

Utjecaj nestabilnosti bočnih stranica MDF ploča na pucanje lakiranih filmova

Impact of MDF Board Side Plane Instability on Lacquer Film Crack Appearance

Stručni rad • Professional paper

Prispjelo – received: 5. 2. 2010.

Prihvaćeno – accepted: 27. 4. 2011.

UDK: 630*863.312

doi:10.5552/drind.2011.1004

SAŽETAK • U radu su provedena istraživanja konkretnog problema drvnotehnoške prakse u tvrtki koja proizvodi dovratnike od srednje gustih ploča vlaknatica (MDF, engl. medium density fiberboards). Vidljive stranice MDF dovratnika površinski su lakirane bijelim poliuretanskim lakom. Tridesetak dana nakon ugradnje na bočnim stranicama dovratnika pojavile su se dužinske pukotine u lakiranom filmu. U istraživanju pojave tih pukotina ispitana su tehnička svojstva i koncentracija slobodnog formaldehida MDF ploča originalnog dovratnika proizvođača K, MDF ploča istog proizvođača iz pogona proizvodnje dovratnika, MDF ploča proizvođača H te lakiranih eksperimentalnih MDF ploča oba proizvođača. Eksperimentalne ploče s oznakom KE, proizvođača K, jedine su zadovoljile zahtjeve normi HRN EN 622-5 za ploče vlaknatice za opću uporabu u suhim uvjetima (tip MDF). Struktura lakirane površine testirana je nanošenjem 97-postotne sulfatne kiseline (H_2SO_4) na tanke lamele debljine 5 mm koje su ispiljene od bočnih stranica eksperimentalnih uzoraka te uzoraka originalnog dovratnika. Djelovanjem kiseline destruiran je završni sloj laka, a pigmentirani temelj s ostalim dodacima sastrugan je s površine. Uočeno je da lakirani film originalnoga lakiranog dovratnika proizvođača MDF ploča K nema sloj dvokomponentnoga poliuretanskog bezbojnog temelja ili je nanesen u neznačajnoj količini. Pucanje lakirnog filma na bočnim stranicama posljedica je dubinskih pukotina u strukturi MDF ploče, koje se pojavljuju tridesetak dana nakon lakiranja. Eksperimentalne ploče s oznakom KE, proizvođača MDF ploča K, imaju optimalan sloj dvokomponentnoga poliuretanskog bezbojnog temelja, dvokomponentni poliuretanski bijeli temelj te poliuretanski dvokomponentni polumat lak i na njima nisu uočene izrazitije pukotine na bočnim stranicama. Pri lakiranju MDF ploča potrebno je nanijeti optimalan sloj dvokomponentnoga bezbojnog poliuretanskog temelja na bočne stranice te potpuno zaštititi dovratnike poliuretanskim filmovima, a ne samo na vidljivim stranicama. Nužno je primijeniti nosive MDF ploče za uporabu u suhim uvjetima tipa MDF.LA, a u uvjetima povišene relativne vlage zraka primijeniti ploče vlaknatice za opću uporabu u vlažnim uvjetima tipa MDF.H ili nosive ploče za uporabu u vlažnim uvjetima tipa MDF.HLS. Tanka MDF ploča, slijepljena s debelom MDF pločom, mora imati povećanu otpornost na vodu ili to mora biti ploča vlaknatica iz skupine HDF ploča.

Ključne riječi: tip MDF ploča, poliuretanski film, tehnička svojstva, pukotine lakiranih filmova, pukotine MDF ploča

ABSTRACT • This paper presents the research of a specific problem met in woodworking practice by the company K that manufactures door frames made of MDF boards (medium density fibreboards). Visible side surfaces of MDF door frames were lacquered with white polyurethane lacquer. Thirty days after installation, longitudinal surface

¹ Autori su izvanredni profesor i asistent na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Republika Hrvatska. ² Autorica je zaposlenica u Holzcluster Steiermark GmbH, Graz, Republika Austrija. ³ Autor je izvanredni profesor na Univerzitetu Sv. Kiril i Metodij, Skopje, Republika Makedonija.

¹ Authors are associated professor and assistant at Faculty of Forestry, University of Zagreb, Croatia. ² Author is BSc in wood technology, employee of Holzcluster Steiermark GmbH, Graz, Austria. ³ Author is associated professor at University of Sv. Kiril i Metodij, Skopje, Republic of Macedonia.

cracks appeared in the lacquer film on side planes of the door frame. Within the research of the said appearance of cracks, testing was carried out of technical properties and free formaldehyde concentration of the original door frame made of MDF boards by the manufacturer K, MDF boards of the same manufacturer from door frame plant, MDF boards made by the manufacturer H and lacquered experimental MDF boards of both manufacturers.

The lacquered surface structure was tested by applying 97 % sulphuric acid (H_2SO_4) on 5 mm thick lattices that were cut out from side planes of experimental and original door frame samples. The action of acid destructed the lacquer final layer, and pigmented base with other additives was scraped off the surface. It was noticed that the lacquer film on the original door frame made of MDF panels by the manufacturer K had no two-component polyurethane clear base, or that it was applied in a very small quantity.

Lacquer film cracking on side planes is the consequence of in-depth cracks in the structure of MDF panels that occur thirty days after lacquering. Experimental boards designated KE, produced by MDF manufacturer K, have an optimum layer of two-component polyurethane clear base, two-component polyurethane white base and two-component polyurethane semi gloss enamel paint. On side planes of these boards no distinctive cracks were observed. In lacquering MDF boards, it is necessary to apply two-component polyurethane clear base on side planes, and to fully protect the door frames with polyurethane films, and not only the visible planes.

The use of load bearing MDF boards is necessary in dry conditions - MDF.LA type, and in increased relative humidity, fibreboards are required for general use in humid conditions - MDF.H type or load bearing boards for use in humid conditions - MDF.HLS type. Thin MDF board, glued to a thick MDF board, must be resistant to water or be an HDF fibreboard.

Key words: MDF board, polyurethane film, technical properties, lacquer film cracks, MDF board cracks

1. UVOD 1 INTRODUCTION

Ovaj se rad temelji na istraživanjima industrijski proizvedenih dovratnika od MDF ploča lakiranih bijelim poliuretanskim lakom na kojima je tridesetak dana nakon ugradnje popucala prevlaka na bočnim stranicama. No do pucanja prevlaka došlo je i na neugrađenim lakiranim dovratnicima u skladištu. S obzirom na to da je proizvođač lakiranih dovratnika rabio MDF ploče dvaju proizvođača, provedeno je istraživanje spomenute pojave na pločama obaju proizvođača. Prethodna istraživanja (Jambreković i sur., 2009) pokazala su da razlog pukotina mogu biti MDF ploče, pa se u ovom radu detaljnije analiziraju njihova svojstva.

U posljednje vrijeme sve je češća uporaba ploča vlaknatica, osobito MDF ploča u graditeljstvu (konstrukcijske ploče, vrata, nogostupi, ograde, podovi, zidne i stropne obloge i sl.) kao alternativa masivnom drvu. Iako se MDF smatra najboljom zamjenom za masivno drvo, svojstva MDF-a osjetno su drugačija. MDF ploče imaju prilično ujednačena svojstva u svim smjerovima, no ipak su im površine bočnih stranica, osobito u MDF ploča veće debljine (>35 mm), osjetno poroznije od plošnih površina te imaju veću poroznost prema sredini ploče (Medved i Jambreković, 2001). Sorpcijski procesi (bubrenje, utezanje) u debelih MDF ploča mogu uzrokovati nestabilnost ploča te oštećenja na sintetičkim prevlakama.

