh CIP se zelo razlikujejo. V spreminjajočih klimatskih pogojih se CIP izkaže za nestabilno, zaradi povratnih in nepovratnih sprememb mase in dimenzij (Fan et al., 2006). Dimenzijsko delovanje in obnašanje CIP je povezano z razporeditvijo njenih komponent (lesnih iveri in cementa), karbonacije (pretvorba $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v cementu v CaCO_3), kot tudi nesproščenih napetosti v kompozitu, ki nastanejo med njegovo proizvodnjo (Fan et al., 2004a; Fan et al., 2004b). Sorpcijske lastnosti in dimenzijske spremembe CIP so odvisne od relativne zračne vlažnosti (RZV). Spremembe dimenzij CIP v ciklično spreminjajoči RZV so veliko večje po debelini kot v dolžini, kar je povezano z orientacijo lesnih iveri v plošči (Fan et al., 2004c). Razvoj gliv bele in rjave trohnobe je na CIP oviran, zato so odporne proti glivnemu razkroju (Okino et al., 2005; Papadopoulos, 2008). Z namenom zaščite površine CIP pred karbonacijo te lahko premažemo s premazi (Fan et al., 2004a) ali pa jih obložimo z materiali za oblaganje.

Furnirne plošče (FP, angl.: *plywood*, PW) so plošče, zlepljene iz lihega števila slojev furnirnih listov. Najpogostejše so FP iz bukovega, brezovega ali topolovega luščenega furnirja. Usmerjenost vlaken vsakega sloja je pravokotna glede na sosednja sloja. S tem želimo zmanjšati vpliv dimenzijskih sprememb lesa zaradi spreminjanja vlažnosti lesa. Kljub usmerjanju furnirnih listov lahko pride do popuščanja lepilnih spojev zaradi pojava napetosti znotraj FP (Fan et al., 2009). Plošče delimo glede na lesno vrsto

furnirnih listov in njihovo debelino, število slojev ter uporabljeno lepilo. Različne kombinacije naštetega nam dajo FP z različnimi lastnostmi, ki določajo, za kakšen namen je posamezna plošča primerna. V gradbene namene se izmed vseh lesnih ploščnih kompozitov najdlje uporablja prav FP (Medved, 2010). Prvotno so FP uporabljali v pohištveni industriji. Predvsem s pojavom vodoodpornih lepil se je raba FP razširila na področja, ki zahtevajo odpornejše in trajnejše elemente. FP se danes uporabljajo marsikje, kjer so neposredno izpostavljene vremenskim dejavnikom, npr. v gradbeništvu, ladjedelništvu, transportu ipd. (Reinprecht et al., 2012). Dejavniki, ki predstavljajo izziv pri taki uporabi FP, so povišana vlažnost lesa, velike spremembe vlažnosti lesa in procesi staranja. Ti lahko privedejo do deformacij, površinskih razpok, delaminacije in razkroja (Van den Bulcke et al., 2009). Odpornost FP lahko izboljšamo z biocidno zaščito FP, uporabo modificirane furnirja, uporabo furnirja odpornejših lesnih vrst, z lepili, primernimi za zunanjo izpostavitve, s prilagojenimi načini stiskanja in s površinsko zaščito (Reinprecht et al., 2012, Mansouri et al., 2006).

V tej raziskavi smo primerjali nekatere lastnosti dveh vrst oblog, ki se uporabljata v gradbeništvu kot element prezračevane fasade. Tovrstna zasnova fasade objekta je v realni uporabi izpostavljena številnim dejavnikom, ki vplivajo na obnašanje in lastnosti materiala, iz katerega je narejena. Za raziskavo smo izdelali dve vrsti oblog. Osnovo prve je predstavljala komercialna CIP, na katere zunanji sloj smo dodali laminat za oblaganje. Druga obloga je bila FP višjega kakovostnega razreda, ki smo jo površinsko obdelali s komercialnim lazurnim premazom. Z namenom simulacije teh dveh oblog v realni uporabi smo vzorce obeh izpostavili abiotskim in biotskim dejavnikom ter ocenili, kako ti vplivajo na njihove mehanske, fizikalne in odpornostne lastnosti.

2 MATERIALI IN METODE

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 IZDELAVA FASADNIH OBLOG

2.1 MANUFACTURING OF FAÇADE CLADDINGS

Prvo fasadno oblogo sta sestavljala CIP in kontinuirano stiskan laminat (ang. Continuous Pressed Laminate, CPL) za oblaganje. Kot nosilno ploščo smo uporabili komercialno CIP proizvajalca Cetris® (pro-

dukt Basic) debeline 10 mm. Sestavljajo jo mešanica iveri iglavcev (63 %), portlandski cement (25 %), voda (10 %) in dodatki (2 %) (Cetris, 2017). Ploščo smo ob uporabi enokomponentnega poliuretanskega lepila Mitopur E45 (Mitol d.d.) obojestransko obložili s CPL (Melaplast GmbH), debeline 0,8 mm, temnorjavega odtenka.

Za izdelavo površinsko obdelane FP smo izbrali komercialno brezovo FP (Sveza GmbH) debeline 9 mm iz sedmih slojev furnirja, zlepljenih s fenol-formaldehidnim lepilom. Najprej smo jo premazali z biocidnim pripravkom Silvanol-G-rjavi (Silvaprodukt, d.o.o.) v dveh nanosih. Nato smo nanесли še dva sloja vodnega lazurnega premaza Exterior (Belinka Belles, d.o.o.) v odtenku »oreh«.

Obe vrsti fasadnih oblog smo po koncu izdelave razžagali v vzorce, katerih dimenzije predpisujejo standardi oz. so potrebne za izvedbo izbranih preskusov.

2.1.1 Določevanje gostote

2.1.1 Determination of density

Za določitev gostote fasadnih oblog smo pripravili 5 vzorcev dimenzij 50 mm × 50 mm, ki smo jih klimatizirali v prostoru s temperaturo 23 °C in RZV 65 %. Gostoto kompozitov smo določili gravimetrično, po standardu SIST EN 323 (1996).

