

Pridobivanje in uporaba ekstraktivov iz lesa in drevesne skorje

Obtaining and use of extractives from wood and tree's bark

Primož OVEN¹, Ida POLJANŠEK¹, Urša OSOLNIK¹, Viljem VEK¹

Izvelek:

Ekstraktivi so nizkomolekularne spojine, ki so v vseh rastlinskih tkivih, tudi v lesu in drevesni skorji. V drevesu imajo pomembne ekološke in fiziološke funkcije, obenem pa predstavljajo bioosnovane proizvode z visoko dodano vrednostjo, ki jih je mogoče pridobivati tudi iz lesa slabše kakovosti in biomasnih ostankov gozdnih lesnih verig. V prispevku bomo ekstraktive razvrstili, pojasnili, kakšna je kakovostna in količinska spremenljivost po posameznih tkivih izbranih drevesnih vrst, predstavili bomo načine pridobivanja in področja uporabe. Ocenjujemo, da je pridobivanje ekstraktivov dokaj enostaven tehnološki postopek, ki bi bil v obliki manjše biorafinerije izvedljiv v lokalnih okoljih, kjer so na voljo zadostne količine lesne biomase.

Glavne besede: les, skorja, ekstraktivi, kaskadna raba, biorafinacija

Abstract:

Extractives are low molecular weight compounds found in all plant tissues, including wood and tree bark. They have important ecological and physiological functions in trees, and at the same time, they represent bio-based products with high added value, which can also be obtained from wood of lower quality and biomass residues of forestry-wood chains. In this paper, we will classify extractives, explain the qualitative and quantitative variability in individual tissues of the selected tree species, and present the methods of extraction and areas of application. We estimate that the production of extractives is a fairly simple technological process that would be feasible in the form of a small biorefinery in rural environments where sufficient amounts of wood biomass are available.

Key words: wood, bark, extractives, cascade use, biorefining

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Nedavno opravljene analize vrednosti gozdnih lesnih verig v slovenskem biogospodarstvu so razkrile, da ima les listavcev slabše kakovosti velik neizkoriščen tržni potencial (Ščap and Triplat, 2023). Podobne ugotovitve verjetno veljajo tudi za les slabše kakovosti iglavcev in za stranske snovne tokove v gozdarstvu, lesarstvu in papirništvu. Drevesna skorja je ostanek, ki se najpogosteje uporabi v energetske namene ali pa v najboljšem primeru kot zastirka. Les slabše kakovosti je v lesni industriji nezaželen zaradi oblikovnih (ukrivljenost) in strukturnih (razpoke) nepravilnosti, posledic abiotskih in biotskih poškodovanj in razkroja ali drugih rastnih posebnosti (grče). Razlike med kakovostnim in manj kakovostnim lesom je tako praviloma enostavno določiti na makroskopskem in mikroskopskem nivoju. Kakor hitro pa sežemo globlje, v bolj elementarne strukture, kot so kemične spojine, ki sestavljajo les, pa razlike izginejo. Prav zato je lesna biomasa

slabše kakovosti lahko surovina za biorafinerjske procese, ne more pa služiti za tradicionalne lesene izdelke. Obenem pa je res, da bi bilo neumestno, če bi kakovosten les izrabili za biorafinacijo.

Najpogostejši procesi v biorafinerjski predelavi lesne (in druge) biomase so mehanski, kemični, toplotni in encimatski. Najenostavnejši primer kemične predelave lesa je proizvodnja kemične celuloze, ki pa je v Sloveniji na industrijskem nivoju ni več. Primer toplotne predelave lesa je na primer piroliza, zgorevanje, uplinjanje in utekočinjanje, medtem ko so primeri encimatskega razklopa lesa aerobna in anaerobna razgradnja. Najenostavnejša predelava lesa je mehanska, pri čemer pa so lahko produkti različni lesni sortimenti, vlakna, mehanska celuloza pa tudi ekstraktivi.

Ekstraktivi so spojine z majhno molekularno maso, ki so v organih in tkivih vseh rastlin, tudi dreves. V rastlinah imajo izredno pomembne ekofiziološke vloge: lahko fizično ščitijo drevesna tkiva, so kemijska zaščita in obramba pred mikroorganizmi ter rastlinojedimi živalmi, rastline

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

zaščitijo pred UV-sevanjem, omogočajo komunikacijo med celicami, privlačijo oprasovalce itn. (Taiz and Zeiger, 2006). Ekstraktivi ohranijo bioaktivne lastnosti tudi potem, ko jih ločimo od rastlinskega matriksa z različnimi postopki ekstrakcije. Zaradi tovrstnih lastnosti in zaradi kemijske strukture so ekstraktivi dragocene spojine, ki jih je mogoče pridobi iz lesne biomase slabše kakovosti in uporabiti za produkte z visoko dodano vrednostjo.