Uočeno je da se s povećanjem gustoće MDF i HDF ploča (> 850 kg/m³) povećava linearno širenje/utezanje i debljinsko bubrenje/utezanje. Pri tome je debljinsko bubrenje i utezanje veće od linearnog širenja i utezanja (Ayrilimis, 2007).

U ispitivanju ovisnosti modula smika, čvrstoće raslojavanja i gustoće profila MDF ploča nije ustanovljena korelacija između mjesta popuštanja i parametara dobivenih snimkom gustoće profila. Popuštanja u središnjem dijelu uzoraka događala su se samo ako je najniža

gustoća bila manja od 30% srednje vrijednosti gustoće (Schulte i Frühwald, 1996). Modul elastičnosti i modul smika povećavaju se s povećanjem gustoće, a smanjuju sa smanjenjem sadržaja vode (Ganev i sur., 2005).

Istraživanje linearnog širenja i debljinskog bubrenja MDF ploča kao funkcije gustoće ploča i stanja sorpcije (Ganev i sur., 2005) pokazala su da je linearno širenje u ravnini ploče homogeno. S povećanjem gustoće povećava se linearno širenje, koeficijent linearnog širenja, koeficijent debljinskog utezanja, linearno utezanje i koeficijent linearnog utezanja. Koeficijent debljinskog bubrenja viši je od koeficijenta debljinskog utezanja za nižu gustoću. Vrijednosti linearne kontrakcije i koeficijenta linearne kontrakcije (u desorpciji) više su od vrijednosti linearnog širenja i koeficijenta linearnog širenja (u adsorpciji). Utjecaj gustoće na linearno širenje, koeficijent linearnog širenja i koeficijent linearnog utezanja osjetno je veći od utjecaja gustoće na debljinsko bubrenje, koeficijent debljinskog bubrenja i debljinsko utezanje.

U istraživanjima dimenzijske stabilnosti MDF i ploča iverica (Niemz i Poblete, 1996) mjereno je longitudinalno i debljinsko bubrenje kondicioniranih ploča. Ravnotežni sadržaj vode i bubrenje MDF ploča bilo je manje od odgovarajućih vrijednosti ploča iverica. Rekondicioniranjem ploča ustanovljeno je da su MDF ploče dimenzionalno stabilnije.

Zbog temperaturnoga gradijenta i gradijenta vlage koji se u pločama vlaknaticama razvijaju tijekom vrućeg prešanja u ploči se pojavljuju zaostala naprezanja za vrijeme postizanja ravnotežnog stanja u sobnim uvjetima. Obavljena su mjerenja zaostalih naprezanja u pločama vlaknaticama srednje gustoće (Houts i sur., 2000) i određen njihov utjecaj na svojstva ploče kao što su modul elastičnosti, savojna čvrstoća, čvrstoća raslojavanja i dimenzijska stabilnost. Sve ispitane MDF ploče pokazale su slične trendove raspodjele zaostalog naprezanja, ali su zamijećene značajne razlike u veličini izmjenjenoga zaostalog naprezanja.

Taguchi metodom istraživano je zaostalo naprezanje u MDF pločama (Houts i sur., 2001). Ploče su izložene toplini, vlazi i povišenom tlaku, a nakon uravnoteženja na sobne uvjete izmjerene su promjene u zaostalim naprezanjima po slojevima ploče metodom seciranja. Primjenom topline i/ili vlage smanjena je veličinu zaostalih naprezanja, dok primjena tlaka nije imala utjecaj na zaostala naprezanja.

U istraživanjima smanjenja zaostalih naprezanja u MDF pločama ispitan je utjecaj na debljinsko bubrenje i ostala svojstva (Houts i sur., 2001). Mjerena je čvrstoća raslojavanja, modul rastezanja površinskog sloja, čvrstoća površinskog rastezanja i debljinsko bubrenje obrađenih uzoraka. Otkrivena je jaka korelacija između zaostalih naprezanja i debljinskog bubrenja. Kada je promjena zaostalih naprezanja kroz vanjski sloj ploče gotovo potpuno uklonjena, uočeno je 20% manje debljinsko bubrenje.

Poliuretanski lakovi (PU) dijele se u četiri karakteristične skupine: klasični dvokomponentni PU lakovi, transparentni sustavi s poliakrilatima, High Solid PU lakovi (s visokim sadržajem suhe tvari) te pigmentirani sustavi sa svjetlootpornim izocijanatima (Ljuljka, 1990). Podloge za pigmentirani lak najčešće su neoplemenjene ili folijama oplemenjene ploče (iverice i MDF), a rjeđe furnirana ploča i masivno drvo. Na MDF pločama zbog manje gustoće središnjeg dijela ploče u odnosu prema plohamo mogu nastati znatni problemi. Rubovi jače upijaju lak nego plohe, kroz takve porozne rubove ulazi voda i uzrokuje bubrenje te nastaju pukotine lakirne prevlake.

Cilj ovog rada jest utvrditi uzroke pojave dužinskih pukotina u poliuretanskome lakirnom filmu na bočnim stranicama dovratnika izrađenoga od MDF ploča koje se pojavljuju tridesetak dana nakon lakiranja.

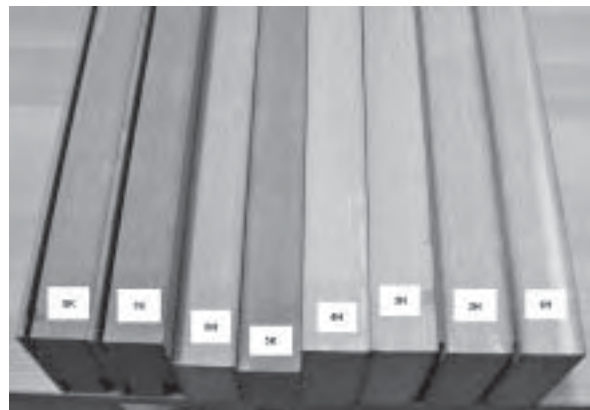
2. MATERIJALI I METODE 2 MATERIALS AND METHODS

2.1. Materijali 2.1 Materials

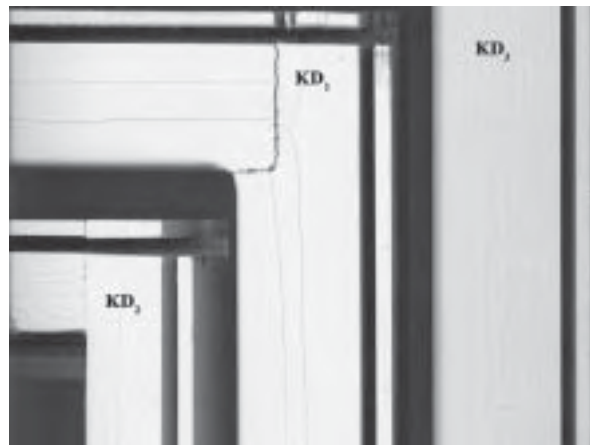
Istraživanja su provedena na sljedećim MDF pločama (sl. 1. i 2):

- nelakirane i neslijepljene MDF ploče
 - proizvođača H sa skladišta uvoznika (HA)
 - proizvođača H iz proizvodnog pogona (H-3, H-4, H-6)
 - proizvođača K iz proizvodnog pogona (K-5)
- nelakirane MDF ploče slijepljene s tankom vlaknaticom
 - proizvođača H iz proizvodnog pogona (H-1, H-2)
 - proizvođača K iz proizvodnog pogona, profilirane (K-7, K-8)
- eksperimentalne lakirane MDF ploče
 - proizvođača H (HE)
 - proizvođača K (KE)
- MDF ploče originalnoga ugrađenog lakiranog dovratnika (KD).