2.1.2 Določevanje sprememb dimenzije in mase, povezanih s spremembami relativne zračne vlažnosti (RZV)

2.1.2 Determination of dimensional changes and mass associated with changes in relative humidity (RH)

Spremembe dimenzij in mase fasadnih oblog, do katerih pride ob spremembi klimatskih pogojev, v katerih se nahajajo, smo določili po standardu SIST EN 318 (2004). Želene klimatske pogoje v komori smo vzpostavili z uporabo nasičenih vodnih raztopin soli ($MgCl_2$ – 35 %, $NaNO_2$ – 65 %, $ZnSO_4$ – 85 %). Del vzorcev velikosti 300 mm × 50 mm smo tako izpostavili klimatskim pogojem s temperaturo 20 °C, pri poviševanju RZV (30 %, 65 % in 85 %), drugi del vzorcev pa pri zniževanju RZV (85 %, 65 % in 35 %). Ko se masa vzorcev ni spremenila za več kot 0,1 % dnevno, smo predpostavili, da so se vzorci uravnovesili, in izmerili njihovo dolžino, širino in debelino ter spremenili klimatske pogoje v komori.

2.2 IZPOSTAVITEV VZORCEV UMETNEMU POSPEŠENEMU STARANJU IN CIKLIČNIM OBREMITVAM S SPREMEMBO TEMPERATURE

2.2 EXPOSURE OF THE SAMPLES TO ARTIFICIAL ACCELERATED WEATHERING AND CYCLIC TEMPERATURE-CHANGE RESISTANCE

Vzorci velikosti 320 mm × 75 mm smo za 720 ur postavili v komoro za umetno pospešeno staranje (UPS, angl.: *Artificial accelerated weathering*, AAW) z enournimi cikli. Komora ima obliko zaprte kadi, z ločenima deloma, kjer so bili vzorci izpostavljeni simuliranim pogojem ob izpostavljenosti v zunanosti, s fazami izmenjujočega razprševanja destilirane vode (22 min), mirovanja (9 min), UV in IR sevanja (3 min), UV sevanja (21 min), zopet UV in IR sevanja (3 min) ter mirovanja (2 min). Po zaključenem UPS smo vzorce prvotnih dimenzij razžagali v vzorce za nadaljnje poskuse.

Del vzorcev smo izpostavili tudi preskusu s cikličnim temperaturnim obremenjevanjem (CC, angl. »cold check«) (ASTM D1211, 1997). Vzorce obeh plošč (400 mm × 360 mm) smo izpostavili 20 ciklom izmenjujočih visokih in nizkih temperatur, ki so vključevali po 3 ure izpostavitve temperaturi – 15 °C, po 3 ure izpostavitve temperaturi 50 °C in klimatizaciji v normalnih pogojih (23 °C, 65 % RZV). Po preteku izpostavitve pri posamezni temperaturi smo na vsakem od vzorcev z mikrometrom in referenčno šablono na treh mestih opravili meritve izbočenosti oz. vbočenosti površine vzorca glede na šablono. S tovrstnim preskusom proučujemo dimenzijsko stabilnost materiala ob nenadnih spremembah temperatur, na katero močno vplivajo spremembe, ki se v času preskusa dogajajo tudi v površinskem sistemu. Tudi po zaključnem CC preskusu smo vzorce prvotnih dimenzij razžagali v vzorce za nadaljnje poskuse.

2.2.1 Ugotavljanje upogibne trdnosti

2.2.1 Determination of the bending strength

V raziskavi nas je zanimalo tudi, kako na mehanske lastnosti fasadnih oblog vplivajo spremembe njihove vlažnosti in temperature, ter kakšen je hkraten vpliv obeh dejavnikov. Del vzorcev smo tako obravnavali pred začetkom UPS in po njem oz. pred preskusom CC in po njem. Dodatne vzorce smo 24 ur namakali v vodi, 24 ur zamrzovali pri temperaturi – 15 °C oz. jih po 24 urah namakanja v vodi še 24 ur

zamrzovali. Upogibno trdnost tako pripravljenih vzorcev smo ugotovili na univerzalnem testirnem stroju Zwick Z005 po metodi 4-točkovnega upogiba, ki jo opisuje standard SIST EN 310 (1996).

2.2.2 Ugotavljanje sprememb lastnosti površinskih sistemov

2.2.2 Determination of changes of surface system properties

Spremembe barve na ploskvah vzorcev pred UPS in po njem so enostaven indikator različnih sprememb, ki so zaradi staranja nastale v materialu, kot npr. sprememb kemijske sestave, ipd. Barvni odtenek smo vrednotili po barvnem sistemu CIEL^{*}a^{*}b^{*}. Koordinate (L^{*}, a^{*} in b^{*}) pred UPS in po njem smo izmerili z optičnim bralnikom znamke Mustek. Spremembe barve površin vzorcev pred UPS in po njem smo izračunali po enačbi 1 (SIST EN ISO 11664-4, 2011):

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

kjer so ΔL^* , Δa^* , in Δb^* spremembe med začetnimi in končnimi vrednostmi L^{*}, a^{*}, oz. b^{*}.

Sijaj vzorcev pred UPS in po njem smo izmerili po standardu SIST EN 13722 (2004) na različnih mestih z instrumentom X-Rite AcuGloss TRI gloss, pri vpadnem kotu svetlobe 60°.

Spremembe omočljivosti ploskev in robov vzorcev pred UPS in po njem smo določili z metodo merjenja navideznega kontaktnega kota kapljic destilirane vode. Meritve smo izvedli z optičnim gonio- metrom Theta (Biolin Scientific Oy, Espoo, Finska). Kontaktno koto smo merili po analizi Young-Laplace, s pomočjo programske opreme (OneAttension verzija 2.4 (r4931), Biolin Scientific). Kapljice s prostornino 4 µL smo nanесли na 5 različnih mest glavne ploskve oz. roba posameznega vzorca. Kapljice na površinah smo opazovali 63 s (1,3 slike na minuto), z merjenjem kontaktnih kotov pa smo začeli, ko se je kapljica ločila od dozirnika, kar se je zgodilo približno 2 s po prvem kontaktu kapljice s površino vzorca.

Oprijem zaščitnega sloja laminata na obloženi CIP oz. premaznega sistema na FP smo pred UPS in po njem ter po CC obremenjevanju določili po metodi odtrgovanja pečatov, v skladu s standardom SIST EN ISO 4624 (2004).

