

Kompoziti iz skorje: nova gozdarsko-lesarska vrednostna veriga

Bark-based composites: new forestry – wood value chain

Sergej MEDVED¹, Gregor VILMAN², Urban TAJHER³, Mark SEVER⁴, Alan ANTONOVIČ⁵

Izvleček:

Skorja je večopravilni (večfunkcijski) material, saj deluje kot zaščita (pred fizikalnimi in mehanskimi poškodbami, pa tudi pred biološko razgradnjo), omogoča transport vode in plinov, občasno pomaga pri fotosintezi in nudi podporo drevesu. Skorje je od 10 % do 20 % celotne mase drevesa, vendar je znaten delež ostane neizkoriščen. Da bi prikazali možnosti rabe skorje za izdelavo različnih kompozitov, smo izdelali in analizirali tri različne kompozite, in sicer lesno-plastični kompozit iz skorje in polietilena, trislojni ploščni kompozit iz skorje, zlepljene z melamin-urea-formaldehidnim lepilom, in enoslojni ploščni kompozit iz vlažnih iveri skorje, zlepljenih s taninskimi lepili.

Ključne besede: skorja, iveri, lesno plastični kompozit, iverna plošča

Abstract:

Bark is a multifunctional material because it acts as a protection (against physical and mechanical damage, as well as against biological degradation), allows transport of water and gases, occasionally helps with photosynthesis, and provides support to the tree. Bark represents between 10% and 20% of the total tree mass, but a significant proportion of the bark remains unused. With the aim of demonstrating the potential use of bark to produce various composites, we produced and analysed three different composites: wood-plastic composite made of bark and polyethylene, three-layer panel composite made of bark bonded with melamine-urea-formaldehyde adhesive and single-layer panel composite made of wet bark chips bonded with tannin adhesives.

Key words: bark, particles, wood plastic composite, particleboard

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Drevo je olesenela rastlina, ki jo sestavljajo korenine, deblo in veje. Les je eden izmed najboljših materialov trajnostnega razvoja. Ob upoštevanju trajnostnega razvoja, krožnega gospodarstva in družbe brez odpadkov pa pri izkoriščanju lesa in potenciala drevesa nismo najbolj učinkoviti. Čeprav je uporabnost lesa zelo razvejana, od različnih proizvodov iz masivnega lesa do različnih lesnih kompozitov, kljub vsemu znaten del drevesa ostane neizkoriščen ali je njegova uporaba omejena, kar posledično pomeni, da ga zavržemo ali celo skurimo. Ob upoštevanju

slednjega nastajajo emisije toplogrednih plinov in s tem onesnaževanje okolja. Večinoma neuporabljeni del drevesa je najbolj viden, in sicer je to skorja.

Skorja je zunanji del debla in zavzema 10 % do 20 % celotne drevesne mase oz. od 6 % do 20 % volumna drevesa, kar je odvisno od vrste lesa. Anatomsko predstavlja skorja vsa tkiva zunaj vaskularnega kambija. Skorjo lahko razdelimo na zunanji del (odmrla tkiva, temna barva, spremenljive debeline) in notranji del (žive celice, svetlejša barva, tanjši sloj) oz. točneje na floem (notranji del skorje), periderem in ritidom (zunanji del skorje), kot prikazuje slika 1.

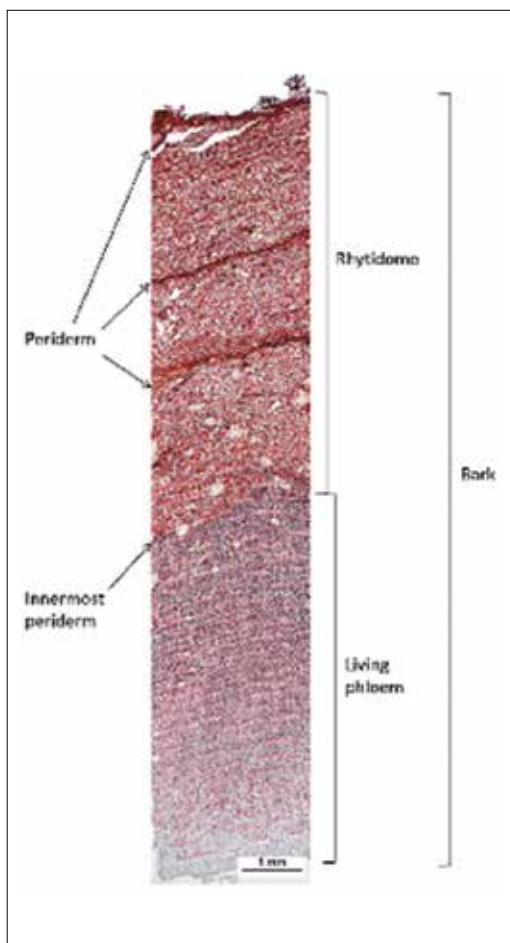
¹ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, sergej.medved@bf.uni-lj.si

² Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

³ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

⁴ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

⁵ Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvene tehnologije, Svetošimunska cesta 23, 10000 Zagreb, Hrvatska



Slika 1: Prerez skorje hrasta gradna (*Quercus petraea*) (Gričar in sod., 2015)

Skorja je večopravilni (večfunkcijski) material, saj deluje kot zaščita (pred fizikalnimi in mehanskimi poškodbami, pa tudi pred biološko razgradnjo), omogoča transport vode in plinov, občasno pomaga pri fotosintezi in nudi podporo drevesu (Rossel in sod., 2014; Ducatez-Boyer in Majourau, 2017). Bauer in sod. (2010) so ugotovili, da drevesa, ki rastejo v bližini požarno ogroženih regij, pogosto razvijejo tudi komponente, ki notranje elemente ščitijo pred visokimi temperaturami. Tista, ki rastejo v hladnejših regijah, kot so ugotovili Strimbeck in sod. (2015), pa razvijejo biokemične komponente, ki pomagajo ščititi drevo pred nizkimi temperaturami (preprečujejo zamrznitev celične vsebine).

Kot sta opisala Fengel in Wagner (1983), je skorja zgrajena iz celuloze, hemiceluloze, lignina in ekstraktivov. Delež posamezne komponente je odvisen od drevesne vrste in lokacije v skorji. Na splošno je delež celuloze od 30 % do 42 %, lignina od 20 % do 40 % in ekstraktivov od 5 % do 17 %. Kot že omenjeno, je kemijska zgradba skorje odvisna tudi od lokacije v skorji (Martin in Christ, 1970). Delež ekstraktivov in celuloze se zmanjšuje od notranjega dela skorje proti zunanemu, medtem ko se delež lignina in fenolnih komponent večja. V primerjavi z lesom skorja vsebuje več pepela, ekstraktivov in lignina, medtem ko je polisaharidnih enot, celuloze in hemiceluloze manj (Simionescu in sod., 1988; Antonović in sod. 2010; Antonović in sod. 2018). Vendar pa struktura ni enotna po preseku skorje in je v veliki meri odvisna od lokacije.