Nelakirane, neslijepljene i MDF ploče slijepljene s tankim vlaknaticama izdvojene su metodom slučajnog izbora.



Slika 1. Materijali istraživanja: 1H, 2H – MDF ploče proizvođača H slijepljene s tankom vlaknaticom; 3H, 4H, 6H – MDF ploče proizvođača H; 5K – MDF ploče proizvođača K; 7K, 8K – MDF ploče proizvođača K slijepljene s tankom vlaknaticom i profilirane
Figure 1 Research materials: 1H, 2H – MDF boards, manufacturer H, glued with thin fibreboard; 3H, 4H, 6H – MDF boards, manufacturer H; 5K – MDF boards, manufacturer K; 7K, 8K – MDF boards, manufacturer K, glued with thin fibreboards and then profiled



Slika 2. Materijali istraživanja: a) lakirani dovratnik, (KD₁, KD₂, KD₃); b) eksperimentalni uzorak proizvođača H, lijeva (HE₁) i desna (HE₂) bočna stranica; c) eksperimentalni uzorak proizvođača K, lijeva (KE₁) i desna (KE₂) bočna stranica
Figure 2 Research materials: a) Lacquered door post, (KD₁, KD₂, KD₃); b) Experimental sample, manufacturer H, left (HE₁) and right (HE₂) side plane; c) Experimental sample, manufacturer K, left (KE₁) and right (KE₂) side plane

Dovratnik od MDF ploče
Dovratnik je izrađen od MDF ploče nazivne debljine 38 mm, iskrojene na širinu 100 mm. Ploče su krojene od osnovnog formata 2 650 × 2 070 mm. Na nosivu MDF ploču dovratnika lijepjen je tanki MDF

nazivne debljine 3,2 mm. Za lijepljenje je upotrijebljeno karbamid-formaldehidno ljepilo u prahu, emisijske klase E1. Pripremljeno je odmjeravanjem 3 kg ljepila u prahu i ½ litre vode. Ljepilo je nanošeno valjcima, samo na tanku MDF ploču. Prešanje je obavljeno u troetažnoj vrućoj preši dimenzija ploča 3 300 × 1 300 mm. Zbog brzine vezanja ljepila korištene su samo dvije etaže. U svaku je etažu stavljano po osam elemenata, s razmakom od 10 mm. Duljina MDF ploča za lijepljenje bila je 2 600 mm. Tlak prešanja bio je 150 kg/cm², a temperatura prešanja 60 °C. Vrijeme prešanja iznosilo je četiri minute. Nakon prešanja elementi su slagani u složaj u proizvodnom pogonu temperature oko 10 °C i relativne vlage oko 80 %. Slijepljeni materijali MDF ploča profilirani su u gotove elemente za izradu dovratnika, a potom je uslijedilo krojenje i spajanje elemenata sljepljivanjem i dodatnim pojačanjima vijcima na kutnim spojevima.

Nakon izrade dovratnika obavljeno je lakiranje u otvorenoj lakirnici, u kojoj je također bila vrlo niska temperatura (oko 12 °C). Prije lakiranja dovratnici nisu brušeni. Lakirane su samo vidljive stranice dovratnika. Za lakiranje dovratnika i eksperimentalnih elemenata upotrijebljen je poliuretanski bezbojni temelj s visokim sadržajem suhe tvari, poliuretanski dvokomponentni bijeli temelj te poliuretanski dvokomponentni polumat lak s pigmentima postojanim na UV svjetlost, kontakt i razrjeđivač. Lakiranje dovratnika provedeno je na ovaj način:

1. nanošenje bezbojnog temelja s kontaktom, bez razrjeđivanja,
2. brušenje, nakon 40 minuta (granulacija brusnog sredstva 280),
3. nanošenje bijelog temelja s kontaktom, uz razrjeđivanje,
4. brušenje (granulacija brusnog sredstva 280),
5. završno lakiranje (polumat) bijelim lakom s kontaktom, uz razrjeđivanje.

Nakon svakog nanošenja poliuretanskih sredstava eksperimentalni su uzorci odlagani na police u otvorenoj lakirnici. Ukupno vrijeme površinske obrade bilo je oko pet sati.

Eksperimentalni uzorci

Iz serije iskrojanih ploča izdvojeni su elementi proizvođača H i elementi proizvođača K, dimenzija 38 × 100 × 1 267 mm. Eksperimentalni elementi lakirani su u pogonskim uvjetima kao i originalni dovratnik.

2.2. Metode rada

2.2 Research methods

Primjenom HRN EN normi obavljena su ispitivanja fizikalnih svojstava (debljine, gustoće, sadržaja vode, bubrenja, otpornosti na vruću vodu), mehaničkih svojstava (čvrstoće raslojavanja, savojne čvrstoće, modula elastičnosti savojne čvrstoće) i koncentracije slobodnog formaldehida MDF ploča. Struktura lakiranih filmova analizirana je nakon kemijske obrade, koja se sastojala od nanošenja 97-postotne sulfatne kiseline H₂SO₄ (1:1) na površinu filma, djelovanjem tijekom pola sata, ispiranja destiliranom vodom te skidanja pojedinih slojeva. Da bi se provjerilo jesu li evidentirane pukotine samo u filmu ili se dubinski protežu i u strukturu bočnih profila, površine su premazane jodom koncentracije c(I₂) = 1 mol/L.

Osim MDF ploča proizvođača H, izdvojenih metodom slučajnog izbora iz složaja sa skladišta dobavljača, te iskrojanih prema shemi navedenoj u normi HRN EN 326-1:1999, ispitni uzorci iz ostalih elemenata krojeni su prema mogućnostima s obzirom na male dimenzije i broj dostupnih elemenata.

Ispitivanje koncentracije slobodnog formaldehida obavljeno je ekstrakcijskom perforatorskom metodom, uz spektrofotometrijsku analizu formaldehidne otopine (HRN EN 120).