2.3 UGOTAVLJANJE SEGREVANJA IN ODPORNOSTI PROTI VŽIGU (METODA Z GRELNO PLOŠČO)

2.3 DETERMINATION OF HEATING AND RESISTANCE AGAINST IGNITION («HOT PLATE» METHOD)

Toplotno prevodnost in odpornost fasadnih oblog proti vžigu smo določali s t.i. metodo grelne plošče (angl. »hot plate« - HP). Na segreto jekleno ploščo s temperaturo 350 °C smo postavili vzorec velikosti 100 mm × 100 mm za 10 minut. Prehajanje toplote skozi vzorec in njegovo segrevanje med meritvijo smo spremljali z infrardečo kamero Optris PI 160 (Optris GmbH). Kot indikator odpornosti proti vžigu smo vzorcem določili izgubo mase zaradi izpostavljenosti grelni plošči. Maso vzorcev smo tako izmerili pred začetkom preskusa, takoj po zaključku preskusa in po pretečenih 24 urah ohlajanja.

2.4 DOLOČANJE ODPORNOSTI FASADNIH OBLOG PROTI GLIVAM

2.4 DETERMINATION OF FAÇADE CLADDING RESISTANCE AGAINST FUNGI

2.4.1 Določanje odpornosti proti glivam modrivkam

2.4.1 Determination of the resistance against blue-stain fungi

Dovzetnost za okužbo z glivami modrivkami smo ugotavljali po modificirani standardni metodi (SIST EN 152, 2012), ki temelji na vizualnem ocenjevanju obarvanosti površine. Pripravili smo vzorce velikosti 50 mm × 40 mm, pri čemer v primeru obloge iz CIP tega nismo obložili z laminatom, saj prisotnost laminata na površini zagotovo ne bi predstavljala primerne podlage za razvoj gliv modrivk in prodor njihovih hif v notranjost. Vse razen ene od večjih ploskev vzorcev smo zatesnili z dvokomponentnim epoksidnim premaznim sistemom Epolor HB (Helios d.o.o., dva nanosa). Hranilni medij v gojišču za glivi *Aureobasidium pullulans* (de Barry) Arnaud [MB#101771] in *Sclerophoma pithyophila* (Corda) [MB#535309] je predstavljal koncentrirani sladni ekstrakt (Malt Extract), z dodatkom citronske kisline, NaOH in HCl. Glivi sta 7 dni preraščali v avtoklaviranih erlenmajericah (45 min; 120 °C; 1,5 bar). Po preraščanju smo raztopini prefiltrirali, zmešali skupaj in dobili suspenzijo spor testnih gliv. V avtoklavirane Kollajeve steklenice smo vstavili filtrirni papir, dolili 15 mL suspenzije spor gliv modrivk in vsta-

vili vzorec tako, da je bila nezatesnjena površina obrnjena navzdol. Vzorce smo za 6 tednov izpostavili glivam modrivkam. Po tem obdobju smo vzorce vzeli iz steklenic, jih prečno prežagali na pol in določili obseg obarvanja.

zarce in jih nato za 12 tednov izpostavili glivam razkrojevalkam lesa *Gloeophyllum trabeum* in *Trametes versicolor*. Po izpostavitvi glivam smo vzorce očistili, posušili v sušilniku ($(103 \pm 2) ^\circ\text{C}$) in določili njihovo spremembo mase (Žlahtič Zupanc et al., 2017).

2.4.2 Določanje odpornosti proti glivam razkrojevalkam

2.4.2 Determination of resistance against wood-decay fungi

Za določanje odpornosti fasadnih oblog proti glivam razkrojevalkam smo pripravili vzorce velikosti 30 mm × 15 mm × debelina obloge, s čimer smo nekoliko odstopali od zahtev standarda SIST EN 113 (2006), ki sicer predpisuje vzorce velikosti 50 mm × 25 mm × 15 mm. Razmerje med stranicami vzorcev smo prilagodili omejujoči dimenziji – debelini obloge. Hranilni medij v gojišču za glive je predstavljal krompirjev glukozni agar (PDA – DIFCO). Kozarce, v katerih smo pripravili gojišče, in mrežice iz umetne mase, ki so služile kot opora vzorcev na hranilnem gojišču in preprečevale neposreden stik vzorcev s hranilnim medijem, smo predhodno sterilizirali v avtoklavu (45 min; 120 °C; 1,5 bar). Ko so se kozarci ohladili, smo hranilno gojišče inokulirali z izbranimi vrstami gliv in jih postavili v klimatizirano komoro (25 °C, 85 % RZV) za 7 dni. Tudi vzorce smo avtoklavirali, nakar smo jih v sterilnih pogojih vstavili v ko-