Zaradi vse večje porabe lesa in lesnih produktov je skorja velik potencial, saj še vedno ostaja neizkoriščen naravni vir. Del skorje, ki nastane v procesu odstranjevanja skorje v gozdu ali žagarskih obratih, skurimo (energija), manjši del pa uporabimo za urejanje krajine, v farmaciji (Miranda in sod., 2012) ali za strojenje kož (Pizzi, 2008).

Kljub omenjenim področjem rabe skorje pa je kljub vsemu velik del ostane neizkoriščen, kar pa lahko pomeni velike izzive (Harkin in Rowe, 1971). Velike količine skorje, ki ostanejo v gozdovih ali se zbirajo na deponijah, so idealno okolje za razkrojevanje, razvoj insektov in celo potencialna nevarnost požara. Tudi raba skorje kot energent ni najboljša možnost. Deppe in Hoffmann (1972), Gupta in sod. (2011) ter Svoykin in sod. (2019) so namreč ugotovili, da ima skorja nizko kalorično vrednost in velik delež pepela.

Raba skorje temelji predvsem na njenih kemijskih in fizikalnih lastnostih. Zato ne preseneča, da je večina objav v zadnjem desetletju usmerjena predvsem v uporabo skorje kot izolatorja, za izdelavo izolacijskih plošč (Martin, 1963; Suzuki in Saito, 1994; Sato in sod., 2009; Kain in sod. 2014; Gößwald in sod., 2021) ter kot vir tanina za izdelavo veziva za lesne ploščne kompozite in pene (Pizzi, 1982a; Pizzi, 1982b; Ballerini, 2005; Tondi in Pizzi, 2009; Cui in sod., 2015).

Čeprav so Deppe in Ernst (1977) ter Pászatory in sod. (2016) omenjali, da skorja ni bila najbolj zaželeno surovino pri proizvodnji lesnih plošč-nih kompozitov, predvsem zaradi neprimernih morfoloških značilnosti gradnikov, prisotnosti umazanije, kamnov in drugih nezaželenih primesi, pobranih v procesu podiranja in spravila hlodovine, pa je kar nekaj raziskovalcev ugotavljalo možnost rabe skorje predvsem pri izdelavi ivernih plošč. Aaron (1973, citiran v Muszynski in McNatt, 1984) je ugotovil, da 10 % delež skorje signifikantno ne vpliva na lastnosti ivernih plošč. Lehmann in Geimer (1974), Muszynski in McNatt (1984), Nemli in Çolakoğlu (2005) so ugotovili, da se z večanjem deleža skorje manjšajo mehanske lastnosti ivernih plošč. Muszynski in McNatt (1984) sta ugotovila tudi večanje debelinskega nabreka in vpijanja vode z večanjem deleža skorje v ploščah. Podobno so ugotovili tudi Blanchet in sod. (2000) ter Nguého Yemele in sod. (2008). Nasprotno pa sta Nemli in Çolakoğlu (2005) ugotovila, da se z večanjem deleža skorje manjša debelinski nabrek. Ružiak in sod. (2017) so uporabili skorjo kot polnilo pri izdelavi furnirnih vezanih plošč in prav tako ugotovili, da sprememba deleža skorje vpliva na debelinski nabrek.

Z vidika rabe skorje v proizvodnji lesnih ploščnih kompozitov je najbolj obetavna vloga skorje kot zadrževalnika formaldehida. Dodatek skorje namreč zmanjša emisijo formaldehida, kar je predvsem posledica fenolom podobnih snovi, na katere se veže formaldehid (Roffael, 1982; Cameron in Pizzi, 1985; Prasetya in Roffael, 1991; Lelis in Roffael, 1995; Nemli in Çolakoğlu, 2005; Takano in sod., 2008; Medved in sod., 2017; Medved in sod., 2018).

Naravno vezivno sposobnost skorje so raziskali Burrows (1960), Wellons in Krahmer (1973), Chow (1972, 1975), Chow in Pickles (1971) in Troughton (1997). Ugotovili so, da je mogoče aktivirati samovezivno sposobnost skorje, pri čemer pa so poudarili, da je za doseganje takšne aktivnosti potrebna visoka temperatura (okoli 300 °C).

Pregled podatkov poseka za leto 2020 (SiStat Database, 2022) kaže, da smo v Sloveniji posekali 4,2 Mm³, v Evropi (EU-27) pa približno 489 Mm³

dreves. Okvirna kalkulacija, s konzervativnim predvidevanjem, da skorja zavzema 10 % volumna drevesa (Liepiņš in Liepiņš, 2015), kaže, da je v Sloveniji potencialno na voljo 420.000 m³, v Evropi pa več kot 49 Mm³ lignocelulozne mase v obliki skorje oz. je ostane neuporabljene. Čeprav se relativno velik delež skorje porabi za pridobivanje toplotne energije, pa vseeno največji delež ostane ali v gozdu ali pa se zbira na deponijah.

In ravno neizkoriščen del skorje je lahko potencial za nove proizvode/kompozite in novo gozdarsko-lesarsko vrednostno verigo. V prispevku bomo prikazali možnosti rabe skorje za izdelavo lesno-plastičnih kompozitov in ivernih plošč.

2 MATERIALI IN METODE

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 Materiali

2.1 Materials

Za izdelavo lignoceluloznih kompozitov smo uporabili les (iveri) smreke (*Picea Abies*) in skorjo iglavcev (mešanica), pri čemer je bil večinski delež skorja smreke in bora. Poleg skorje, ki je bila v naših kompozitih vlaknat element, smo kot vezivo uporabili tri različne materiale, in sicer:

- polietilen (PE) v prašni obliki (Dowlex, 2631.10UE) v kombinaciji z maleičnim anhidridom (grafiranim s polietilenom MAPE, Graft Polymer, Borovnica). Temperatura tališča polietilena je pri 124 °C, njegova gostota pa je 0,935 g·cm⁻³;
- melamin-urea-formaldehidno lepilo (MUF) Dynea Primere 10H119, proizvajalca Metadynea Austria (donacija podjetja Metadynea Austria GmbH). Lepilo spada v emisijski razred E1 in
- borov tanin: lepilno mešanico borovega tanina v kombinaciji s heksamonom smo pripravili tako, da smo borov tanin raztopili v vodi (masno razmerje 1 : 1). Zmes smo mešali petnajst minut, nato pa uravnali vrednost pH z dodajanjem natrijevega hidroksida. Ciljna vrednost pH je bila 9. Na koncu smo raztopini dodali še 6 % heksamina (glede na maso tanina), in sicer v obliki 33,3 % vodne raztopine.