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

3 REASERCH RESULTS

3.1. Zbirna analiza ispitnih rezultata

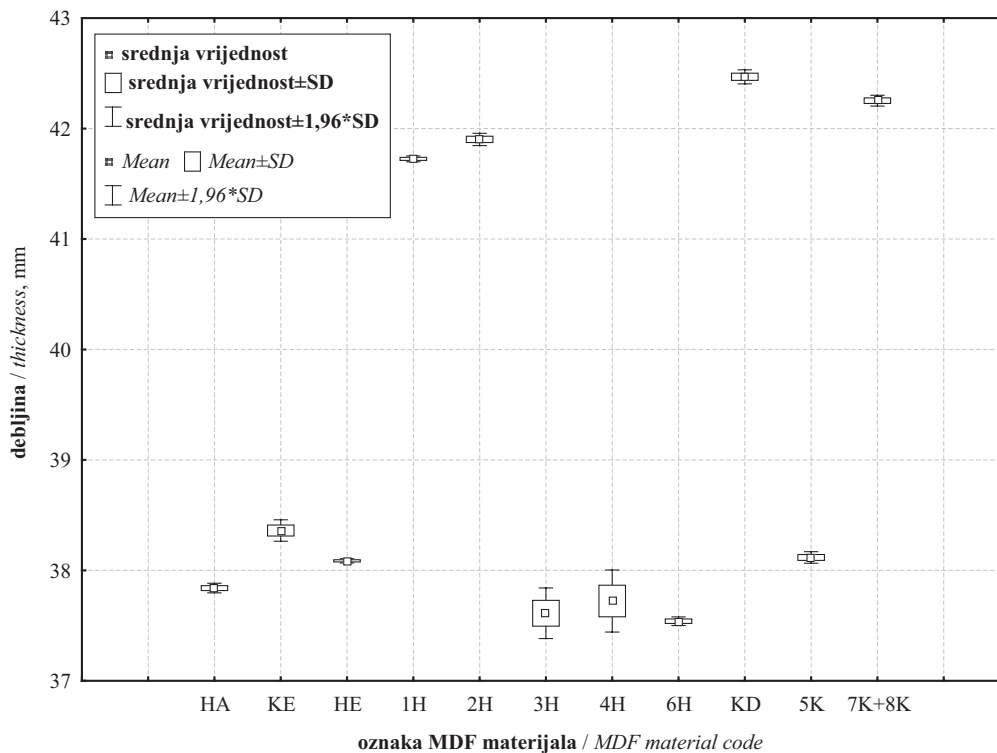
3.1 Summary analysis of test results

U tablici 1. dana je zbirna analiza ispitnih rezultata te sukladnosti pojedinih MDF elemenata s HRN EN normama za MDF ploče namijenjene uporabi u suhim uvjetima, za tip ploča vlaknatica za opću uporabu u

Tablica 1. Zbirna analiza ispitnih rezultata pojedinih elemenata od MDF ploča i stupanj sukladnosti s normiranim zahtjevima za tip MDF i MDF.LA

Table 1 Summary analysis of test results of individual MDF board elements and the degree of compliance with standard requirements for MDF and MDF.LA type

Oznaka MDF materijala MDF material code	Bubrenje Q-24 Swelling Q-24 %	Čvrstoća raslojavanja Tensile strength MPa	Savojna čvrstoća Bending strength MPa	Modul elastičnosti Modulus of elasticity MPa	Tip MDF MDF type				Tip MDF.LA MDF.LA type			
HA	2,95	0,429	31,93	1707	+	-	+		+	-	+	-
KE	2,71	0,505	36,50	2891	+	+	+	+	+	-	+	+
HE	4,67	0,395	24,37	2854	+	-	+	+	+	-	+	+
1H	7,13	0,360	17,08	932	+	-	+		+	-	-	-
2H	5,74	0,427	20,76	1619	+	-	+		+	-	-	-
3H	4,79	0,398	23,22	2140	+	-	+	+	+	-	+	+
4H	6,49	0,308	19,77	2037	+	-	+	+	+	-	-	-
6H	6,80	0,456	24,52	2477	+	-	+	+	+	-	+	+
KD	5,85	0,375	18,05	1564	+	-	+	-	+	-	-	-
5K	9,12	0,448	23,47	1976	-	-	+	+	-	-	+	-
7K+8K	-	-	18,84	1514			+	-			-	-



Slika 3. Grafički prikaz debljine pojedinih elemenata od MDF ploča
Figure 3 Graphic presentation of thickness of individual MDF board elements

suhim uvjetima (tip MDF) i nosivih ploča vlaknatica za uporabu u suhim uvjetima (tip MDF.LA). Zbog ograničenih mogućnosti krojenja ispitnih uzoraka nelakiranih MDF ploča slijepljenih s tankim vlaknaticama i profiliranih (7K, 8K) ispitni su rezultati prikazani zajedno.

Iz navedene analize ispitnih rezultata pojedinih elemenata od MDF ploča vidljivo je da samo lakirani eksperimentalni uzorak MDF ploče oznake KE proizvođača K zadovoljava zahtjeve HRN EN normi, i to samo tip MDF, dakle ploče vlaknatica za opću uporabu u suhim uvjetima. MDF ploče originalnog dovratnika ne zadovoljavaju zahtjeve HRN EN normi.

3.2. Fizikalna i mehanička svojstva 3.2 Physical and mechanical properties

3.2.1. Fizikalna svojstva 3.2.1 Physical properties

Debljina

Svi su elementi u granicama dopuštenog odstupanja od nazivne debljine ($\pm 0,3$ mm). Uzorcima koji imaju slijepljenu tanku MDF ploču (1H, 2H, KD, 7K+8K) debljina je mjerena zajedno s tankom MDF pločom, pa imaju oko 3 mm veću debljinu od ne slijepljene MDF ploče. Uzorci MDF ploča originalnoga lakiranog dovratnika (KD) imaju najveću debljinu zbog slijepljene tanke vlaknatice i laka nanesenoga na površinu ploče (sl. 3).

Gustoća

Gustoće svih elemenata od MDF ploča nalaze se u području srednje gustih vlaknatica. Gustoće elementa proizvođača K uglavnom su veće od $0,700$ g/cm³, dok se gustoće proizvođača H kreću između $0,687$ g/

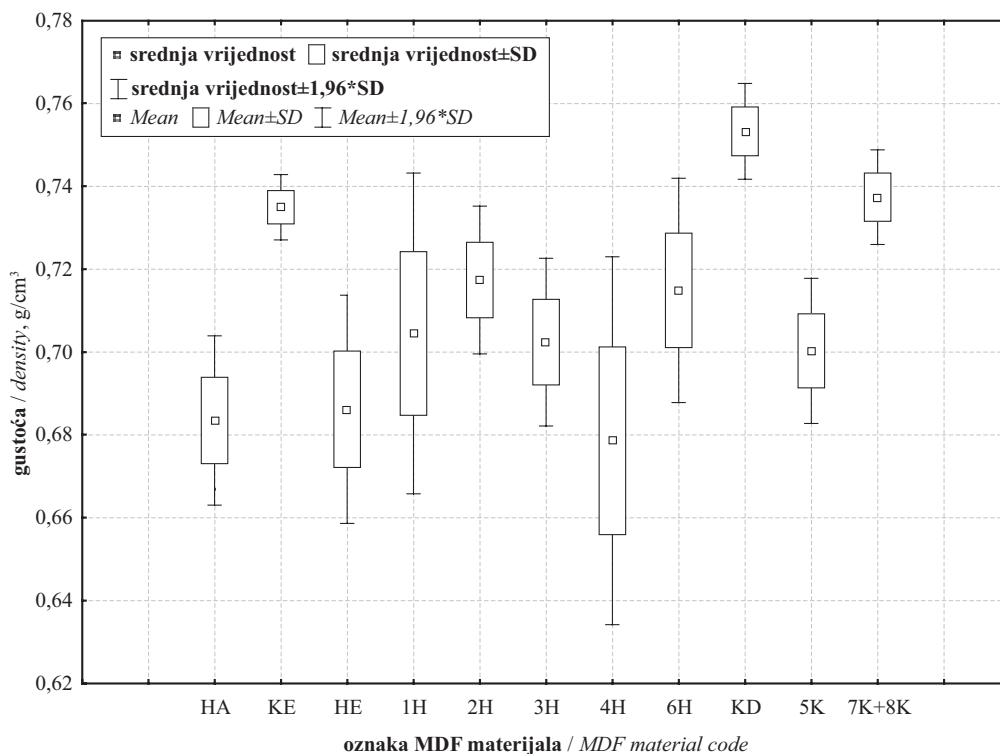
cm³ i $0,717$ g/cm³. Zanimljivo je da najveću gustoću ima originalni dovratnik (KD) proizvođača K ($0,753$ g/cm³). Iz grafičkog prikaza vidljivo je da je najveće rasipanje podataka za uzorak 4H, a to je MDF element proizvođača H, neslijepljen i nelakiran, izdvojen iz ruba složaja (sl. 4). Najmanje rasipanje podataka ima MDF element KE, lakirani eksperimentalni element. S iznimkom elementa 4H, može se reći da su gustoće unutar pojedinih elemenata vrlo ujednačene.