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 MEHANSKE IN FIZIKALNE LASTNOSTI FASADNIH OBLOG

3.1 MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF FAÇADE CLADDINGS

3.1.1 Gostota fasadnih oblog

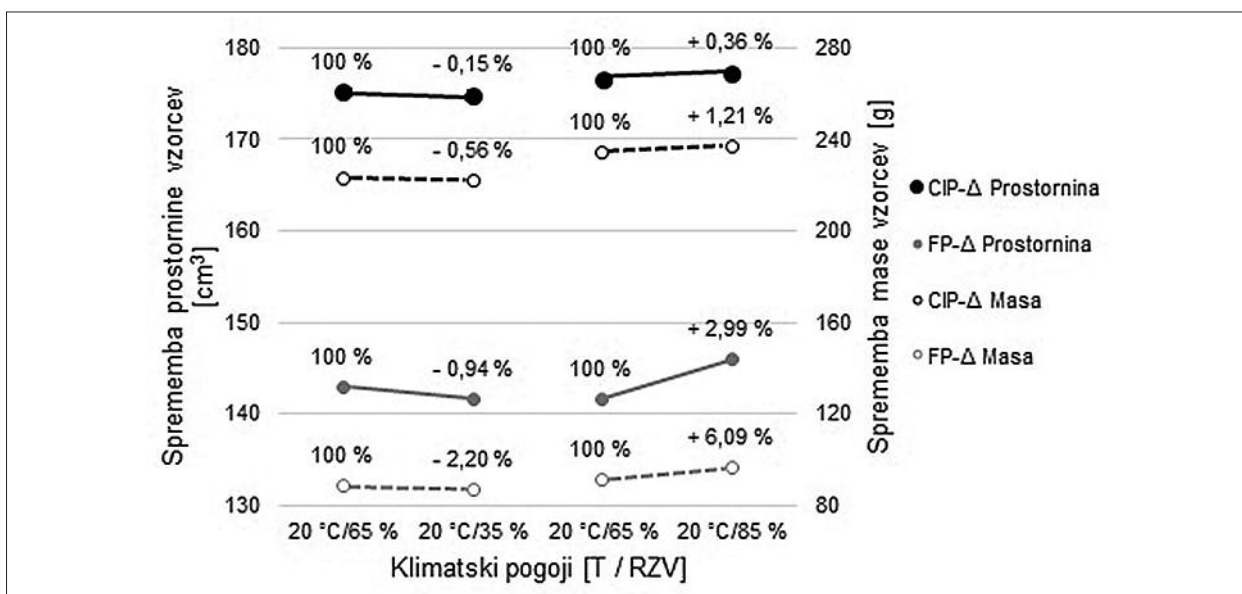
3.1.1 Density of façade claddings

Normalna gostota obložene CIP je znašala 1424 kg m⁻³, normalna gostota površinsko obdelane FP pa je znašala 676 kg m⁻³. Debelina vzorcev obložene CIP je bila v povprečju 11,76 mm, debelina vzorcev površinsko obdelane FP pa 9,39 mm.

3.1.2 Spremembe dimenzij in mase, povezanih s spremembo RZV

3.1.2 Changes of dimensions associated with changes in RH

Spremembe dimenzij in mase vzorcev fasadnih oblog, ki so bili izpostavljeni atmosferi z različnimi RZV, so prikazane na sliki 1. Na levi strani grafikona



Slika 1. Sprememba prostornine in mase vzorcev kompozitov ob spremembi RZV.

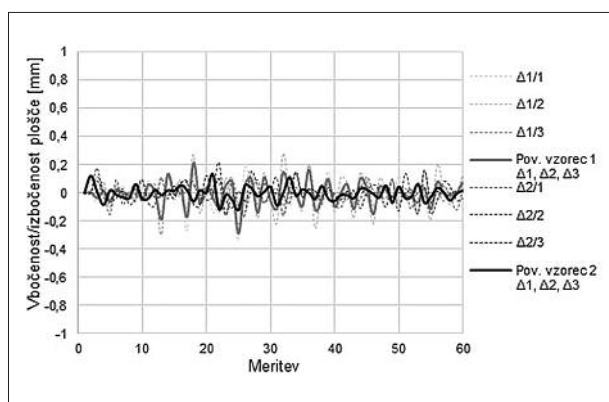
Figure 1. Changes of volume and mass of the composites associated with changes in RH.

so prikazane spremembe prostornine in mase vzorcev, ki smo jih prestavili iz prostora s srednjo RZV (65 %) v prostor z nižjo RZV (35 %), na desni strani grafikona pa spremembe prostornine in mase vzorcev, ki smo jih prestavili iz prostora s srednjo RZV (65 %) v prostor z višjo RZV (85 %). Iz naklona krivulj, kot tudi iz razlik med posameznimi meritvami, je razvidno, da so spremembe prostornine in mase zaradi spremembe klimatskih pogojev pri CIP manjše kot pri FP. Spremembe prostornine vzorcev, prikazane na sliki 1, so posledica sprememb dimenzij v vseh treh smereh (debelina, širina in dolžina). Naključna horizontalna razporejenost in usmerjenost gradnikov v CIP je razlog za to, da so bile spremembe v dolžini in širini vzorcev skoraj podobne, medtem ko so bile spremembe debeline veliko večje. Delci lesnih iveri/vlaken imajo sicer pri enakem volumnu večji vpliv na dimenzijske spremembe CIP kot cement (Fan et al., 2004a). Podoben pojav lahko opazimo pri FP, kjer k večjemu debelinskemu nabreku plošče pripelje sprememba debeline furnirnega lista v plošči.

3.1.3 Vbočenost in izbočenost plošč med preskusom »cold check«

3.1.3 Downward and upward deflection of boards during »cold check« testing

Izbočenost oz. vbočenost vzorcev fasadnih oblog, izmerjena med preskusom CC na treh mestih površine posameznega vzorca glede na referenčno šablono, je prikazana na slikah 2 in 3. Rezultati so po-



Slika 2. Vbočenost in izbočenost plošč vzorcev obložene CIP med preskusom CC v različnih točkah merjenja.

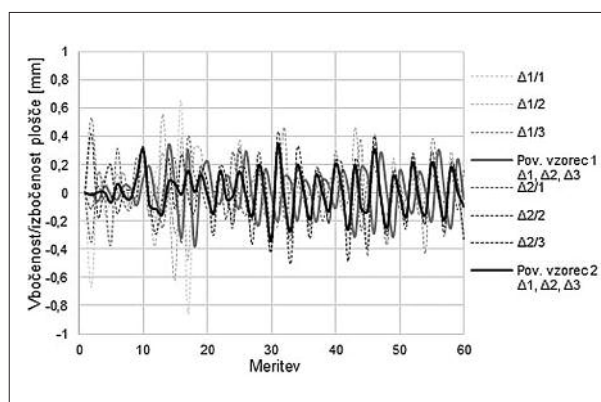
Figure 2. Downward and upward deflection of surfaced CBP during CC testing at different points of measurement.

kazali, da tudi temperatura vpliva na dimenzijske spremembe materiala. Izmerjene spremembe dimenzij, ki so se pojavile pri posamezni plošči zaradi spremembe temperature v okolici, so pokazale, da je obložena CIP bolj stabilna od površinsko obdelane FP. Razlog za to sta vrsta in velikost gradnikov, iz katerih sta plošči narejeni. Znano je, da imajo lesne iveri/vlakna manjši koeficient termičnega raztezka kot cement (Frangi & Fontana, 2003). V CIP cement predstavlja dovolj velik del kompozita, da lesna vlakna niso imela tako velikega vpliva na obnašanje vzorcev ob spremembah temperature okolice. Furnir, ki v večjem deležu tvori FP ploščo, pa je ob spremembi temperature povzročil njeno večje dimenzijsko delovanje.

3.1.4 Upogibna trdnost

3.1.4 Bending strength

V preglednici 1 in na sliki 4 so prikazane vrednosti elastičnega modula in upogibne trdnosti fasadnih oblog pred preskusom CC in po njegovem zaključku oz. pred UPS in po njem, 24 urnem namakanju v vodi, 24 urnem zamrzovanju in po 24 urnem namakanju v vodi z dodatnim 24 urnim zamrzovanjem. Ugotovili smo, da se je po 24 urah namakanja v vodi masa obložene CIP povečala za 11,53 %, masa površinsko obdelane FP pa za 10,43 %. Upogibna trdnost obložene CIP je bila nižja od upogibne trdnosti FP (Preglednica 1). Velik vpliv na upogibno trdnost kompozitov ima vrsta, velikost, razporejenost oz.



