

Razpoložljivost virov taninov in ligninov za celostno zamenjavo sintetičnih lepil za les v evropskem prostoru

Tannin and Lignin Sources Availability for the Holistic Replacement of Synthetic Wood Adhesives in the European Area

Jaša SARAŽIN¹, Igor POTOČNIK², Milan ŠERNEK³

Izvleček:

Saražin, J., Potočnik, I., Šernek, M.: Razpoložljivost virov taninov in ligninov za celostno zamenjavo sintetičnih lepil za les v evropskem prostoru; *Gozdarski vestnik*, 78/2020, št. 1. V slovenščini z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 18. Prevod Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

Svetovna poraba fosilnih goriv se vsako leto večja, s tem pa se večja tudi težnja po njihovi zamenjavi z obnovljivimi viri. Lesna biomasa zaradi svoje sestave lahko nadomešča fosilna goriva tako na področju energentov kot tudi na področju surovin za proizvodnjo materialov. Ugotovljeno je bilo, da je poraba lesne biomase za proizvodnjo materialov bolj smiselna. Ocenjeno je bilo, da se v Evropi za proizvodnjo lesnih plošč proizvede približno pet milijonov ton lepil, med katerimi so najpogostejša sintetična na osnovi formaldehida. Ker le-ta obremenjuje okolje in je zdravju škodljiv, je iskanje okoljsko primernejših alternativ predmet raziskav že nekaj desetletij. Tanini in lignini, kot najizdatnejši obnovljivi viri polifenolnih spojin, so primerni za uporabo v lepilih za les. Bolj reaktivni tanini so primerni kot glavna komponenta lepila, lignini pa predvsem kot dodatek lepilom. Zato je cilj tega prispevka odgovoriti na naslednji hipotezi: hipoteza 1 predpostavlja, da je v Evropi dovolj razpoložljivega tanina za izdelavo lepil z 90 % deležem tanina glede na suho snov lepila, ki bi zadostila sedanje evropske potrebe po sintetičnih lepilih. Hipoteza 2 pa predpostavlja, da je v Evropi dovolj razpoložljivega tanina in lignina za izdelavo lepil s 45 % tanina in 45 % lignina, ki bi zadostila sedanje evropske potrebe po sintetičnih lepilih. Hipoteza 1 je bila zavrnjena, saj je bilo ocenjeno, da bi z razpoložljivimi tanini lahko zagotovili le približno 70 % potreb po sintetičnih lepilih. Hipoteza 2 pa je bila v celoti potrjena. Če bi za proizvodnjo biolepil izkoristili tanine, ki jih trenutno večinoma sežgejo s skorjo evropskih iglavcev, ter lignine, ki jih sežgejo kot stranski produkti papirne industrije, bi lahko količinsko v celoti nadomestili zdaj uporabljana sintetična lepila.

Ključne besede: biolepila, tanin, lignin, posek, lesni ostanki, lesni kompoziti

Abstract:

Saražin, J., Potočnik, I., Šernek, M.: Tannin and Lignin Sources Availability for the Holistic Replacement of Synthetic Wood Adhesives in the European Area; *Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry)*, 78/2020, vol 1. In Slovenian, abstract and summary in English, lit. quot. 18. Translated by Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

Global consumption of fossil fuels increases every year and thereby increases also the striving to replace them with renewable sources. Due to its composition, wood biomass can replace fossil fuels both in the field of energy sources and in the field of raw materials for production of diverse materials. It has been found out, that the use of wood biomass for the production of diverse materials makes more sense. Estimations have been done, that around five million tons of adhesives, most of them synthetic on the basis of formaldehyde, are produced in Europe for production of wood panels. Since they impose pressure on the environment and harm the health, environmentally appropriate alternatives represent a research item already for some decades. Tannins and lignins as the most abundant renewable sources of polyphenol compounds are appropriate for use in wood adhesives. The more reactive tannins are suitable for the main adhesive component and the lignins mostly for the additives to the adhesives. The goal of this article is therefore to answer to the following two hypotheses: Hypothesis 1 assumes that in Europe, there is enough of available tannin for production of adhesives with 90 % tannin share with regard to dry adhesive substance to satisfy the present European needs for synthetic adhesives. Hypothesis 2 assumes that in Europe, there is enough of available tannin and lignin for production of adhesives containing 45 % tannin and 45 % lignin to satisfy the present European needs for synthetic adhesives. Hypothesis 1 was rejected due to the estimation that only around 70 % of needs for synthetic adhesives could be covered with the available tannins. Hypothesis 2 was fully confirmed. If we exploited the tannins, at present mostly burned with the bark of European conifers, and lignins, burned as a side product of paper industry, for the production of bioadhesives, from the quantity viewpoint we could fully replace synthetic adhesives used at present.