Sadržaj vode

Sadržaj vode kreće se u granicama od 5,66 do 6,49 %, s iznimkom uzoraka proizvođača H sa skladišta dobavljača (7,58 %) i nelakiranih debelih MDF elemenata slijepljenih s tankim MDF elementima (4,99 %) (sl. 5). Svi se elementi po sadržaju vode nalaze u granicama propisanim normama (od 4 do 11 %). Vidljiva je vrlo ujednačena raspodjela sadržaja vode, osim za profilirane, slijepljene MDF elemente proizvođača K (7K+8K).

Bubrenje

Prema HRN EN 622-5, za sve tipove MDF ploča maksimalno dopušteno bubrenje u 24- satnom tretmanu jest 8 %. Proizvođač MDF ploča K ima MDF elemente i s najmanjim (KE) i s najvećim bubrenjem (5K). Bubrenje MDF originalnog dovratnika (KD) ima najveće rasipanje podataka (sl. 6). Širok interval bubrenja MDF-a obaju proizvođača znak je nejednolike kvalitete MDF-a, kako pojedinačnih, tako i serija ploča. MDF sa skladišta uvoznika proizvođača H ima najmanje bubrenje (2,95 %) u odnosu prema ostalim elementima u pogonu proizvodnje MDF dovratnika (od 4,67 do 7,13 %). Element 6H ima najveće rasipanje podataka. Ploče 7K+8K profilirane su pa nije bilo moguće ispitati njihovo bubrenje u skladu s normiranim.



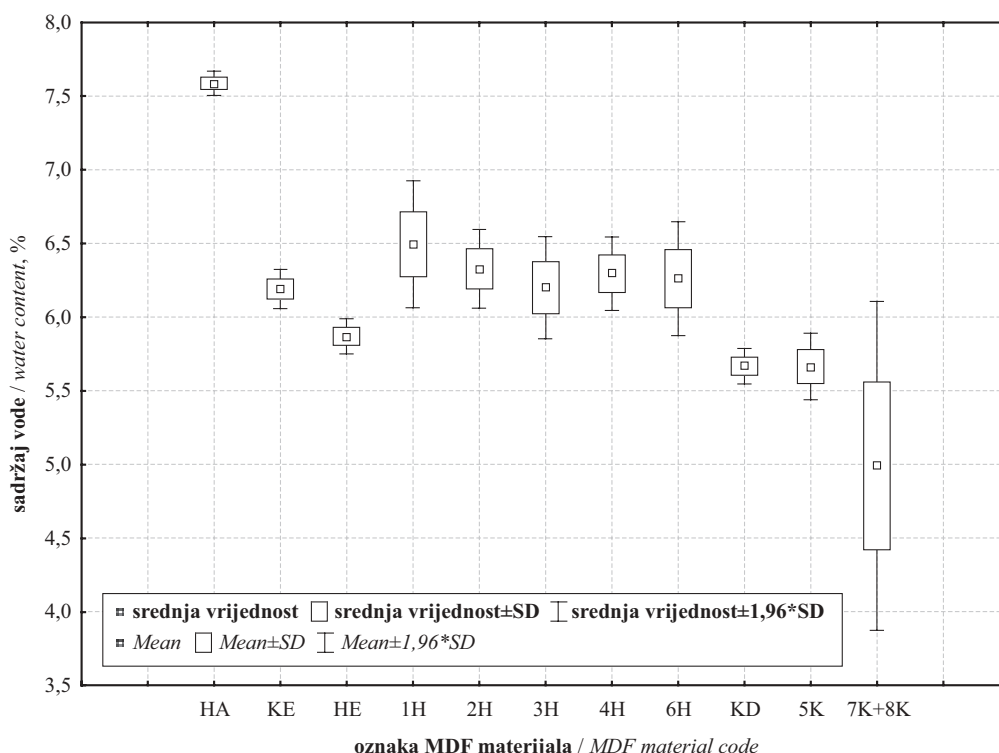
Slika 4. Grafički prikaz gustoće pojedinih elemenata od MDF ploča
 Figure 4 Graphic presentation of density of individual MDF board elements

3.2.2. Mehanička svojstva 3.2.2 Mechanical properties

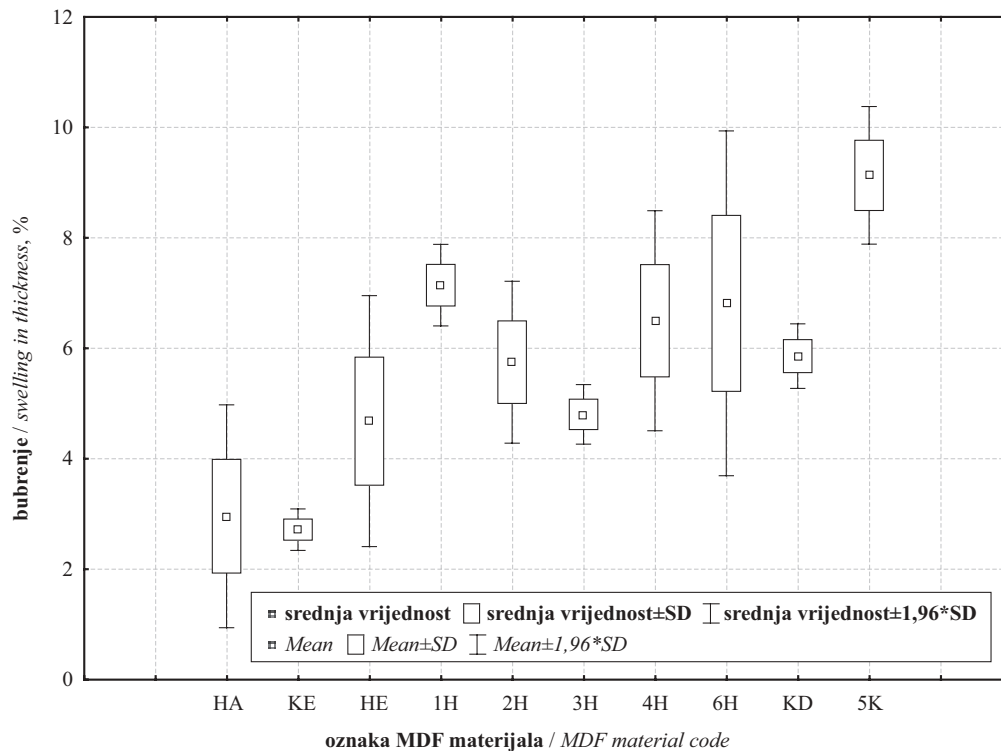
Čvrstoća raslojavanja

Prema normama HRN EN 622-5, minimalna čvrstoća raslojavanja MDF ploča za opću uporabu u suhim uvjetima za tip MDF jest 0,50 MPa, a za tip MDF.LA iznosi 0,55 MPa. Za MDF ploče vlaknatice namijenjene uporabi u vlažnim uvjetima (tip MDF.H) i

nosive MDF ploče vlaknatice za uporabu u vlažnim uvjetima (tip MDF.HLS) propisana je minimalna čvrstoća raslojavanja 0,70 MPa. Samo eksperimentalni uzorak KE proizvođača K zadovoljava navedene normirane zahtjeve za tip MDF. Vrijednosti čvrstoće raslojavanja MDF elemenata proizvođača K uglavnom su osjetno više. I u tome je uočljiva nejednolika kvaliteta MDF ploča iz pojedinih serija, odnosno iz pojedinih



Slika 5. Grafički prikaz sadržaja vode pojedinih elemenata od MDF ploča
 Figure 5 Graphic presentation of water content of individual MDF board elements