Slika 3. Vbočenost in izbočenost plošč vzorcev površinsko obdelane FP med preskusom CC v različnih točkah merjenja.

Figure 3. Downward and upward deflection of coated PW during CC testing at different points of measurement.

usmerjenost njihovih gradnikov. K upogibni trdnosti obložene CIP je največ prispeval laminat za oblaganje, ki se je nahajal na zunanji strani kompozita. Upogibna trdnost same nosilne CIP je v povprečju namreč znašala 11,97 MPa. K višji upogibni trdnosti FP je v veliki meri prispevala njena slojnata zgradba iz med seboj križno usmerjenih slojev furnirja in prisotnost fenol-formaldehidnega lepila v spojih med furnirji. Pri obeh kompozitih je po zaključenem CC preskusu in UPS prišlo do zmanjšanja upogibne trdnosti in modula elastičnosti pri upogibu. Izmenjevanje temperature med CC preskusom je bolj negativno vplivalo na upogibno trdnost obložene CIP (Preglednica 1). Postopek UPS, pri katerem pride do navlaževanja in sušenja vzorcev, je na oba kompozita vplival podobno. Namakanje obložene CIP v vodi ni povzročilo tolikšnega zmanjšanja upogibne trdnosti kot UPS, saj voda ni prodrla preko njenega celotnega preseka, kar je bilo opaziti na prečnem prerezu vzorcev po namakanju. Namakanje FP v vodi je bolj vplivalo na njeno upogibno trdnost, kar je verjetno posledica prodora vode in nabreka vzorcev na robovih. Vpliv zamrzovanja na upogibno trdnost kompo-

zitiv je bil manjši kot vpliv namakanja. Dodatno zamrzovanje namočenih vzorcev ni dodatno znižalo upogibne trdnosti obeh oblog.

3.1.5 Hitrost segrevanja in odpornost proti vžigu (metoda z grelno ploščo)

3.1.5 Rate of heating and resistance against ignition («hot plate» method)

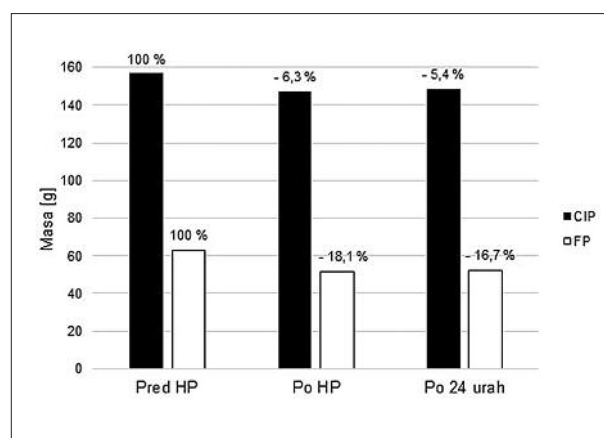
Slika 4 prikazuje spremembo mase vzorca CIP pred začetkom preskusa z metodo z grelno ploščo, takoj po zaključku preskusa in po dodatnih 24 urah ohlajanja. Ob postavitvi vzorca obložene CIP in površinsko obdelane FP na grelno ploščo je pri obeh prišlo do pojava tlenja materiala ob prisotnosti dima. Na strani obložene CIP, ki je bila v stiku z grelno ploščo, je laminat za oblaganje delno pooglenel, medtem ko je lepilni spoj PU lepila popolnoma razpadel. Vendar je bila izguba mase občutno nižja, kot pri površinsko obdelani FP. Pri tej je izpostavljeni sloj furnirja popolnoma pooglenel, kar je predstavljalo skoraj petino izgubljene prvotne mase vzorca. Prehod toplote skozi obloženo CIP je bil nekoliko počasnejši, kot pri površinsko obdelani FP. Maksimalna temperatura ploskve, ki ni bila v stiku z grelno ploščo, je po 10 minutah segrevanja pri slednji znašala 143 °C, pri obloženi CIP pa 89,1 °C (preglednica 2). Zračni žepi, ki so se v laminatu za oblaganje pojavili med segrevanjem zaradi njegovega razslojevanja, so namreč nekoliko upočasnili prehod toplote po preseku tega kompozita.

Preglednica 1. Upogibna trdnost kompozitov pred izpostavitvijo različnim vplivom in po njej.

Table 1. Bending strength of the composites before and after exposure to different impacts.

Kompozit	Obdobje meritve	E modul [MPa]	Upogibna trdnost [MPa]
Obložena cementno-iverna plošča	Normalna klima	8660 (860,8)	48,92 (11,2)
	Po CC	7760 (100,2)	45,25 (1,3)
	Po UPS	6198 (586,8)	38,96 (5,5)
	24 ur v vodi	7818 (392,4)	44,73 (2,9)
	24 ur zamrzovanje	9054 (117,7)	50,07 (2,4)
	24 ur v vodi + 24 ur zamrzovanje	8166 (202,2)	47,12 (1,5)
Površinsko obdelana furnirna plošča	Normalna klima	10214 (228,0)	85,85 (1,3)
	Po CC	9766 (97,1)	84,65 (3,5)
	Po UPS	9656 (535,0)	67,21 (7,1)
	24 ur v vodi	7222 (433,1)	62,59 (6,6)
	24 ur zamrzovanje	9942 (587,5)	78,19 (10,2)
	24 ur v vodi + 24 ur zamrzovanje	7544 (537,9)	62,69 (2,9)

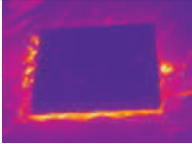
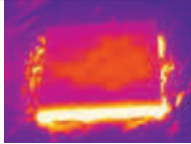
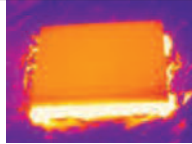
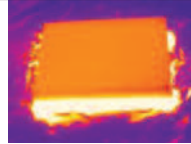
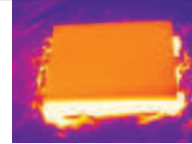





* V oklepajih so prikazane vrednosti standardnega odklona.