Key words: bioadhesives, tannin, lignin, felling, wood residues, wood composites

¹ J. S. mag. inž. gozd., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo. Rožna dolina, Cesta VIII/34, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. jasa.sarazin@bf.uni-lj.si

² Prof. dr. I. P., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo. Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. igor.potocnik@bf.uni-lj.si

³ Prof. dr. M. Š., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo. Rožna dolina, Cesta VIII/34, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. milan.sernek@bf.uni-lj.si

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Gozdovi so izjemen obnovljiv fond za proizvodnjo surovin in energije. Iz posekanih lesnih sortimentov lahko izdelamo številne izdelke, pridobimo specialne spojine ali pa jih preko izgorevanja pretvorimo v energijo, ne da bi porabili kanček neobnovljivih fosilnih goriv in tako povečevali ogljični odtis. Prostrane, z gozdom poraščene površine dajo slutiti, da so zaloge neomejene ter da bi lahko nadomestile naše potrebe po naftnih derivatih, ki jih bo zmanjkalo prej ali slej. Vendar temu ni tako.

Aktualna svetovna poraba fosilnih goriv (11,5 milijarde toe (BP, 2018)) je v letu 2017 več kot za deset-krat preseгла energijsko vrednost skupnega letnega poseka lesa (3,8 milijarde m³ (FAO, 2019)) v vseh gozdovih sveta (Formula 1). Ker bi celoten svetovni posek lesa lahko zagotovil le slabo desetino energije, ki jo zagotavljajo fosilna goriva, je iskanje alternativ za zamenjavo fosilnih goriv kot energentov z lesno biomaso¹ nesmiselno (slika 1). Trenutno je proizvodnji energije namenjeno 49,7 % svetovnega poseka lesa, preostanek pa predelavi v lesni in papirni industriji (FAO, 2019). Rezultati preračunov, ki dodatno prikazujejo stanje v svetu, Evropi in Sloveniji so predstavljeni v preglednici 1.

Formula 1: Preračun kurilne vrednosti lesa v toe
Formula 1: Calculation of wood energy value in toe

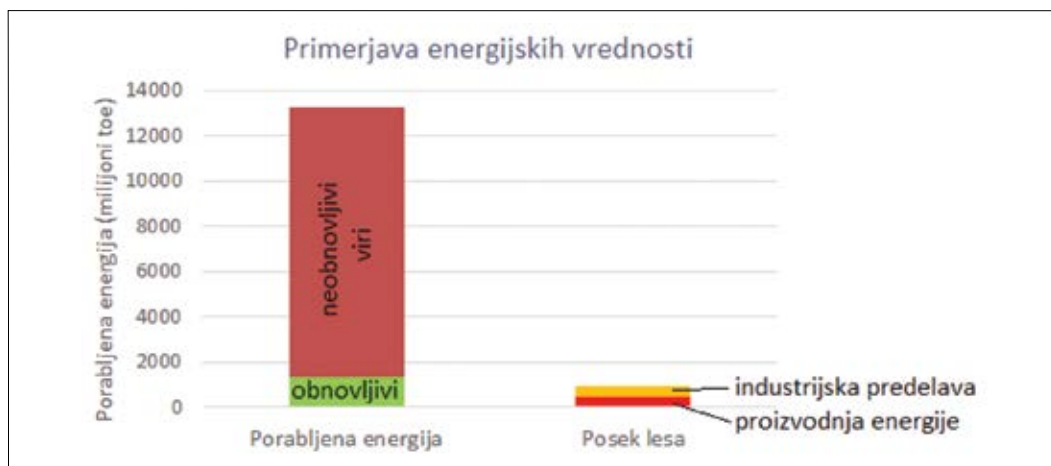
1 toe (tone naftnega ekvivalenta) proizvede 11,6 MWh
 1 m³ lesa trdih listavcev proizvede 2,8 MWh (Krajnc in Piškur, 2011)

→ iz tega sledi, da za proizvodnjo 1 toe potrebujemo vsaj 4,1 m³ lesa

Kurilna vrednost svetovnega poseka v letu 2017 tako okvirno znaša: $3,8 \text{ milijarde m}^3 \div 4,1 = 0,9 \text{ milijarde toe}$

V Evropi se 94,3 % fosilnih goriv porabi za proizvodnjo energije, preostanek pa za proizvodnjo umetnih materialov (maziva, plastika, lepila (EUROSTAT, 2019). Alternativni viri za proizvodnjo obnovljive energije so številni in njihovi potenciali večinoma še niso izkoriščeni. Njihov skupni delež energije, ki se je v Evropi proizvedla leta 2017, znaša 13,5 % (EUROSTAT, 2019).