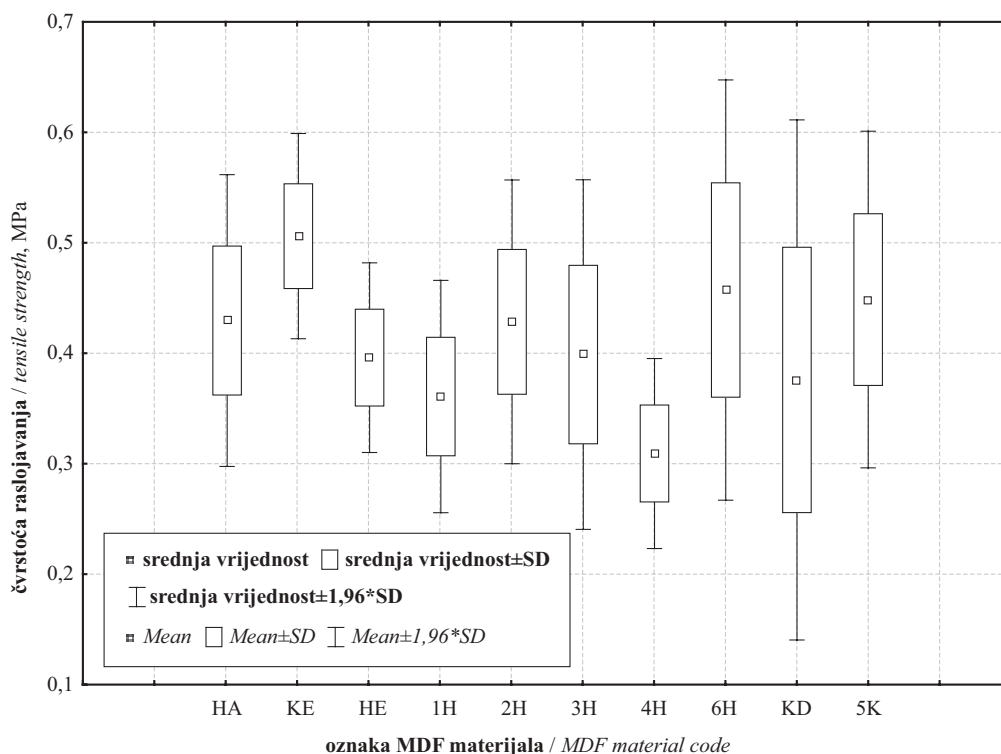


Slika 6. Grafički prikaz bubrenja pojedinih elemenata od MDF ploča
Figure 6 Graphic presentation of swelling of individual MDF board elements

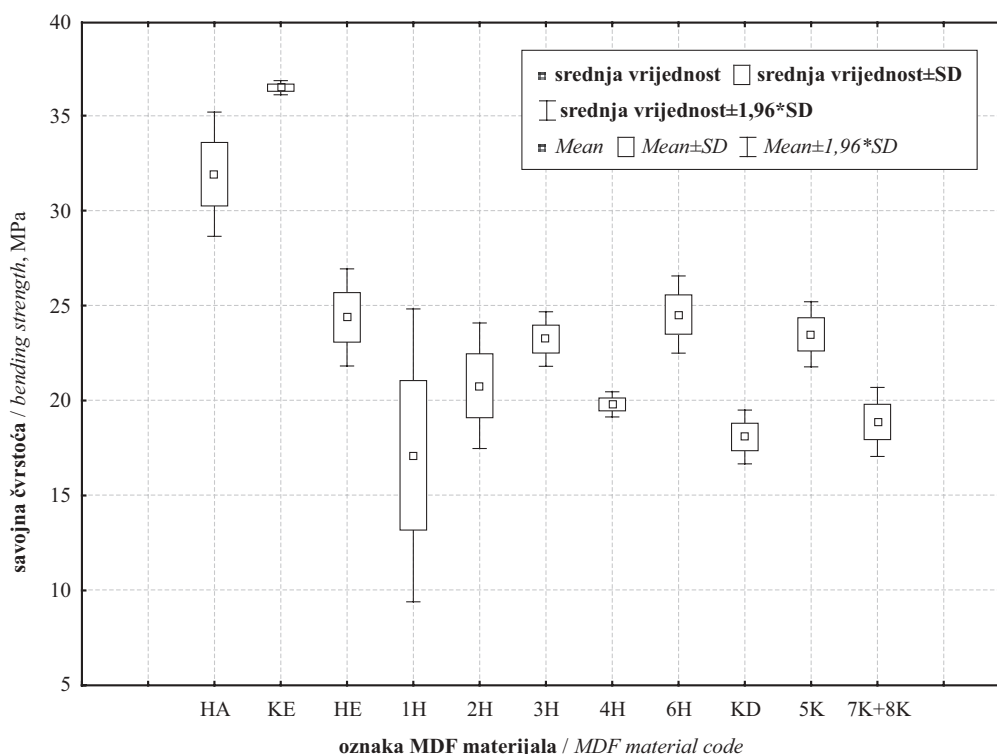
nih mjesta osnovnog formata MDF ploče. Mogući su problemi s nanošenjem ljepila na vlakanca pri izradi vlaknastog tepiha, zbog čega može doći do nejednolike kvalitete MDF materijala u pojedinim elementima. Ploče 7K+8K profilirane su pa nije bilo moguće ispitati njihovu čvrstoću raslojavanja u skladu s normiranim.

Savojna čvrstoća

Prema normama HRN EN 622-5, minimalna savojna čvrstoća MDF ploča za opću uporabu u suhim uvjetima za tip MDF iznosi 17 MPa, a za tip MDF.LA ona je 21 MPa. Za MDF ploče vlaknaticice namijenjene uporabi u vlažnim uvjetima tip MDF.H propisana je minimalna savojna čvrstoća 17 MPa, a za nosive MDF



Slika 7. Grafički prikaz čvrstoće raslojavanja pojedinih elemenata od MDF ploča
Figure 7 Graphic presentation of tensile strength of individual MDF board elements



Slika 8. Grafički prikaz savojne čvrstoće pojedinih elemenata od MDF ploča
Figure 8 Graphic presentation of bending strength of individual MDF board elements

ploče vlaknatice za uporabu u vlažnim uvjetima 21 MPa. Sve ispitane MDF ploče zadovoljavaju zahtjeve za tip MDF i MDF.H. Elementi MDF ploča s oznakama 1H, KD i 7K+8K ne zadovoljavaju zahtjeve MDF.LA i MDF.HLS. Uzorci proizvođača H sa skladišta dobavljača (HA) osjetno su veće savojne čvrstoće od elemenata istog proizvođača u pogonu proizvođača dovratnika (1H, 2H, 3H, 4H, 6H). Originalno vratno krilo izrađeno od MDF ploče proizvođača K ima vrlo nisku savojnu čvrstoću od samo 18,05 MPa. U složaju u pogonu proizvođača dovratnika također su bile ploče proizvođača K (7K+8K) slične savojne čvrstoće (18,84 MPa), ali je eksperimentalni MDF element imao savojnu čvrstoću čak 36,50 MPa.