Slika 4. Izguba mase kompozitov takoj po izvedbi in 24 ur po preskusu z metodo grelne plošče (HP).

Figure 4. Mass loss of the composites immediately after and 24 hours after «hot plate» (HP) method testing was performed.

Preglednica 2. Segrevanje vzorcev kompozitov med preskusom z metodo grelne plošče (HP).
Table 2. Heating of the samples of the composites during the »hot plate« (HP) method test.

Vrsta kompozita	Čas posnetka, temperatura zgornje ploskve vzorca				
	0 s	150 s	300 s	450 s	600 s
Cementno-iverna plošča	 26 °C	 67 °C	 91 °C	 89 °C	 89 °C
Furnirna plošča	 31 °C	 68 °C	 99 °C	 113 °C	 143 °C

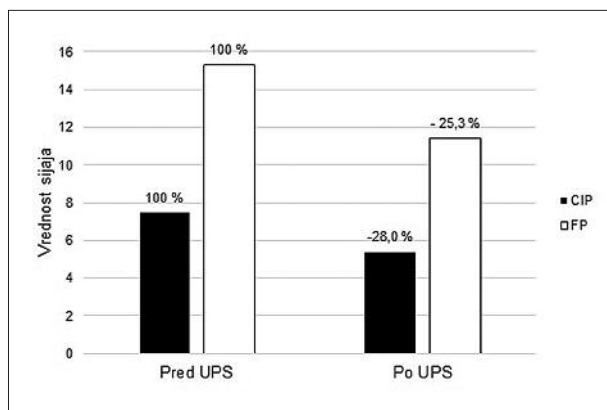
3.2 SPREMEMBE LASTNOSTI POVRŠINSKIH SISTEMOV

3.2 CHANGES OF SURFACE SYSTEM PROPERTIES

3.2.1 Barva in sijaj površine

3.2.1 Colour and gloss of the surface

Sprememba barve laminata za oblaganje s temnorjavim odtenkom, s katerim je bila obložena CIP, je v primerjavi z začetno vrednostjo komponent L^* , a^* in b^* po postopku UPS znašala $\Delta E = 1,94$, sprememba barve premaznega sistema na površini FP pa $\Delta E = 5,04$. S tem se je pokazalo, da je laminat za oblaganje veliko bolj barvno obstojen (nižji ΔE) kot površinski sistem, ki ga tvorijo lazure. Barvne spremembe, ki so se zgodile na površini oblog, so bile zaznavne tudi s človeškim očesom, saj je ΔE znašal ≥ 1 .



Slika 5. Vrednost sijaja površine kompozitov pred UPS in po njem.

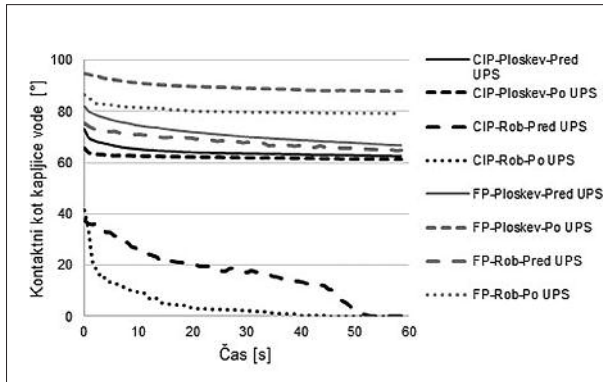
Figure 5. Gloss value of the surface of the composites before and after AAW testing.

Sijaj laminata pri obloženju CIP se je s postopkom UPS spremenil nekoliko bolj (za 28,0 %) kot sijaj premaznega sistema lazur na površini FP (za 25,3 %) (slika 5). Do sprememb barve in sijaja površin pri obeh kompozitih je prišlo zaradi vpliva UV svetlobe, IR sevanja, sprememb temperature in RZV med postopkom UPS. Ti dejavniki so vplivali na lastnosti polimerov zunanjih slojev laminata za oblaganje oz. utrjenega filma premaznega sistema na površini FP, s čimer se je spremenila tudi morfologija površin.

3.2.2 Kontaktni koti kapljice vode

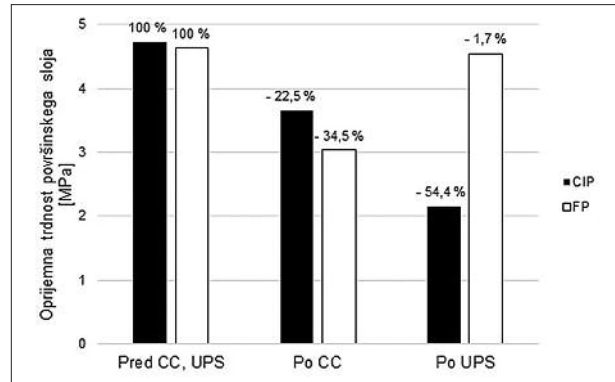
3.2.2 Water droplet contact angles

Sprememba morfologije oz. povečanje hrapavosti površin fasadnih oblog sta vplivala tudi na interakcije nanese kapljice destilirane vode oz. na kontaktni kot (slika 6). Nižji kontaktni kot pomeni večjo omočljivost površine. Na splošno se je premazni sistem na površinah FP izkazal za bolj hidrofobnega. Kontaktni kot kapljice vode, nanese na površino laminata pri obloženju CIP, je po postopku UPS upadel, kar je posledica spremembe morfologije zaščitnega sloja. Na robovih vzorcev CIP laminata ni bilo, zato je bil ta že pred postopkom UPS bolj dovzeten za vpijanje kapljice destilirane vode. Po postopku UPS se je njen kontaktni kot še zmanjšal. Pri površinsko zaščiteni FP se je kontaktni kot kapljic na premazanem robu in površini po postopku UPS zvišal. Predvidevamo, da je razlog za ta pojav povečana hrapavost površin, do katere je prišlo po izpostavitvi UPS (Custódio & Eusébio, 2006; Kúdela et al., 2017).



Slika 6. Časovni potek spreminjanja kontaktnega kota kapljice vode na robu in površini kompozitov pred CC in UPS ter po zaključku obeh preskusov.

Figure 6. Time lapse of water droplet contact angle on the edge and surface of the composites before and after CC or AAW testing, respectively.



Slika 7. Oprijemna trdnost površinskega sistema kompozitov pred in po zaključku CC oz. UPS preskusa.