2.2 Metode

2.2 Methods

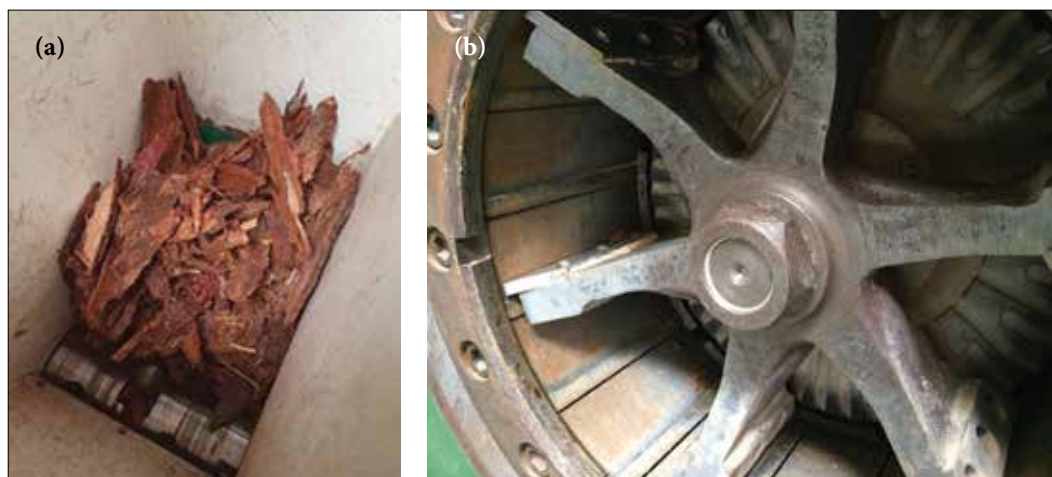
2.2.1 Priprava gradnikov

2.2.1 Preparation of constituents

Skorjo smo najprej zdrobili v laboratorijskem drobilniku (slika 2a), nato pa še v laboratorijskem iverilniku (slika 2b).

Nato smo skorjo z laboratorijskim sejalnikom ločili na tri velikostne skupine, in sicer: (1) sku-

pina M, ki obsega delce, ki so padli skozi sito z odprtini, velikimi en mm, (2) skupina S so delci, ki so ostali na situ z odprtini, velikimi en mm, in padli skozi sito z odprtini 4 mm in (3) skupina V z delci, ki so ostali na situ z odprtini, velikimi 4 mm. Po sejanju smo del gradnikov skorje 24 ur sušili pri temperaturi 70 °C na vlažnost okoli 2 %, del pa smo postavili v prostor s povišano vlažnostjo (okoli 85 % relativna zračna vlažnost).



Slika 2: Laboratorijski drobilnik in iverilnik, uporabljena za izdelavo gradnikov skorje (foto: G. Vilman, 2022 in S. Medved, 2021)

2.2.2 Izdelava plošč

2.2.2 Panel manufacturing

Za namen raziskave smo naredili tri različne serije plošč, in sicer:

- serija 1: lesno-plastični kompozit v kombinaciji PE in gradniki skorje
- serija 2: trislojna plošča, pri čemer smo kot lepilo uporabili lepilo MUF
- serija 3: enoslojne plošče, pri čemer smo uporabili vlažne gradnike skorje in lepilo na taninski osnovi

2.2.2.1 Lesno-plastični kompozit iz skorje

2.2.2.1 Bark-based wood plastic composite

Za izdelavo lesno-plastičnega kompozita iz skorje smo kot vezivo uporabili PE prah v kombinaciji s PE gafiranim z maleičnim anhidridom. Za

izdelavo smo uporabili 70 % gradnikov z oznako M in 30 % gradnikov z oznako S. Gradniki skorje so imeli vlažnost 2 %. Izdelali smo sedem plošč z deleži skorje od 10 do 70 %. Mešanico skorje in PE smo natresli v kalup, velikosti 300 × 300 mm², in stisnili na debelino 8 mm. Temperatura stiskanja je bila 180 °C, tlak stiskanja pa 5 N·mm⁻². Stiskanje je trajalo deset minut, čemur je sledilo še desetminutno ohlajanje v hladni stiskalnici (tlak je bil enak kot pri vročem stiskanju). Po sedmih dneh smo plošče razžagali na primerno velike preskušance za določanje naslednjih lastnosti:

- debelina in gostota: 50 × 50 mm²; pet preskušancev
- upogibna trdnost: 120 × 15 mm²; šest preskušancev
- natezna trdnost: 175 × 13 mm²; pet preskušancev

2.2.2.2 Izdelava trislojnih plošč z lepilom MUF

2.2.2.2 Manufacturing of three-layer panels bonded with MUF adhesive

Za izdelavo trislojnih plošč iz skorje smo v zunanjem sloju uporabili mešanico iveri, in sicer 1/3 skupine M in 2/3 skupine S, v srednjem sloju pa smo uporabili 1/3 iveri skupine S in 2/3 iveri skupine V. Tako pripravljene mešanice iveri skorje smo ločeno oblepili z melamin-urea-formaldehidnim lepilom, in sicer je bil delež lepila v zunanjem sloju (ZS) 15 % oz. 20 %, v srednjem (SrS) pa 15 % oz. 10 %. Oblepljene iveri smo natresli v okvir velikosti $500 \times 500 \text{ mm}^2$ (slika 3).

Temperatura stiskanja je bila 180°C , tlak stiskanja pa $3 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Stiskanje je trajalo pet minut; stiskali smo na debelino 16 mm. Po sedmih dneh smo plošče razžagali na primerno velike preskušance za določanje naslednjih lastnosti:

- debelina in gostota: $50 \times 50 \text{ mm}^2$; šest preskušancev
- upogibna trdnost: $370 \times 50 \text{ mm}^2$; šest preskušancev
- razslojna trdnost: $50 \times 50 \text{ mm}^2$; osem preskušancev
- debelinski nabrek: $50 \times 50 \text{ mm}^2$; osem preskušancev



Slika 3: Natresena skorja (foto: G. Vilman, 2022)

2.2.2.3 Izdelava enoslojnih plošč s taninskim lepilom

2.2.2.3 Manufacturing of single-layer panels bonded with tanin adhesive

Po podobnem postopku, kot smo izdelovali trislojne plošče, smo izdelovali tudi enoslojne, pri čemer pa smo uporabili vlažne gradnike skorje

in taninsko lepilo. Izdelali smo dvanajst plošč, ki so se razlikovale po velikosti uporabljenih iveri skorje in vlažnosti skorje. Vlažnosti skorje so bile 0 %, 10 %, 20 % in 50 %. Oblepljene iveri smo natresli v kalup velikosti $320 \times 320 \text{ mm}^2$. Stiskali smo na debelino 8 mm po prilagojenem protokolu stiskanja, saj so iveri vsebovale višjo

vlačnost, kot je sicer pri izdelavi ivernih plošč. Stiskanje smo razdelili v tri faze, in sicer smo v prvi fazi, ki je trajala 90 sekund, stiskali s tlakom $3 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. V drugi fazi smo tlak znižali na $0,5 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Druga faza je trajala 210 sekund. V tretji fazi, ki je trajala 180 sekund, smo tlak ponovno povečali na $3 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Skupen čas stiskanja je bil osem minut. Po sedmih dneh smo plošče razžagali na primerno velike preskušance za določanje naslednjih lastnosti:

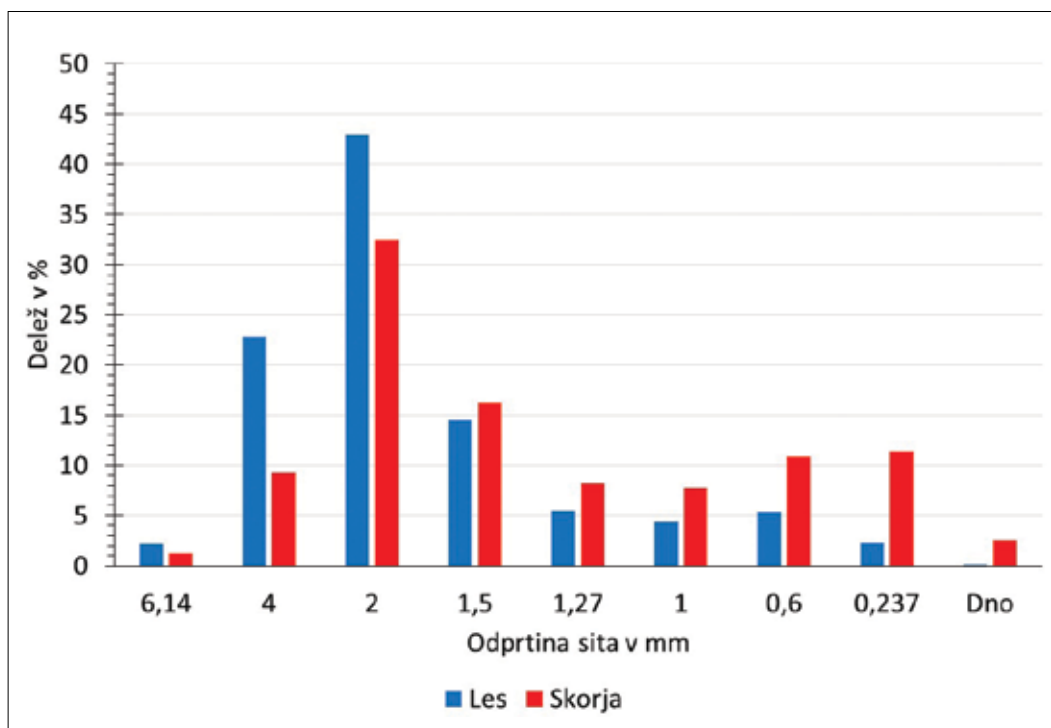
- debelina in gostota: $50 \times 50 \text{ mm}^2$; šest preskušancev
- upogibna trdnost: $190 \times 50 \text{ mm}^2$; trije preskušanci
- razslojna trdnost: $50 \times 50 \text{ mm}^2$; šest preskušancev
- debelinski nabrek: $50 \times 50 \text{ mm}^2$; šest preskušancev

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSSION

Sejalna analiza (slika 4) in tudi vizualna primerjava (slika 5) iveri lesa smreke in skorje iglavcev kaže razlike v obliki in velikosti iveri.

Kot lahko vidimo, je pri skorji znatno večji delež finejših frakcij (odprtina sita manjša od 2 mm) in manjši delež večjih (odprtina sita večja od 1,5 mm). Na sliki 5 lahko tudi vidimo, da je delež vitkejših frakcij manjši pri skorji (mešanica skorje iglavcev) kot pri ivereh iz smrekovine. Frakcije, ki smo jih uporabili v raziskavi, so prikazane na sliki 6.



Slika 4: Primerjava sejalne analize iveri smreke in iveri skorje



Slika 5: Vizualna primerjava iveri smreke (a) in iveri skorje (b)



Slika 6: Videz uporabljenih frakcij (M – majhne; S – srednje velike in V – velike frakcije)

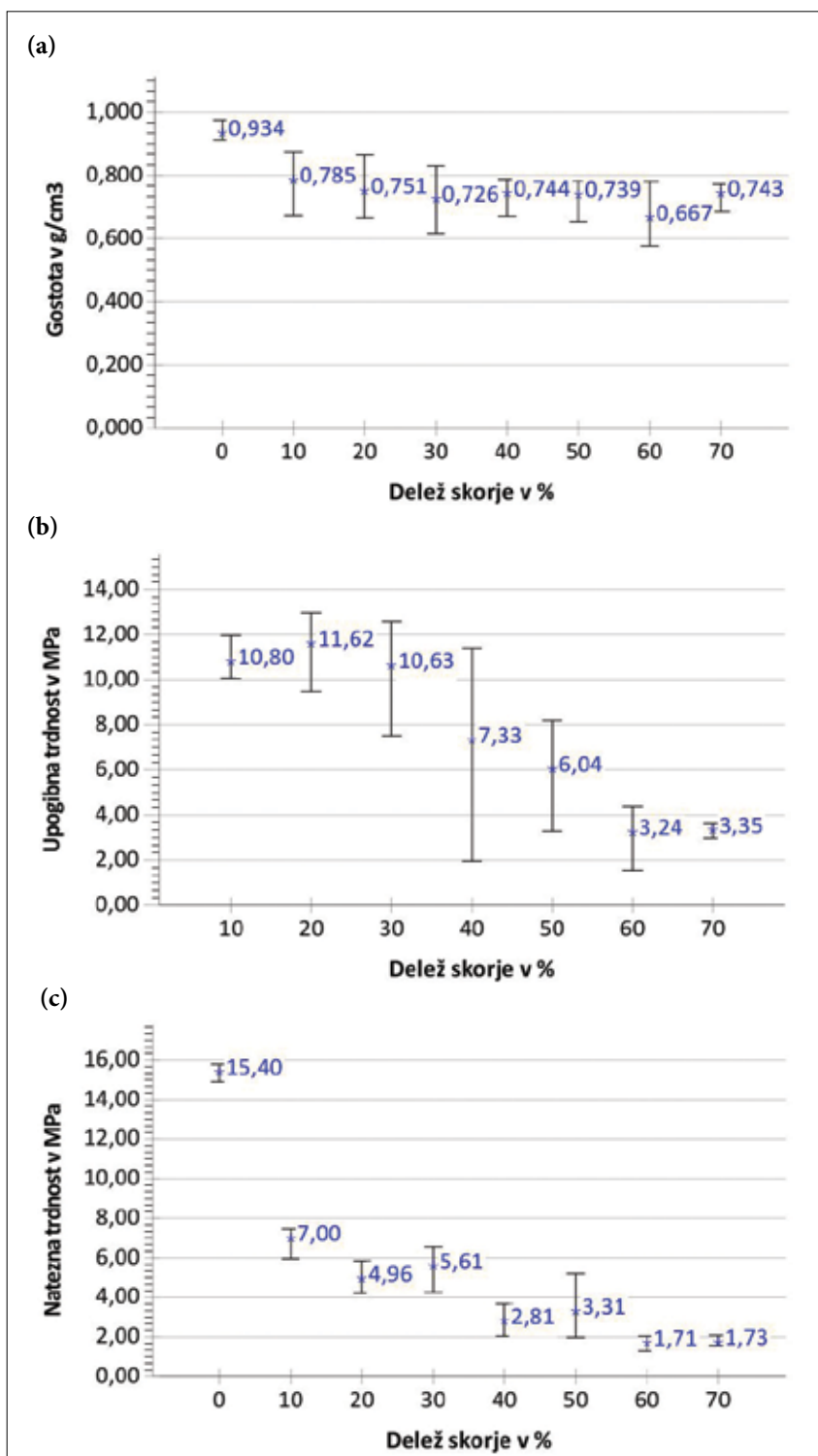
3.1 Lesno-plastični kompoziti iz skorje

3.1 Bark-based wood plastic composite

Analiza rezultatov lesno-plastičnih kompozitov iz skorje kaže na negativen vpliv večanja deleža skorje na lastnosti plošč (slika 7).