Glede proizvodnje specialnih surovin, kot so denimo lepila za lepljenje lesa, pa poleg biomase nimamo resne alternative naftnim derivatom. Čeprav je nabor lepil za lepljenje lesa ogromen, je pri vseh ključnega pomena prisotnost ogljikovodikov, ki lahko izvirajo le iz naftnih derivatov ali biomase. Zaradi višje dodane vrednosti specialnih surovin ter dejstva, da les ne more resno prispevati pri nadomestitvi trenutne porabe fosilnih goriv,



Slika 1: Prikaz deleža energije, (potencialno) pridobljene iz celotnega svetovnega poseka lesa v letu 2017 (povzeto po: BP, 2018 in FAO, 2019)

Figure 1: Presentation of energy share, (which could be) obtained from the global wood felling in 2017 (according to: BP, 2018, and FAO, 2019)

¹ S pojmom lesna biomasa v tem članku mislimo na les in tudi na drevesno skorjo.

Preglednica 1: Pregled skupne porabljene energije in energijske vrednosti posekanega lesa za leto 2017 (povzeto po: BP, 2018; Energetska bilanca,...2018; EUROSTAT, 2019; FAO, 2019; SURS in ZGS, 2019)

Table 1: Overview of the total consumed energy and energy value of the felled wood for 2017 (according to: BP, 2018; Energetska bilanca (Energy balance),...2018; EUROSTAT, 2019; FAO, 2019; SURS and ZGS, 2019)

Leto 2017	Skupna poraba energije (Mtoe)	Delež obnovljivih virov	Neenergetska raba fosilnih goriv glede na skupno porabo energije	Energijska vrednost poseka lesa (Mtoe) (% porabe)	Delež poseka, namenjen kurjavi
Svet	13511	10,4 %	od 5 do 8 %	926 (6,8 %)	49,8 %
Evropa	1673	13,9 %	5,7 %	186 (11,1 %)	20,6 %
Slovenija	5	21,6 %	0,9 %	1 (24,3 %)	23,0 %

je bistveno obetavnejše investiranje zalog lesne biomase v proizvodnjo materialov kot pa v proizvodnjo energije. Za proizvodnjo novih materialov so najprimernejše surovine tisti ostanki lesne in papirniške industrije, ki so bili doslej namenjeni kurjavi. Iz iste lesne surovine je namreč mogoče narediti sekance za proizvodnjo energije, iveri ali vlakna za lesne plošče ali pa specialne spojine za izdelavo novih materialov. Ključna razlika je v dodani vrednosti končnega proizvoda in v učinku, ki smo ga tako dosegli.

V nadaljevanju bomo natančneje pisali o izdelavi lepil za les iz lesne biomase, s katerimi se ukvarjamo v okviru projekta WooBAdh. Konzorcij projekta ERA CoBioTech sestavlja pet partnerjev iz Španije (vodilni), Nemčije, Francije in Slovenije, njihov glavni cilj pa je razviti ekonomsko zanimivo in ekološko sprejemljivo biolepilo na osnovi tanina in lignina, ki bi lahko dolgoročno nadomestilo zdaj uporabljana sintetična lepila.

Sintetična lepila zavzemajo približno 90 % celotnega trga z lepili za les. Najpogosteje uporabljana med njimi vsebujejo tudi do 50 % formaldehida. Ta derivat metanola, ki se iz lesnih kompozitov sprošča v bivalno okolje tudi po njihovi vgradnji, je že ob majhni prisotnosti v zraku dokazano kancerogen (kategorija 1B) in mutagen (kategorija 2), ob večji prisotnosti pa tudi akutno strupen (kategorija 3) (Uredba ..., 2008). Zato je zelo velika težnja po njegovi zamenjavi z okoljsko prijaznejšimi alternativami. Glavni viri za izdelavo biolepil so tanini, lignini, proteini, ogljikovi hidrati in nenasičena rastlinska olja (Pizzi, 2006).

V tem prispevku je glavna metoda dela povzemanje in preračunavanje količin energentov in surovin za izdelavo lepil na podlagi javno

dostopne literature in podatkovnih baz. V tem članku bomo preverili dve hipotezi:

- hipoteza 1 – V Evropi je dovolj razpoložljivega tanina za izdelavo lepil z 90 % delež tanina, ki bi zadostila sedanje evropske potrebe po sintetičnih lepilih,
- hipoteza 2 – V Evropi je dovolj razpoložljivega tanina in lignina za izdelavo lepil s 45 % deležem tanina in 45 % lignina, ki bi zadostila sedanje evropske potrebe po sintetičnih lepilih.