Modul elastičnosti savojne čvrstoće

Prema normama HRN EN 622-5, minimalni modul elastičnosti savojne čvrstoće MDF ploča za opću uporabu u suhim uvjetima za tip MDF jest 1 900 MPa, a za tip MDF.LA iznosi 2 100 MPa. Za MDF ploče vlaknatice namijenjene uporabi u vlažnim uvjetima tipa MDF.H iznosi 2 200 MPa, a za nosive MDF ploče vlaknatice za uporabu u vlažnim uvjetima propisan je minimalni modul elastičnosti savojne čvrstoće 2 400 MPa. Od ispitanih MDF ploča one s oznakama HA, 1H, 2H, KD i 7K+8K ne zadovoljavaju uvjete ni jednog tipa ploča. Eksperimentalni uzorci MDF elemenata obaju proizvođača (KE i HE) imaju najveći modul elastičnosti savojne čvrstoće, vrijednosti su im gotovo identične te zadovoljavaju zahtjeve svih tipova MDF ploča. Uzorak 6H (proizvođač H, nelakiran) također zadovoljava zahtjeve za sve tipove MDF ploča. Uzorci 3H i 4H zadovoljavaju zahtjeve za tip MDF i MDF.LA, a uzorak 5K zadovoljava zahtjeve tipa MDF. Zanimljivi

vo je da uzorak originalnog MDF dovratnika ne zadovoljava zahtjeve modula elastičnosti savojne čvrstoće ni za jedan tip (sl. 9).

3.3. Koncentracija slobodnog formaldehida 3.3 Free formaldehyde concentration

Prema normama HRN EN 622-1, propisana je maksimalno dopuštena koncentracija slobodnog formaldehida MDF ploča vlaknatice u iznosu od 9 mg HCHO/100 g a.s.t. Testirani su eksperimentalni uzorci. Vidljivo je da i MDF elementi proizvođača H i MDF elementi proizvođača K imaju vrijednost koncentracije slobodnog formaldehida osjetno nižu od maksimalno dopuštene (tabl. 2).

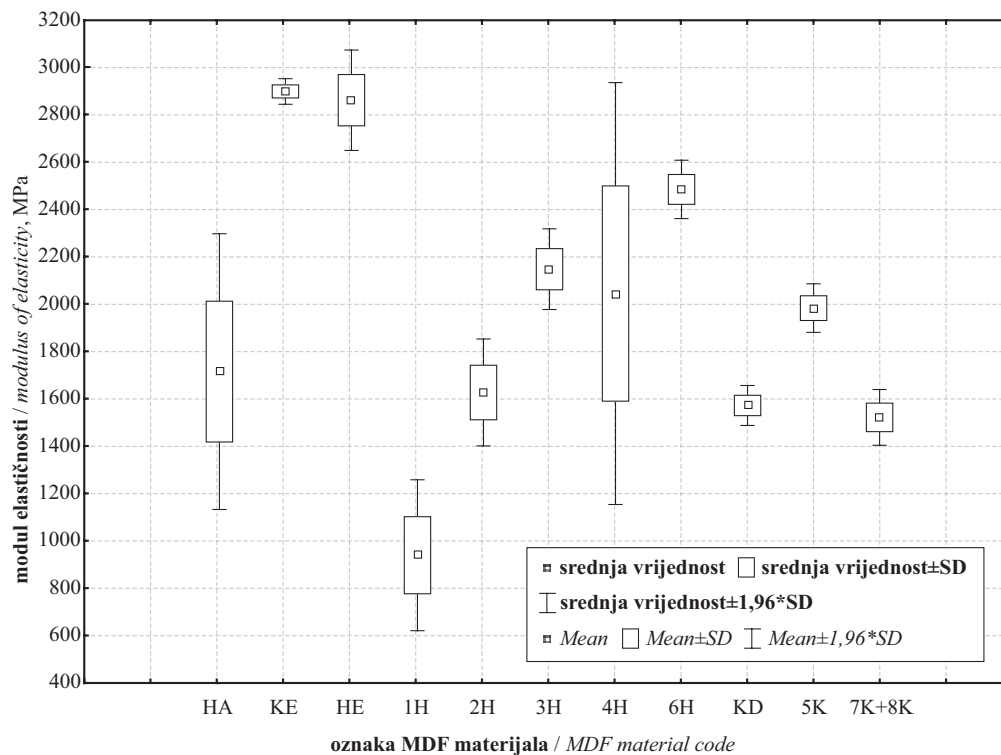
3.4. Otpornost na vlagu 3.4 Moisture resistance

Prema HRN EN 622-5, suhim se postupkom proizvode dva tipa MDF ploča za uporabu u suhim uvjetima i dva tipa za uporabu u vlažnim uvjetima. Pločama vlaknaticama za opću uporabu u vlažnim uvjetima (tip MDF.H) i pločama vlaknaticama, opterećenima, za uporabu u vlažnim uvjetima (tip MDF.HLS) ispituje se otpornost na vlagu testom kuhanja prema normama HRN EN 1087-1:1999. U postupku testiranja kuhanjem uzoraka tijekom jednog sata došlo je do potpune destrukcije MDF uzoraka, te se može konstatirati da testirane MDF ploče nisu projektirane za uporabu u vlažnim uvjetima.

3.5. Struktura lakirane površine i površinske pukotine 3.5 Lacquered surface structure and surface cracks

Eksperimentalni uzorci proizvođača H

Na površinama eksperimentalnih uzoraka proizvođača H tridesetak dana nakon lakiranja pojavile su se



Slika 9. Grafički prikaz modula elastičnosti pojedinih elemenata od MDF ploča

Figure 9 Graphic presentation of modulus of elasticity of individual MDF board elements

uzdužne pukotine. Iz eksperimentalnih uzoraka iskrojene su tanke letvice (debljine 5 mm). Potom je lakirana površina premazana 97%-postotnom sulfatnom kiselinom H_2SO_4 (1:1). Nakon polusatnog djelovanja sulfatne kiseline nastala je destrukcija bijeloga poliuretanskog dvokomponentnog polumat laka, koji je skinut s površine, te je uslijedilo skidanje dvokomponentnoga poliuretanskog bijelog temelja. Iako je ispod bijelog temelja trebao biti sloj dvokomponentnoga poliuretanskog bezbojnog temelja, on nije uočen. Stoga bezbojni temelj nije nanesen ili je nanesen u tako maloj količini da ga nije bilo moguće uočiti. Potom se pojavila sumnja da pukotine nisu nastale samo u lakirnom filmu, već da je riječ o dubinskim pukotinama koje se protežu u strukturu MDF ploče. Stoga je površina obrađena jodom koncentracije $c(\frac{1}{2} I_2) = 1$ mol/L. Nakon kraćeg vremena pukotine u MDF ploči bile su jasno vidljive (sl. 10).

Eksperimentalni uzorci proizvođača K

Na površinama eksperimentalnih uzoraka K tridesetak dana nakon lakiranja nisu bile uočljive pukotine, osim jedne kratke pukotine. Isti postupak lakiranja koji je primijenjen na eksperimentalnim uzorcima proizvođača H trebao je biti primijenjen i na eksperimentalnim uzorcima proizvođača K. No na tim je uzor-

cima uočen izraziti donji sloj dvokomponentnoga poliuretanskog bezbojnog temelja.

Dovratnik KD

Na bočnim površinama MDF ploča tridesetak dana nakon što su postavljene u stambeni objekt na gradilištu kao unutarnja sobna vrata, pojavile su se brojne uzdužne pukotine. Analiza je provedena analogno prethodnima, a pokazala je vrlo slične rezultate kao i eksperimentalni uzorci proizvođača H. Također nije bilo moguće utvrditi nanošenje sloja dvokomponentnoga poliuretanskog bezbojnog temelja. Pukotine su također bile dubinske. Pažljivom analizom dovratnika tanke MDF ploče također su uočene izrazite dubinske pukotine u samom središtu ploče (sl. 11).