Figure 7. Adhesion strength of the surface system of the composites before and after CC or AAW testing, respectively.

3.2.3 Oprijem površinskega sistema

3.2.3 Adhesion strength of the surface system

Oprijem zaščitnega sloja laminata pri obloženi CIP oz. površinskega sistema na FP je po preskusu CC in UPS upadel (preglednica 3 in slika 7). V primeru obložene CIP je na oprijem zunanjšega sloja laminata postopek UPS vplival bolj negativno kot postopek CC. Pri vseh meritvah je prišlo do porušitve

tve v območju med zaščitnim slojem laminata in utrjenim lepilnim spojem odstranjenega pečata. Postopek UPS je na oprijem površinskega sistema FP vplival veliko bolj negativno kot CC preskus. Pri vzorcih iz CC preskusa je do porušitve prišlo na stiku med podlago in utrjenim filmom temeljnega premaza (adhezijski lom), medtem ko je pri vzorcih iz preskusa UPS prišlo do midslojne porušitve med filmom temeljnega in končnega premaza.

Preglednica 3. Izmerjene vrednosti oprijema površinskega sistema na podlago pred CC oz. UPS in po obeh vrstah preskusa.

Table 3. Measured value of adhesion of the surface system on the substrate before and after CC or AAW testing, respectively.

Vzorec	Obložena CIP			Površinsko obdelana FP		
	Izmerjena napetost, oprijem [MPa]			Izmerjena napetost, oprijem [MPa]		
	Pred CC, UPS	Po CC	Po UPS	Pred CC, UPS	Po CC	Po UPS
1	4,52*	4,01*	2,17*	4,93	3,97*	2,81
2	4,89*	3,51*	2,79*	4,88	4,53*	2,81
3	4,82*	3,99*	2,42*	4,31	4,35*	2,86
4	4,65*	4,15*	3,01*	4,72	4,77*	2,68
5	4,71*	4,09*	2,81*	4,36	4,72*	3,45
6	4,52*	3,04*	1,70*	4,81	4,69*	3,06
7	4,51*	3,31*	1,03*	4,68	4,15*	3,51
8	4,71*	4,08*	1,64*	4,37	4,50*	3,10
9	4,83*	3,54*	2,19*	4,62	4,96*	3,10
10	4,96*	2,81*	1,73*	4,57	4,81*	2,92
Povprečje	4,71	3,65	2,15	4,63	4,55	3,03
St. odklon	0,15	0,46	0,60	0,21	0,30	0,26

* - Pojav kohezijskega loma.

3.3 ODPORNOST FASADNIH OBLOG PROTI GLIVAM

3.3 RESISTANCE OF FAÇADE CLADDINGS AGAINST FUNGI

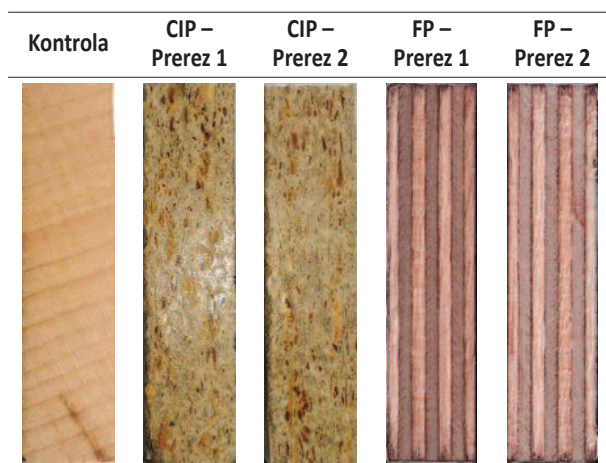
3.3.1 Odpornost proti glivam modrivkam

3.3.1.1 Resistance against blue-stain fungi

Preskus odpornosti oblog proti okužbi z glivami modrivkami je pokazal, da glive niso prodrle v notranjost kompozita (nosilne plošče) in jih posledično niso obarvale (preglednica 4). Rast gliv modrivk in prodor njihovih hif v CIP je najverjetneje onemogočen zaradi prisotnosti cementa, s katerim so povezane iveri lesa. Premazni sistem na površini FP pa je predstavljal zadostno bariero, ki je preprečevala prodor hif do lesa.

Preglednica 4. Prečni prerezi kontrolnega vzorca, vzorca obložene CIP in površinsko obdelane FP po preskusu odpornosti proti okužbi z glivami modrivkami.

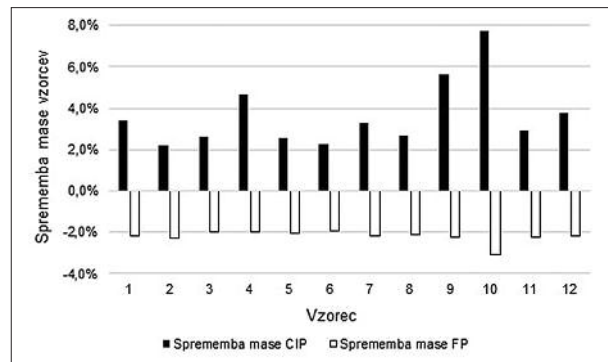
Table 4. Cross cut of the control sample, sample of the surfaced CBP and surface-finished PW after testing of resistance against blue-stain fungi.



3.3.2 Odpornost proti glivam razkrojevalkam

3.3.2 Resistance against wood-decay fungi

Obe vrsti fasadnih oblog sta se izkazali za odporni proti glivi bele (*Trametes versicolor*) in glivi rjave trohnobe (*Gloeophyllum trabeum*). Sprememba mase vzorcev po preteku poskusa je bila namreč zanemarljivo majhna (slika 8). Izgubo mase med razkrojem, ki je manjša od 3 %, standard SIST EN 113 obravnava kot zanemarljivo, saj ni jasno, ali je tako nizka izguba mase posledica izpiranja topnih sestavin, eksperimentalne napake ali je dejansko



Slika 8. Sprememba mase kompozitov po izpostavitvi vzorcev glivam razkrojevalkam.

Figure 8. Mass changes of the composites after exposure of the specimens to wood-decay fungi.

prišlo do razkroja. V primeru obložene CIP je prišlo celo do porasta mase (v povprečju 3,6 %), kar so ugotovili tudi Okino et al. (2005) in Papadopoulos (2008). Vzorce površinsko obdelane FP so v povprečju izgubili 2,2 % mase. Ta vrednost nakazuje na relativno dobro odpornost FP, kar pa je tudi posledica uporabe biocidnega premaza.