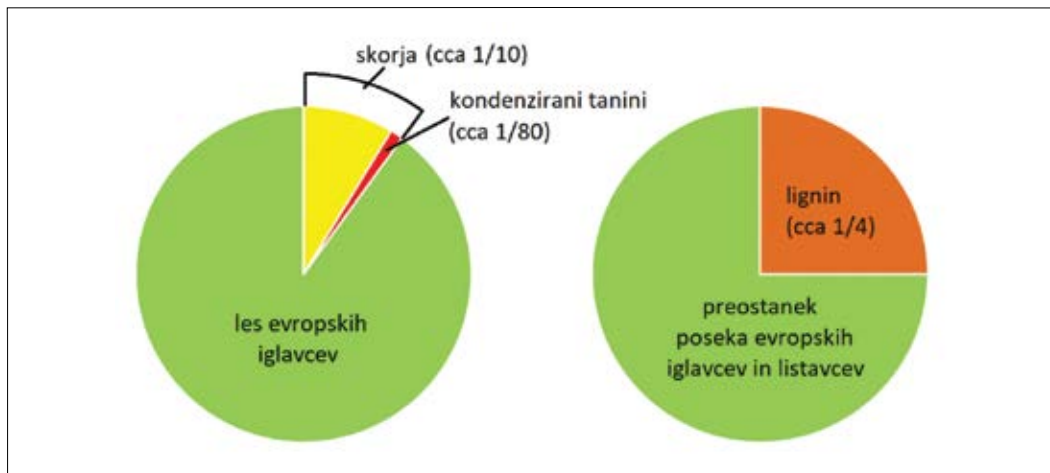
2 LEPILA, TANIN IN LIGNIN – POTREBE IN KAPACITETE SUROVIN

2 ADHESIVES, TANNIN AND LIGNIN – NEEDS AND RAW MATERIALS CAPACITIES

Lignine uvrščamo na tretje, tanine pa na četrto mesto najpogosteje zastopanih spojin v svetovni biomasi (Hernes in Hedges, 2000). Zaradi svojega polifenolnega značaja so lignini in tanini primeren material za uporabo v lepilih za les. Sploh s tanini so zaradi njihove velike reaktivnosti uspeli izdelati lepilne mešanice, kjer je bilo tanina več kot 90 % suhe snovi lepila, ki so uspešne tudi v komercialni uporabi. Lignini pa potrebujejo nekoliko več energije za potek reakcije oziroma utrjevanje in so primernejši kot dodatek drugim lepilom v razmerju do največ 50 % suhe snovi (lahko tudi v kombinaciji s taninom) in se še niso izkazali v komercialni uporabi (Pizzi, 2016; Pizzi in sod., 1997; Mansouri in sod., 2011). Ker so lignini in tanini v naravi v tako velikih količinah, se zdijo zelo ustreznosti za celostno zamenjavo obstoječih sintetičnih lepil. Vprašanje, ki se pri tem poraja, pa je, ali je dejansko dovolj primerne tanina in lignina za zamenjavo sintetičnih lepil.

Trenutna svetovna letna proizvodnja taninov je 1,1 milijona ton, od katerih se jih približno šestina porabi za proizvodnjo lepil za les (Tannin Market Analysis ..., 2017), ligninov pa 50 milijonov ton (Thi in sod., 2018). Po podatkih FAO (2019) sta bila leta 2017 na svetu proizvedena 402 milijona m³ lesnih plošč. Le -te se med seboj zelo razlikujejo po svojih lastnostih. Njihova gostota sega od 150 kg/m³ pri vlaknenih ploščah za izolacijo, pa več kot 1000 kg/m³ pri trdih vlaknenih ploščah. Glavnina vezanih, ivernih in vlaknenih plošč pa ima gostoto od 400 kg/m³ do 800 kg/m³. V lesnih ploščah sega delež lepila od 2 do 16 % (Thoemen in sod., 2010). Ob upoštevanju predpostavk, da je povprečna gostota lesnih plošč 600 kg/m³ in povprečni utežni delež lepila v plošči 10 %, lahko ocenimo, da je bilo za proizvodnjo vseh plošč potrebnih približno 24 milijonov ton lepil. Iz takega hitrega pregleda lahko zaključimo, da se vsaj tanina zaenkrat ne proizvede dovolj, da bi se lahko resno pojavil na trgu lepil. Pregled dejanskih kapacitet trga lesnih sortimentov pa bomo pripravili zgolj za evropski prostor, kjer se ob enakih predpostavkah za proizvodnjo 87 milijonov m³ lesnih plošč (FAO, 2019) porabi pet milijonov ton lepil.

Tanina je do največ 40 % suhe teže listja in skorje dreves (Hernes in Hedges, 2000), v manjšem deležu pa je tudi v celičnih stenah lesa. Med evropskimi drevesnimi vrstami so s tanini najbogatejši hrasti (*Quercus* sp.) in kostanj (*Castanea sativa*), ki vsebujejo hidrolizirajoče tanine. Slovensko podjetje Tanin Sevnica, d. d., je svetovno znano po njihovi pridelavi za namene strojenja kože, živalske prehrane ter na področju enologije, kjer se ti tanini odlično izkažejo. Za izdelavo lepil pa so primernejši kondenzirani tanini, ki jih je mogoče pridobiti predvsem iz skorje iglavcev: borov (*Pinus* sp.), smreke (*Picea abies*), jelke (*Abies alba*), evropskega macesna (*Larix decidua*) in duglazije (*Pseudotsuga menziesii*) (Bertraud in sod., 2012 in Bianchi in sod., 2015). Čeprav je skorja domačih iglavcev odpadke lesne industrije in jo večinoma uporabimo za proizvodnjo energije, kar je njena najmanjša uporabna vrednost, je ekstrakcija taninov iz nje na evropskih tleh zanemarljiva. V svetovnem merilu za proizvodnjo kondenziranih taninov uporabljajo predvsem les kebrača (*Schinopsis* sp.) in skorjo dreves iz rodov *Acacia* sp., *Pinus* sp., *Tsuga* sp. in *Rhus* sp. (Pizzi, 2006).