Evidentno je da je za uspješnu primjenu MDF ploča u izradi lakiranih dovratnika nužno upotrijebiti MDF ploče visoke kvalitete te ih dobro zaštititi radi sprečavanja osjetnijih sorpcijskih procesa.

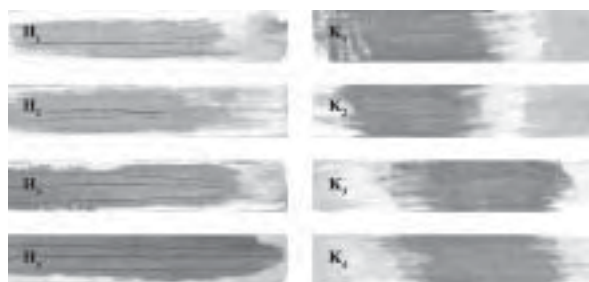
4. ZAKLJUČAK 4 CONCLUSION

U proizvodnji MDF ploča tijekom vrućeg prešanja stvara se temperaturni gradijent i gradijent sadržaja vode, što uzrokuje zaostala naprezanja u ploči nakon

Tablica 2. Koncentracija slobodnog formaldehida pojedinih elemenata od MDF ploča

Table 2 Free formaldehyde concentration of individual MDF board elements

Svojstva materijala / Material characteristics	Uzorak HA / HA sample	Uzorak KE / KE sample
debljina / thickness, mm	37,83	38,36
gustoća / density, g/cm ³	0,683	0,735
sadržaj vode / water content, %	7,39	6,19
perforatorska spektrofotometrijska vrijednost perforator spectrophotometric value, mg HCHO/100 g	4,97	5,49



Slika 10. Izgled uzoraka eksperimentalnih MDF ploča nakon premazivanja kiselinom i jodom

Figure 10 Layout of experimental samples of MDF boards after treatment with acid and iodine

proizvodnje, a ona negativno utječu na dimenzijsku stabilnost ploče.

MDF ploče najčešće se plasiraju na tržište bez prethodno obavljenog kondicioniranja, pa zbog zaostalih naprezanja dolazi do povećanoga debljinskog bubrenja.

U procesu izrade dovratnika također se primjenjuje postupak prešanja tanke MDF ploče na povišenoj temperaturi, pa se ponovno stvaraju zaostala naprezanja.

Dodatni je faktor nestabilnosti manja gustoća središnjeg dijela ploče u odnosu prema plohama, zbog čega pri nanošenju poliuretanskih prevlaka na površinu MDF ploča rubovi upijaju više laka nego plohe, a kroz takve porozne rubove ulazi voda i uzrokuje bubrenje ploče te dolazi do pukotina lakirnih prevlaka.

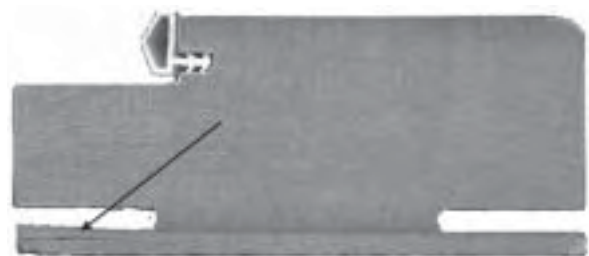
Osnovna pretpostavka za stabilnost lakirnih površina jest MDF ploča koja udovoljava zahtjevima HRN EN normi.

Eksperimentalne ploče s oznakom KE, proizvođača MDF ploča K, jedine zadovoljavaju zahtjeve normi HRN EN 622-5 za ploče vlaknatice za opću uporabu u suhim uvjetima (tip MDF) i na njima se nisu pojavile izrazitije pukotine.

Da bi se izbjegle pukotine lakirnih prevlaka, na dovratnik se mora nanijeti optimalan sloj dvokomponentnoga poliuretanskog bezbojnog temelja, dvokomponentni poliuretanski bijeli temelj te poliuretanski dvokomponentni polumat lak.

Nužno je provesti potpunu zaštitu dovratnika poliuretanskim filmovima, a ne samo na vidljivim stranicama, kako bi se onemogućila sorpcija vodene pare i vlage.

S obzirom na zahtjevnost primjene MDF ploča za dovratnike u graditeljstvu, nužno je primijeniti nosive MDF ploče za uporabu u suhim uvjetima tipa MDF. LA, a u uvjetima povišene relativne vlage zraka potrebna je primjena ploča vlaknatice za opću uporabu u



Slika 11. Pukotine u tankoj MDF ploči originalnog dovratnika

Figure 11 Cracks in thin MDF board of the original door frame

vlažnim uvjetima tipa MDF.H ili nosivih ploča za uporabu u vlažnim uvjetima tipa MDF.HLS.

Tanka MDF ploča, slijepljena s debelom MDF pločom, također mora imati povećanu otpornost na vodu, odnosno to mora biti ploča vlaknatice iz skupine HDF ploča.

5. LITERATURA 5 REFERENCES

1. Ayrlimis, N., 2007: Effect of panel density on dimensional stability of medium and high density fiberboards, *Journal of Material Sciences*, 42(20):8551-8557 doi:10.1007/s10853-007-1782-8
2. Bruči, V.; Jambreković, V., 1996: Ploče iverice i vlaknatice, Šumarski fakultet, Zagreb.
3. Ganev, S.; Gendron, G.; Cloutier, A.; Beauregard, R., 2005: Mechanical properties of MDF as a function of density and moisture content, *Wood and fiber science*, 37(2): 314-326
4. Ganev, S.; Cloutier, A.; Beauregard, R.; Gendron, G., 2005: Linear expansion and thickness swell of MDF as a function of panel density and sorption state, *Wood and fiber science*, 37(2):327-336.
5. Houts, J.; Bhattacharyya, D.; Jayaraman, K., 2000: Determination of residual stresses in medium density fibreboard, *Holzforchung*, 54(2):176-182. doi:10.1515/HF.2000.030
6. Houts, J.; Debes, B.; Krishnan, J., 2001: Reduction of residual stresses in medium density fibreboard. Part 1. Taguchi analysis, *Holzforchung*, 55(1):67-72. doi:10.1515/HF.2001.011
7. Houts, J.; Debes, B.; Krishnan, J., 2001: Reduction of residual stresses in medium density fibreboard. Part 2. Effects on thickness swell and other properties, *Holzforchung*, 55(1):73-81. doi:10.1515/HF.2001.012
8. Jambreković, V., 2004: Drvne ploče i emisija formaldehida, Šumarski fakultet, Zagreb.
9. Jambreković, V.; Španić, N.; Jambreković, T.; Iliev, B., 2009: Applicability of MDF for lacquered door frame manufacturing. 20th International scientific conference, Wood is good - new materials, quality and design of products, Proceedings, 51-59, Zagreb.
10. Ljuljka, B., 1990: Površinska obrada drva, Šumarski fakultet, Zagreb.
11. Medved, S.; Jambreković, V., 2001: Bending of refined MDF boards. *Wood - Future material in Furniture Design*. Zagreb, Šumarski fakultet, 61-66.
12. Niemz, P.; Poblete, H., 1996: Investigations of dimensional stability of MDF and particleboards, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 54(2):141-144. doi:10.1007/s001070050154
13. Schulte, M.; Frühwald, A., 1996: Shear modulus, internal bond and density profile of MDF board, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 54(1):49-55. doi:10.1007/s001070050132

Corresponding address:

Assoc. Prof. VLADIMIR JAMBREKOVIĆ, Ph.D.

University of Zagreb, Faculty of Forestry
Department of Wood Technology
Svetošimunska 25
10000 Zagreb, CROATIA
e-mail: vladimir.jambrekoVIC@zg.htnet.hr