4 ZAKLJUČKI

4 CONCLUSIONS

Glede na rezultate raziskave sta tako obložena CIP kot tudi površinsko obdelana FP primerni za uporabo v gradbeništvu kot element obloge prezračevane fasade, ki se nahaja v 2., 3.1. ali 3.2. razredu uporabe (EN 335, 2013). Z izpostavitvijo preskušanih oblog različnim abiotskim in biotskim dejavnikom smo se želeli čim bolj približati pogojem realne uporabe. Test upogibne trdnosti je pokazal, da je upogibna trdnost FP (85,85 MPa) višja od upogibne trdnosti obložene CIP (48,92 MPa). Na drugi strani se je izkazalo, da se upogibna trdnost ob namakanju plošče (-27,1 %), zamrzovanju (-8,9 %) in kombinaciji obojega (-27,0 %) bolj zniža pri FP kot pri CIP (-8,6 %, 2,4 %, -3,7 %). Prav tako se je FP slabše odzvala na spremembe RZV, saj so se njene dimenzije in masa spreminjale bolj kot pri CIP. Obe vrsti fasadnih oblog se pri temperaturi preskušanja nista vneli, površinsko obdelana FP (-16,7 %) pa je izgubila nekoliko več mase kot obložena CIP (-5,4 %). Po postopku umetnega pospešenega staranja in temperaturnega obremenjevanja se je laminat za oblaganje na zunanjih ploskvah CIP ($\Delta E = 1,94$) izka-

zal za barvno obstojnejšega od premaznega sistema na površini FP ($\Delta E = 5,04$). Slednji se je izkazal tudi za bolj hidrofobnega, saj smo na njem izmerili večji kontaktni kot kapljice vode tako pred postopkom umetnega pospešenega staranja kot po njem. Oprijem premaznega sistema na FP se je po postopku UPS zmanjšal za 34,5 %, po preizkusu CC pa le za 0,4 %. Pri preizkusu oprijema laminata na CIP smo imeli težave, saj je bila že ob nanosu lepila njegova penetracija v podlago premajhna. Obe vrsti fasadnih oblog nista dovzetni za okužbo z glivami modrivkami (na prečnem prerezu ni bilo vidnega prodora hif v oblogo) in razkrojevalkami (pri FP je bila izguba mase le 2,2 % oz. je pri CIP ni bilo).

5 POVZETEK

5 SUMMARY

Wood-based panels (WBP) have been used since the beginning of the 20th century due to improved dimensional stability, mechanical properties and service life in comparison with solid timber. With development of new types of wood composites, the means of use of WBP got numerous, including some where WBP are being exposed to outdoor conditions. In recent years, there is an evolving trend of using ventilated wooden façades in private as well as public building constructions. The aim of this study was to assess the functionality of two different types of WBP, used as claddings on ventilated façade system. The first panel was a cement-bonded particleboard (CBP), surfaced with a low-pressure laminate. The other panel was a moisture resistant plywood (PW), treated with boric acid biocide and coated with a stain-coating system. We exposed both WBP to artificial accelerated weathering (AAW), temperature cycling (CC) testing and biotic factors, in order to simulate the processes of real-world outdoor conditions. We conducted various experiments to test their resistance to weathering processes. Changes in relative humidity had a stronger influence on the dimensional stability of PW than CBP. Higher moisture content also affected the bending strength of PW more than that of CBP, although PW generally performed better in the bending tests. CBP proved to be more resilient to high temperatures. However, the polyurethane resin in the bondline and laminate did not withstand temperatures during the »hot plate« test, resulting in bondline degradation and laminate

delamination. The AAW and CC tests showed that CBP is less prone to colour and gloss change than PW. On the other hand, PW performed better in the water droplet contact angle and adhesion tests. Neither wood-decay fungi nor blue-stain fungi did not affect either of the composites. Overall, we believe both types of WBP tested are suitable for use as cladding in a ventilated façade system.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENTS

Izvedbo raziskave je omogočila Agencija za raziskovalno dejavnost RS (ARRS), s financiranjem programske skupine P4-0015 – Les in lignocelulozni kompoziti. Del raziskav je potekal tudi v okviru projektov Razvoj verig vrednosti v okviru razpisov Strategije pametne specializacije; TIGR4smart. Avtorja se za pomoč pri raziskavi in pripravi prispevka zahvaljujeta prof. dr. Mihi Humarju, prof. dr. Marku Petriču in izr. prof. dr. Sergeju Medvedu z Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete.

VIRI

REFERENCES

- Abdel-Aal (2014). Mechanical properties and dimensional stability of wood-cement particleboard from tree prunings residues of some wood species as affected by the panel density. *Alexandria Sci. Exch. J.*, 35, 3, 215-225.
- ASTM D1211 (1997). Standard test method for temperature-change resistance of clear nitrocellulose lacquer films applied to wood.
- Cetris (2017). Cetris® Basic. Dostopno na <http://www.cetris.cz/en/systems/hobby/cetris-basic-board/>
- Custódio, J. E. P., & Eusébio, M. I. (2006). Waterborne acrylic varnishes durability on wood surfaces for exterior exposure. *Prog. Org. Coat.*, 56, 59-67.
- Fan, Z. M., Bonfield, W. P., & Dinwoodie, M. J. (2000). Dimensional instability of cement bonded particleboard: SEM and image analysis. *Journal of materials science*, 35, 6213-6220.
- Fan, Z. M., Bonfield, W. P., Dinwoodie, J. M., Boxall, J., & Bresse, C. M. (2004a). Dimensional instability of cement-bonded particleboard: The effect of surface coating. *Cement and Concrete Research*, 34, 1189-1197.
- Fan, Z. M., Bonfield, W. P., Dinwoodie, J. M., & Bresse, C. M. (2004b). Dimensional instability of cement bonded particleboard: contributions to its occurrence. *Wood Sci. Technol.*, 38, 335-347.
- Fan, Z. M., Dinwoodie, M. J., Bonfield, W. P., & Bresse, C. M. (2004c). Dimensional instability of cement bonded particleboard. Part 2: Behaviour and its prediction under cyclic changes in RH. *Wood Sci. Technol.*, 38, 53-68.