Slika 2: Shematski prikaz deležev tanina (levo) in lignina (desno) v masi posekanih dreves, ki smo jih privzeli na podlagi pregledane literature. Ligninov je približno četrtno mase lesa in skorje vseh dreves (20 –35 %), taninov pa le približno osmino mase skorje iglavcev (5–20 %), ki zajema približno desetino mase celotnega drevesa.

Figure 2: Schematic presentation of the share of tannin (left) and lignin (right) in the mass of the felled trees, adopted on the basis of the studied references. Lignins amount to approximately a fourth of wood mass and bark of all trees (20 –35 %); tannins amount only to approximately an eighth of conifer bark (5–20 %), comprising around one tenth of the whole tree mass.

Če bi želeli vsa sintetična lepila, ki se porabijo za proizvodnjo lesnih plošč, nadomestiti z lepilom iz tanina (privzeta sestava lepila kot v Pizzi in sod., 1997), bi ga za to potrebovali štiri milijone ton. Uspešnost ekstrakcije kondenziranih taninov iglavcev je odvisna od drevesne vrste in postopka pridobivanja ter se za domače iglavce giblje večinoma od 5 do 20 % mase suhe skorje (Fengel in Wegener, 1989 in Bianchi in sod., 2015) (privzamemo 12,5 %, slika 2 levo). Po podatkih FAO (2019) je bilo leta 2017 v Evropi posekanih 533 milijonov m³ iglavcev. Skorja iglavcev v povprečju predstavlja približno 10 % skupnega volumna drevesa (Liepinš J. in Liepinš K., 2015). Če upoštevamo še povprečno gostoto absolutno suhe skorje iglavcev, ki je približno 420 kg/m³ (povprečje za rodova borov in smrek, povzeto po Miles in Smith, 2009), lahko povzamemo, da je v skorji vseh posekanih iglavcev v Evropi približno 2,8 milijona ton tanina. Večina skorje je stranski produkt žagarske industrije in se trenutno porabi za proizvodnjo energije. Podrobnejše podatke o uporabi skorje smo našli zgolj za ZDA, kjer so 83 % skorje iglavcev porabili za proizvodnjo energije, 15 % za kompostiranje v kmetijstvu, večina preostanka (2 %) pa je ostala neizkoriščenega (Lu in sod., 2006).

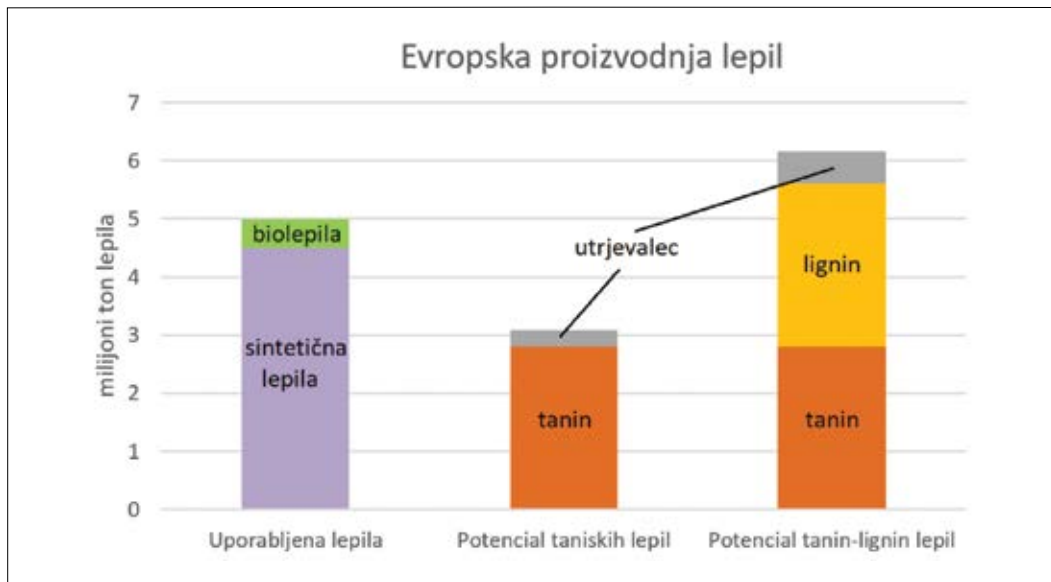
Iz tega lahko zaključimo, da evropski gozdovi ne morejo zagotoviti zadostne količine tanina za celostno zamenjavo vseh sintetičnih lepil za les. Lahko pa s količinami, ki so na voljo, zelo zmanjšamo delež sintetičnih lepil. Popolno zamenjavo slednjih bi lahko dosegli z lepilno mešanico, ki vsebuje približno 45 % tanina in 45 % lignina. Mešalno razmerje predlagamo na podlagi tujih (Mansouri in sod., 2011) in lastnih neobjavljenih raziskav.