Ker so gostote izdelanih plošč primerljive oz. so razlike med njimi zanemarljive, lahko izključimo gostoto kot potencialni dejavnik. Ključni dejavnik, ki vpliva na lastnosti plošč, so morfološke značilnosti iveri skorje in mehanska trdnost skorje. Kot smo že opazili pri vizualni

primerjavi, imajo iveri skorje nižjo stopnjo vitkosti, ki pa je potrebna z vidika zagotavljanja mehanske trdnosti. Z uporabo gradnikov z višjo stopnjo vitkosti se namreč veča trdnost. Kljub negativnemu trendu lahko, glede na predstavljene rezultate, ugotovimo, da bi lahko izdelovali lesno-plastični kompozit z do 30 % deležem skorje z relativno dobrimi lastnosti. Upogibna trdnost in natezna trdnost sta pri ploščah z do 30 % deležem skorje višji kot pri tistih z večjimi deleži skorje.



Slika 7: Lastnosti lesno-plastičnega kompozita iz skorje: ((a) gostota, (b) upogibna trdnost in (c) natezna trdnost)

3.2 Trislojna plošča z lepilom MUF
3.2 Three-layer panels bonded with MUF adhesive

Lastnosti trislojnih plošč iz skorje, zlepljenih z lepilom MUF, so prikazane v preglednici 1.
V primerjavi s trislojno iverno ploščo, izdelano iz lesa, lahko opazimo slabšo upogibno trdnost, modul prožnosti in razslojno trdnost.

V standardu SIST EN 312, kjer so opredeljene najmanjše zahtevane vrednosti, lahko zasledimo, da je za ploščo z oznako P1 določena upogibna trdnost vsaj 10 N·mm⁻² in razslojna trdnost vsaj 0,24 N·mm⁻² (velja za debelinski razred od 13 do 20 mm). Pri pohištveni plošči (oznaka P2) pa so te vrednosti višje (upogibna trdnost vsaj 11 N·mm⁻² in razslojna trdnost vsaj 0,35 N·mm⁻²).

Preglednica 1: Lastnosti trislojne iverne plošče iz skorje

Oznaka plošč		A	B	C
Delež lepila	zunanji sloj	15 %	20 %	15 %
	srednji sloj	10 %	15 %	15 %
Debelina [mm]		17,21	17,19	17,22
Gostota [g·cm ⁻³]		0,646	0,666	0,659
Upogibna trdnost [N·mm ⁻²]		4,66	4,41	3,86
Modul elastičnosti [N·mm ⁻²]		928	889	830
Razslojna trdnost [N·mm ⁻²]		0,21	0,25	0,23
Debelinski nabrek [%]		8,56	8,44	8,43
Emisija formaldehida [mg·m ⁻² ·h]		1,490	1,877	2,088

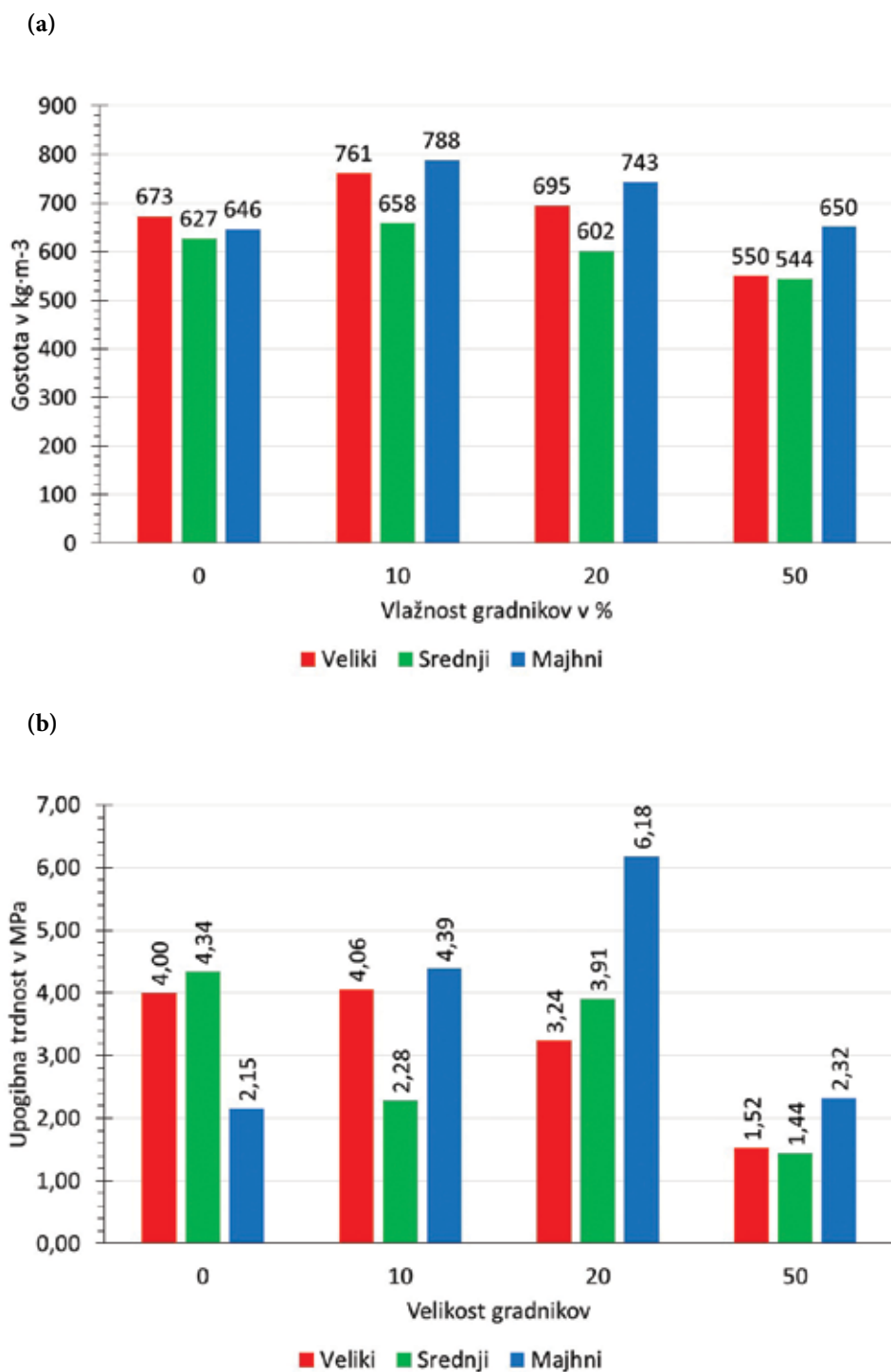
Kot že omenjeno, so z morfološkega vidika nižje vrednosti v največji meri posledica manj zaželenih oblik gradnikov iz skorje, prav tako pa so slabše lastnosti posledica manjše zmožnosti skorje k nastajanju močnejših vezi, kot so že ugotovili Blanchet in sod. (2000).
V preglednici 1 lahko opazimo tudi pozitivno značilnost skorje pri uporabi v ivernih ploščah. Lahko ugotovimo relativno nizke vrednosti debelinskega nabreka.