Lignini so v lesu in skorji vseh dreves (20–35 %, slika 2 desno). Leta 2017 so v Evropi proizvedli 48 milijonov ton lesovine (pulpe) (FAO, 2019) za papirno industrijo, v kateri je lignina, kot stranskega produkta, približno četrtno mase, kar pomeni, da je v Evropi dovolj razpoložljivega lignina.

3 ZAKLJUČKI

3 CONCLUSIONS

S pregledom evropske gozdno-lesne verige je bilo ugotovljeno, da bo produkcija tanina tista, ki bo določala kapaciteto proizvodnje opisanih biolepil. Za zamenjavo sintetičnih lepil v industriji lesnih plošč bi potrebovali približno štiri milijone ton aktivne biokomponente. Skorja vseh posekanih



Slika 3: Prikaz trenutne porabe lepil in potencialne proizvodnje biolepila na osnovi tanina in lignina v Evropi
Figure 3: Presentation of the current consumption of adhesives and potential production of bioadhesives on the basis of tannin and lignin in Europe.

iglavcev bi lahko zagotovila približno 2,8 milijona ton tanina, kar je približno 70 % potrebne količine. Zaradi varčevanja z dragocenejšim taninom so v lepilne mešanice dodali lignin, za katerega se je izkazalo, da ga že dandanes proizvedemo dovolj tako v evropskem (več kot 10 milijonov ton) kot tudi v svetovnem prostoru. Če bi občuten delež stranskih produktov žagarske (skorja iglavcev) in papirne industrije (lignin) preusmerili v proizvodnjo specialnih spojin namesto za proizvodnjo energije, bi lahko lepila na osnovi tanina in lignina dolgoročno resnično zamenjala sintetična lepila za les. Preračunane vrednosti so grafično prikazane na sliki 3.

Iz povzetega lahko odgovorimo na dani hipotezi:

- hipotezo 1, da je v Evropi dovolj razpoložljivega tanina za izdelavo lepil z 90 % delež tanina glede na suho snov lepila, ki bi zadostila sedanje evropske potrebe po sintetičnih lepilih, zavrnamo. S tanini iz skorje vseh posekanih iglavcev bi lahko zagotovili približno 70 % potreb po sintetičnih lepilih;
- hipotezo 2, da je v Evropi dovolj razpoložljivega tanina in lignina za izdelavo lepil s 45 % delež tanina in 45 % lignina, ki bi zadostila sedanje evropske potrebe po sintetičnih lepilih, potrdimo.

K dejanskemu zmanjševanju porabe sintetičnih lepil in povečevanju biolepil bi veliko pripomoglo, če bi evropska in državna politika z okoljskimi dajatvami obremenili tudi proizvodnjo spornih sintetičnih lepil in ne samo fosilnih energentov. Tako bi predelava stranskih produktov papirne (lignin) in žagarske industrije (tanin iz ostankov) postala bolj ekonomsko sprejemljiva kot pa njihovo sežiganje. Šele tedaj bi lahko lepila na osnovi tanina in lignina resno zmanjšala delež okoljsko obremenjujočih lepil na trgu.

V Sloveniji bi lahko, upoštevajoč desetletni (2009–2018) povprečni posek iglavcev 2911 tisoč m³, iz skorje teh dreves proizvedli približno 15 tisoč ton tanina, ki bi zadostoval za proizvodnjo 336 tisoč ton biolesnih plošč. Glede na to, da se zadnja leta približno pol posekane hlodovine iglavcev izvozi in olupli v tujini, so dejanske kapacitete temu ustrezno manjše (SURS in ZGS, 2019).

4 POVZETEK

Svetovna poraba fosilnih goriv se vsako leto večja, s čimer se večja tudi težnja po njihovi zamenjavi z obnovljivimi viri. Lesna biomasa lahko zaradi svoje sestave nadomešča fosilna goriva tako na področju energentov kot tudi na področju surovin za proizvodnjo materialov.

S povzemanjem in preračunavanjem količin energentov in surovin, ki smo jih pridobili iz literature za referenčno leto 2017, smo ugotavljali, kolikšne so svetovne, evropske in slovenske potrebe po energiji, koliko od te energije bi bilo mogoče dobiti s kurjenjem posekanega lesa, koliko posekanega lesa je dejansko namenjenega za proizvodnjo energije, kolikšen je delež energije, pridobljen iz obnovljivih virov, ter koliko fosilnih energentov je namenjenih proizvodnji materialov. Na podlagi rezultatov, ki so nazorno prikazani v preglednici 1, je bil ugotovljen naslednji sklep: ker les kot energent globalno ne more veliko prispevati pri nadomestitvi aktualne porabe fosilnih goriv, prav tako materiali iz obnovljivih virov pogosto dosegajo višjo dodano vrednost, je obetavnejše investiranje zalog lesne biomase v proizvodnjo materialov kot pa v proizvodnjo energije.

V nadaljevanju smo pod drobnogled vzeli proizvodnjo lepil za les. S povzemanjem in preračunavanjem količin surovin za lepila za les smo ocenili, da se v Evropi za proizvodnjo lesnih plošč proizvede približno pet milijonov ton lepil, med katerimi so najpogostejša sintetična lepila na osnovi formaldehida. Ker le-ta obremenjujejo okolje in so zdravju škodljiva, je iskanje okoljsko primernejših alternativ predmet raziskav že nekaj desetletij. Tanini in lignini, kot najizdatnejši obnovljivi viri polifenolnih spojin, so primerni za uporabo v lepilih za les. Bolj reaktivni tanini so primerni kot glavna komponenta lepila, lignini pa predvsem kot dodatek lepilom.

V temu prispevku smo preverjali naslednji hipotezi:

- hipoteza 1 predpostavlja, da je v Evropi dovolj razpoložljivega tanina za izdelavo lepil z 90 % deležem tanina glede na suho snov lepila, ki bi zadostila sedanje evropske potrebe po sintetičnih lepilih,

- hipoteza 2 predpostavlja, da je v Evropi dovolj razpoložljivega tanina in lignina za izdelavo lepil s 45 % tanina in 45 % lignina, ki bi zadostila sedanje evropske potrebe po sintetičnih lepilih.

Ocenili smo, da v letu 2017 posekanih evropskih iglavcev skorja vsebuje približno 2,8 milijona ton tanina. Trenutno skorjo v pretežni meri uporabijo za proizvodnjo energije. Ugotovili smo tudi, da papirna industrija že sedaj proizvede dovolj lignina (več kot 10 milijonov ton), ki ga kot stranski produkt prav tako v pretežni meri uporabijo za proizvodnjo energije. Z navedenimi podatki smo odgovorili na hipotezi, kar je grafično prikazano na Sliki 3:

- hipoteza 1 je bila zavržena, saj je bilo ocenjeno, da bi z razpoložljivimi tanini lahko zagotovili le približno 70 % potreb po sintetičnih lepilih,
- hipoteza 2 je bila v celoti potrjena, saj bi lahko lepilo, ki bi vsebovalo tako tanin kot tudi lignin, nadomestilo vsa sintetična lepila.

Za dolgoročno popolno zamenjavo sintetičnih lepil z biolepili je dovolj razpoložljivih surovin. Potrebno pa bi bilo postopno zmanjševanje sežiganja teh surovin ter jih začeti preusmerjati v proizvodnjo specialnih spojin z višjo dodano vrednostjo, kot so lepila za les.

4 SUMMARY

Global consumption of fossil fuels increases every year and thereby increases also the striving to replace them with renewable sources. Due to its composition, wood biomass can replace fossil fuels both in the field of energy sources and in the field of raw materials for production of diverse materials.

Summarizing and calculating quantities of energy sources and raw materials we acquired from the literature for the reference year 2017 we were establishing the size of the World, European and Slovenian needs for energy, how much of this energy could be obtained by burning the felled wood, how much of the felled wood is actually intended for energy production, how big is the share of energy, obtained from renewable sources, and how many fossil energy sources are intended for production of materials. On the basis of the results, explicitly presented in Table 1, we made the following conclusion: since the wood as an

energy source cannot globally contribute to the current consumption of fossil fuels to a seriously large extent and the materials from renewable sources often obtain higher added value, it is more promising to invest the biomass supplies into the production of diverse materials than into the energy production. Further, we scrutinized the production of wood adhesives. Summarizing and calculating quantities of raw materials for adhesives, we estimated that around five million tons of adhesives, most of them synthetic on the basis of formaldehyde, are produced in Europe for production of wood panels. Since they impose pressure on the environment and harm the health, environmentally appropriate alternatives represent a research item already for some decades. Tannins and lignins as the richest renewable sources of polyphenol compounds are appropriate for use in wood adhesives. The more reactive tannins are suitable for the main adhesive component and the lignins mostly for the additives to the adhesives.

In this article we tested the following hypotheses:

- Hypothesis 1 assumes that in Europe, there is enough of available tannin for production of adhesives with 90 % tannin share with regard to dry adhesive substance to satisfy the present European needs for synthetic adhesives.
- Hypothesis 2 assumes that in Europe, there is enough of available tannin and lignin for production of adhesives containing 45 % tannin and 45 % lignin to satisfy the present European needs for synthetic adhesives.