3.3 Enoslojna plošča s taninskim lepilom
3.3 Single-layer panels bonded with tannin adhesive

Rezultati analize enoslojnih plošč, izdelanih z uporabo vlažnih iveri skorje, so prikazani na sliki 8.

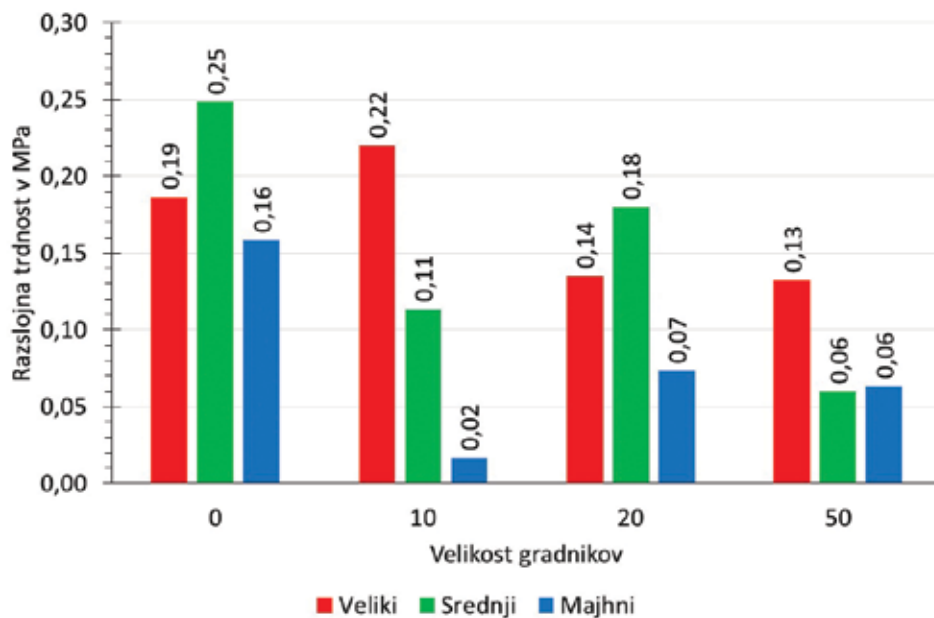
Čeprav velika vlažnost iveri ni zaželena v običajnem procesu izdelave ivernih plošč, smo z modifikiranim prilagojenim postopkom stiskanja izdelali plošče iz skorje in taninskega lepila. Trdnostne lastnosti plošč so primerljive trislojnim, ki smo jih oblepili z lepilom MUF. Na sliki 8 d pa lahko, v primerjavi s podatkom v preglednici 1, opazimo bistveno večji debelinski nabrek, kar je predvsem povezano z rabo taninskega lepila. Naravna lepila namreč ne zagotavljajo tako visoke stopnje odpornosti proti delovanju vode kot sintetična lepila.

Omenjeni primeri pa niso edina področja uporabe skorje za izdelavo kompozitov. Tako bi lahko skorjo uporabili tudi za izdelavo različnih toplotno izolacijskih plošč ali ovojev za steklenice, kar že proizvaja podjetje barkinsulation GmbH iz Halleina v Avstriji (<https://www.barkinsulation.at/>).

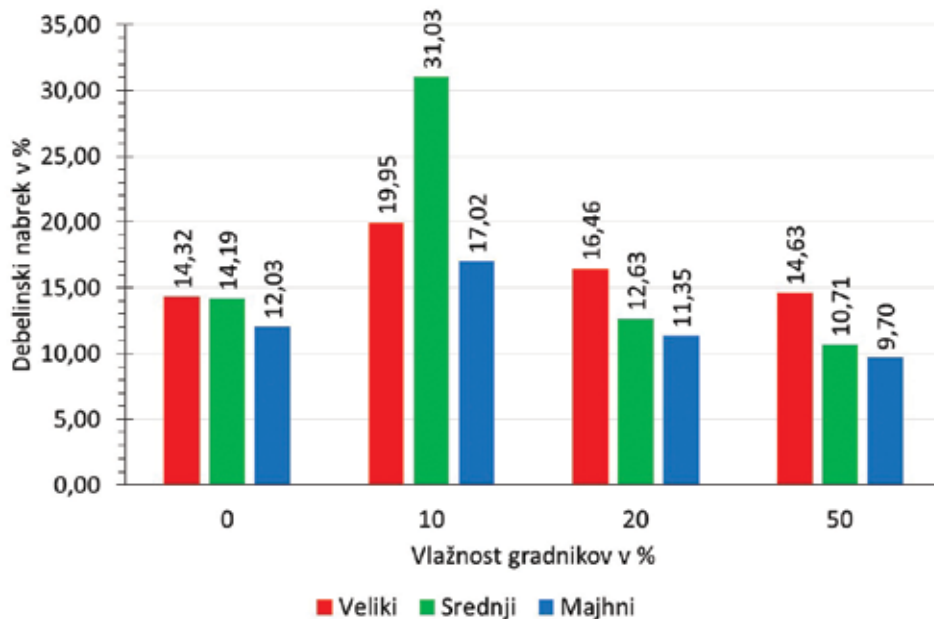


Slika 8: Lastnosti enoslojnih plošč, izdelanih iz vlažnih iveri skorje in taninskega lepila

(c)



(d)



Slika 8: Lastnosti enoslojnih plošč, izdelanih iz vlažnih iveri skorje in taninskega lepila

4 ZAKLJUČKI

4 CONCLUSIONS

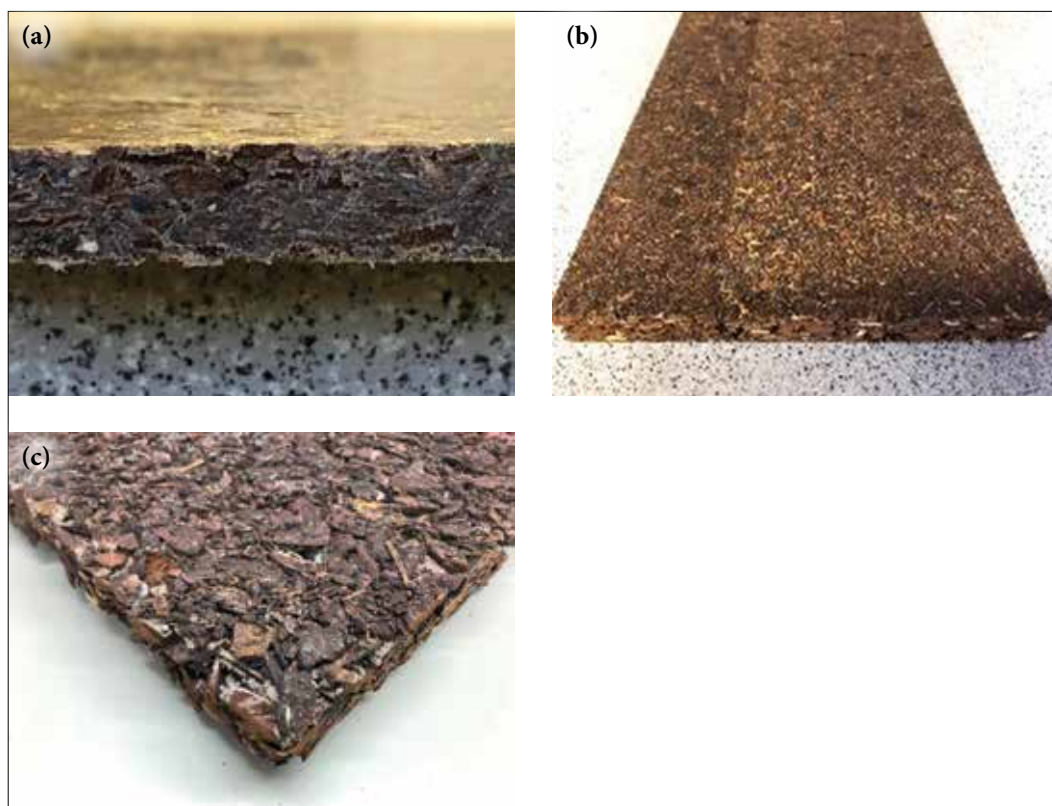
Čeprav v konceptu »običajnega postopka« izdelave plošč skorja ni zaželena vhodna surovina zaradi nečistoč pa tudi zaradi morfološko nezaželenih oblik iveri ter njene slabše mehanske trdnosti, smo s postopki prilagoditve izdelali različne kompozite LC, pri katerih smo za njihovo izdelavo uporabili izključno skorjo kot vlaknat element (slika 9).

Pri lesno-plastičnem kompozitu iz skorje smo ugotovili, da je z vidika upogibne trdnosti in natezne trdnosti mogoča izdelava kompozita z do 30 % deležem skorje. Pri večjem deležu skorje se upogibna trdnost in natezna trdnost manjšata z večanjem deleža skorje.

Kljub uporabi večjega deleža lepila MUF smo pri trislojnih ploščah ugotovili majhno upogibno trdnost in razslojno trdnost ter relativno majhen debelinski nabrek (visoka stopnja odpornosti proti delovanju vode).

Ugotovili smo tudi, da lahko za izdelavo enoslojnih plošč uporabimo tudi vlažne iveri skorje v kombinaciji s taninskimi lepili. Upogibna trdnost in razslojna trdnost sta bili primerljivi vrednostim, ugotovljenih pri trislojni plošči, kjer smo suhe iveri skorje oblepili z lepilom MUF.

Vsekakor pa prikazani primeri nakazujejo na velik tako raziskovalni kot tudi uporabnostni vidik skorje in s tem možnost za razvoj nove gozdarsko-lesarske vrednostne verige.



Slika 9: Kompoziti, izdelani iz skorje: (a) lesno-plastični kompozit, (b) trislojna plošča, (c) enoslojna plošča

5 POVZETEK

5 SUMMARY

Skorje je od 10 % do 20 % celotne mase drevesa ali od 6 % do 20 % volumna drevesa, kar je odvisno od vrste lesa. Skorja je zunanji del drevesa, torej del na zunanji strani vaskularnega kambija in jo lahko razdelimo na zunanji (odmrlo tkivo, temnejše barve, spremenljive debeline) in notranji del (žive celice, svetlejše barve, tanek sloj).

Skorja je večopravilni (večfunkcijski) material, saj deluje zaščitno (pred fizikalnimi in mehanskimi poškodbami, pa tudi pred biološko razgradnjo), omogoča transport vode in plinov, občasno pomaga pri fotosintezi in nudi podporo drevesu.

Trenutna raba skorje je usmerjena v pridobivanje toplotne energije in v razne specifične namene, npr. v hortikulturi, farmaciji, za strojenje kože, pridobivanje tanina ... Kljub omenjenim področjem rabe pa večina skorje ostane ali v gozdu ali pa se zbira na deponijah. Slednje ni zgolj težava, povezana z ekonomskim vidikom, ampak je povezana tudi s procesom razpadanja skorje (gnitje), je razvojno okolje za insekte in tudi nevarnost za nastanek požara.

Čeprav je skorja nezaželeno surovina pri proizvodnji lesnih ploščnih kompozitov, pa v tem prispevku predstavljamo nekatere možnosti rabe skorje za izdelavo različnih kompozitov LC. Tako smo izdelali lesno-plastični kompozit v kombinaciji skorje in PE, kjer smo sicer opazili, da se z večanjem deleža skorje lastnosti slabšajo, vendar je bila do deleža skorje 30 % sprememba (zmanjšanje) relativno majhna. Zaradi relativno majhnih sprememb lahko sklenemo, da so razlike zanemarljive. Lahko zaključimo, da je mogoča izdelava lesno-plastičnega kompozita s 30 % deležem skorje.

Izdelali smo tudi dva iverna kompozita, in sicer eno- in trislojno ploščo, kjer smo v enem primeru uporabili suhe iveri in lepilo MUF (trislojna plošče), v enem pa vlažne iveri skorje in taninsko lepilo. V obeh primerih smo dobili trdno in kompaktno ploščo, vendar sta bili upogibna trdnost in razslojna trdnost majhni oz. manjši kot pri ploščah, pri katerih [?]bi[?] uporabili les. Smo pa pri trislojni plošči opazili visoko stopnjo odpornosti proti delovanju vode (majhen debelinski nabrek).

The bark accounts for between 10 % and 20 % of the total weight of the trees, or between 6 % and 20 % of the tree volume. The amount of bark depends on the type of wood. The bark represents the outer part of the tree, that is, the part on the outside of the vascular cambium and can be divided into the outer part (dead tissue, darker colours, variable thickness) and inner part (living cells, lighter colours, thin layer).