We assessed that the bark of the conifers, felled in 2017, contains approximately 2.8 million tons of tannin. At the time being, the bark is mostly used for energy production. We also found out, that paper industry already produces enough lignin (over 10 million tons), which is, as the side product, also used for energy production. With the stated data, we answered to the hypotheses which are shown with the chart on Figure 3:

- Hypothesis 1 was rejected due to the estimation that only around 70 % of needs for synthetic adhesives could be covered with the available tannins.
- Hypothesis 2 was fully confirmed, since the adhesive containing both tannin and lignin could replace all synthetic adhesives.

There are enough raw materials for long-term full replacement of synthetic adhesives with bio-based ones. However, it would be necessary to reduce burning of these raw materials gradually and to start their redirection into the production of special compounds with higher added value, e.g. wood adhesives.

5 ZAHVALA

5 ACKNOWLEDGEMENT

Raziskava je nastala v okviru projekta Woo-BAdh (Environmentally-friendly bioadhesives from renewable resources), ki je del programa ERA CoBioTech. Izsledke slovenskega dela je financiralo Ministrstvo Republike Slovenije za izobraževanje, znanost in šport.

6 VIRI

6 REFERENCES

- Bertaud F., Tapin-Lingua S., Pizzi A., Navarrete P, Petit-Conil M. 2012. Development of green adhesives for fibreboard manufacturing, using tannins and lignin from pulp mill residues. *Cellulose Chem. Technol.*, 46, 7–8: 449–455.
- Bianchi S., Krosłakova I., Janzon R., Mayer I., Saake B., Pichelin F. 2015. Characterization of condensed tannins and carbohydrates in hot water bark extracts of European softwood species. *Phytochemistry*, 120: 53–61.
- BP. 2018. BP Statistical Review of World Energy. London, BP: 53 str.
- Energetska bilanca Republike Slovenije za leto 2017. 2018. Ministrstvo za infrastrukturo. Internetni vir, dostop 25. 10. 2019 <https://www.energetika-portal.si/dokumenti/statisticne-publikacije/letna-energetska-bilanca/>
- EUROSTAT. 2019. Internetni vir, dostop 25. 10. 2019 https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Final_energy_consumption
- FAO. 2019. FAO Yearbook of Forest Products 2017. Rim, FAO statistics: 416 str.
- Fengel D. in Wegener G. 1989. *Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Walter de Gruyter, Berlin, New York: 613 str.
- Hernes P. J. in Hedges J. I. 2000. Determination of Condensed Tannin Monomers in Environmental Samples by Capillary Gas Chromatography of Acid Depolymerization Extracts. *Analytical Chemistry*, 72: 5115–5124.
- Krajnc N. in Piškur M. 2011. *Kakovost lesnih goriv – Drva in lesni sekanci*. Ljubljana, Silva Slovenica: 24 str.
- Liepinš J. in Liepinš K. 2015. Evaluation of bark volume of four tree species in Latvia. *Research for rural development 2015*, 2: 22–28.
- Lu W., Sibley J.L., Gilliam C. H., Bannon J. S., Zhang Y. 2006. Estimation of U.S. Bark Generation and Implications for Horticultural Industries. *Journal of Environmental Horticulture*, 24, 1: 29–34.
- Mansouri H. R., Navarrete P., Pizzi A., Tapin-Lingua S., Benjelloun-Mlayah B., ..., Rigolet S. 2011. Synthetic-resin-free wood panel adhesives from mixed low molecular mass lignin and tannin. *Eur. J. Wood Prod.*, 96: 221–229.
- Pizzi A. 2006. Recent developments in eco-efficient bio-based adhesives for wood bonding: opportunities and issues. *J. Adhesion Sci. Technol.*, 20, 8: 829–846.
- Pizzi A. 2016. Wood products and green chemistry. *Annals of Forest Science*, 73: 185–203.
- Pizzi A., Stracke P., Trosa A. 1997. Industrial tannin/hexamine low-emission exterior particleboards. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 55: 168.
- Miles P. D., Smith W. B. 2009. Specific Gravity and Other Properties of Wood and Bark for 156 Tree Species Found in North America. U. S. Forest service.
- SURS in ZGS. Okolje in naravni viri – Gozdarstvo in lov (2009–2018). Internetni vir, dostop 24. 10. 2019 https://pxweb.stat.si/SiStatDb/pxweb/sl/30_Okolje/30_Okolje__16_gozdarstvo_lov/
- Tannin Market Analysis ..., 2014–2025. 2017. Internetni vir, dostop 6. 5. 2019 <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/tannin-market>
- Thi A. P., Lin J., Cao J. Z. 2018. Fabrication and Characterization of Isolated Lignin as Adhesive for Three-Ply Plywood. *Polymer composites*, 2018: 484–490.
- Thoemen H., Irle M., Sernek M. 2010. *Wood-Based Panels: An Introduction for Specialists*. Brunel University press: 152 str.
- Uredba komisije (EU), št. 1272/2008