The bark is a multitasking (multifunctional) material, as it acts as protection (against physical and mechanical damage, as well as against biological degradation), allows the transport of water and gases, occasionally helps with photosynthesis, and provides support to the tree.

The current use of bark is mainly for thermal energy and various specific purposes, such as horticulture, pharmacy, leather tanning, tannin production, etc. Despite these areas of use, most of the bark remains either in the forest or is collected in landfills or wasteyards. The latter, however, is not only a problem related to the economic aspect but is also related to the process of decay (rotting), what represents an ideal environment for insects as well as the risk of fire.

Although bark is an undesirable source of material in the production of wood-based composites, in this paper we present some possibilities of bark usage for the preparation and manufacture of various wood-based composites. We made a wood plastic composite in a combination of bark and PE, where we determined that with increasing bark share, the properties decrease, but up to the share of 30 %, the change (decrease) was relatively small. Due to relatively small changes, i.e. we can say that the differences are negligible, we can conclude that it is possible to produce a wood plastic composite with a 30 % share of the bark.

We also produced two particle-based composites, single and three-layer panel, where in one case we used dry particles and MUF adhesive (three-layer panels), and in one case moist bark particles and tannin glue. In both cases, a hard and compact plate was obtained, but the bending strength and internal bond were low or lower than at panels made from wood. However, a high degree of water resistance (low thickness swelling) was observed with the three-layer bark-based board.

6 ZAHVALA

6 ACKNOWLEDGEMENT

Prispevek je rezultat več projektov, povezanih med seboj, ki jih je sofinancirala Agencija za raziskovalno in inovacijsko dejavnost RS (ARIS): P4-0015 – Programska skupina les in lignocelulozni kompoziti in 0481-09 Infrastrukturni center za pripravo, staranje in terensko testiranje lesa ter lignoceluloznih materialov (IC LES PST) ter projekta CRP, ki sta ga sofinancirala ARIS in MKGP: V4-2017 – Izboljšanje konkurenčnosti slovenske gozdno-lesne verige v kontekstu podnebnih sprememb in prehoda v nizko ogljično družbo. Del raziskav je potekal tudi v okviru projekta OneForest (A Multi-Criteria Decision Support System For A Common Forest Management to Strengthen Forest Resilience, Harmonise Stakeholder Interests and Ensure Sustainable Wood Flows).

7 VIRI

7 REFERENCES

- Antonović, A., Jambrečević, V., Franjić, J., Španić, N., Pervan, S., Ištvančić, J., Bubić, A., 2010: Influence of sampling location on content and chemical composition of the beech native lignin (*Fagus sylvatica* L.). *Periodicum Biologorum* 112 (3)
- Antonović, A., Barčič, D., Kljak, J., Ištvančić, J., Podvorec, T., Stanešić, J., 2018: The Quality of Fired Aleppo Pine Wood (*Pinus halepensis* Mill.) Biomass for Biorefinery Products. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 39 (2): 313-324
- Baldosano H.Y, Castillo, B.M., Elloran, C.D., Baca, F.T., 2015: Effect of Particle Size, Solvent and Extraction Time on Tannin Extract from *Spondias purpurea* Bark Through Soxhlet Extraction. *Proceedings of the DLSU Research Congress Vol. 3* 2015: 6 p.
- Ducatez-Boyer, L. & Majourau, P., 2017: The multiple functions of tree bark. http://www.ecofog.gf/img/pdf/themultiplefunctionsoftreebark_paulineetlaura.pdf (25.01.2023), 7 p.
- Gričar, J., Jagodic, Š., Prislán, P., 2015: Structure and subsequent seasonal changes in the bark of sessile oak (*Quercus petraea*). *Trees* 29: 747-757
- Gupta, G., Yan, N., Feng, M.W., 2011: Effects of Pressing Temperature and Particle Size on Bark Board Properties Made from Beetle-Infested Lodgepole Pine (*Pinus contorta*) Barks. *Forest Products Journal* 61(6): 478-488
- Harkin, J.M., Rowe, J.W., 1971: Bark and its possible uses. *USDA Forest Service Research Note, FPL-091*: 56 p.
- Herrick, F.W., Bock, L.H., 1958: Thermosetting, exterior-plywood type adhesives from bark extracts. *Forest Product Journal* 8(10): 269-274
- Kain, G., Charwat-Pessler, J.; Barbu, M.C., Plank, B., Richter, K., Petutschnigg, A., 2015: Analyzing wood bark insulation board structure using X-ray computed tomography and modelling its thermal conductivity by means of finite difference method. *Journal of Composite Materials*: 1-12
- Lelis, R., Roffael, E., 1995: Über die reaktivität von douglasiensplintund- kernholz und deren heisswasserextrakte gegenüber formaldehyd. *Holz als Roh und Werkstoff* 53: 12-16
- Maclean, H., Gardner, J.A.F. (1952): Bark Extracts in Adhesives. *Pulp and paper magazine of Canada* 8: 111-114
- Miranda, I., Gominho, J., Pereira, H., 2012: Incorporation of bark tops in *Euclyptus globulus* wood pulping. *BioResources* 7(3): 4350-4361
- Muszynski, Z. and McNatt, J.D., 1984: Investigations on the use of spruce bark in the manufacture of particleboard in Poland. *Forest Products Journal* 34(1): 28-35
- Nemli, G. and Çolakoğlu, G., 2005: Effects of Mimosa Bark Usage on Some Properties of Particleboard. *Turkish Journal of agriculture and forestry* 29: 227-230
- Pizzi, A., 2008: Tannins: Major Sources, Properties and Applications. In *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*, 1st ed.; Gandini, A.; Naceur Belgacem., M., Eds.; Elsevier: Oxford; p. 179-199
- Prasetya, B., Roffael, E., 1991: Untersuchungen über das Verhalten extraktstoffreicher rinden in holzspanplatten zur reaktivität der fichtenrinde gegenüber formaldehyd. *Holz als Roh und Werkstoff* 49: 341-344
- Ružiak, I., Ignaz, R., Krišták, L., Réh, R., Mitterpach, J., Očkajová, A., Kučerka, M., 2017: Influence of Urea-formaldehyde Adhesive Modification with Beech Bark on Chosen Properties of Plywood. *BioResources*, 12(2): 3250-3264
- Roffael, E., Dix, B., Okuma, J., 2000: Use of spruce tannin as a binder in particleboards and medium density fibreboards (MDF). *Holz als Roh-und Werkstoff* 58: 301-305
- Takano, T., Murakami, T., Kamitakahara, H., Nakatsubo, F., 2008: Formaldehyde absorption by karamatsu (*Larix leptolepis*) bark. *Journal of Wood Science* 54: 332-336
- Tudor, E.M., Barbu, M.C., Petutschnigg, A., Réh, R., 2018: Added-value for wood bark as a coating layer for flooring tiles. *Journal of Cleaner Production* 170: 1354-1360