V tem prispevku želimo bralcu omogočiti vpogled v nekoliko manj znano in priljubljeno tematiko kemične organizacije lesne biomase. V prvem delu bomo na kratko pojasnili, katere kemične strukture sestavljajo les, nato pa sledi razprava o ekstraktivih, ki jo uvajamo s pregledom najpogostejših izrazov zanje. Sledi razvrstitev ekstraktivov, oris njihove vloge v drevesu in pregled vsebnosti po tkivih izbranih drevesnih vrst. Pojasnili bomo, kako poteka pridobivanje omenjenih spojin in razpravo zaključili s področji uporabe. Dognanja, ki jih navajamo v prispevku, izvirajo iz raziskovalnega dela Katedre za kemijo, les in druge lignocelulozne materiale na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani in predstavljajo pregled doslej opravljenih raziskav na področju ekstraktivov lesa in drevesne skorje.

2 KEMIČNI GRADNIKI

2 CHEMICAL BUILDING BLOCKS

Les in skorjo, tako kot vse žive organe, sestavljajo tkiva, ki so sestavljena iz visoko organiziranih celic, ki gradijo celične stene, te pa kemijske spojine. V lesu in drevesni skorji so to celuloza, hemiceluloze in lignin, pa tudi pektini in strukturni proteini. V nadaljevanju navajamo opredelitve prevladujočih spojin v oleseneli celični steni (Oven et al., 2009).

Celuloza je linearna veriga, ki jo sestavljajo enote β -D-glukoze, ki so med seboj povezane z β (1-4) glikozidnimi vezmi. V lesu in skorji se celulozne verige povezujejo v večje morfološke strukture, ki se imenujejo mikrofibrile. Celuloza ima v lesu izrazito mehansko funkcijo in je spojina, ki zagotavlja lesu visoko natezno trdnost.

Hemiceluloze se pomembno razlikujejo od celuloze. Ta skupina polisaharidov je kemijsko bistveno bolj heterogena od celuloze, saj jih sestavljajo različni monosaharidi. V lesu iglavcev

so prevladujoča skupina hemiceluloz ksilani, ki imajo ogrodno verigo zgrajeno iz enot β -D-ksiloze, nanjo pa so vezane lahko acetilne skupine in metilgukoronska kislina. V lesu iglavcev prevladujejo hemiceluloze galaktoglukomanani, katerih osnovna veriga je zgrajena iz enot β -D-manoze in β -D-glukoze, nanjo pa so vezane enote α -D-galaktoze in acetilne skupine. Hemiceluloze so matrični polisaharidi, ki prispevajo k strižni trdnosti lesa.

Lignin je bistveno drugačna kemijska spojina kot prej omenjeni polisaharidi, vendar je tudi za ta polimer značilna velika kemijska heterogenost, ki se zrcali na nivoju posamezne lesne vrste, vrst lesnega tkiva (npr. reakcijski, adultni, juvenilni les) ter na nivoju celic in plasti celičnih sten. Lignin je aromatski polimer, ki je zgrajen iz treh fenilpropanskih enot, ki so zamrežene s kompleksnim sistemom kovalentnih vezi. Lignin iglavcev je kopolimer koniferil alkohola, za lignin listavcev pa je značilna dokaj enakomerna vključenost koniferil alkohola in sinapil alkohola.

Celuloza, hemiceluloze in lignin so prevladujoči gradniki celičnih sten lesa in drevesne skorje. Vendar les in skorja vsebujeta tudi nestrukturne anorganske snovi in organske spojine. Anorganske snovi označujemo tudi z izrazom pepel zato, ker so ostanek, ki nastane po sežigu lesa pri visokih temperaturah. Organske spojine po navadi označujemo z izrazom ekstraktivi, vendar pa je to samo ena od poimenskih oznak izredno velike skupine spojin, ki jih bomo spoznali v nadaljevanju.

3 EKSTRAKTIVI

3 EXTRACTIVES

V lesarski literaturi se je za opis nestrukturnih organskih spojin z majhno molekulsko maso uveljavil izraz ekstraktivi (ang. extractives), kar lahko slovenimo z izrazom izvlečki. V starejši strokovni literaturi je pogost izraz akcesorne spojine, ki je odražal pomanjkljivo poznavanje ekofizioloških funkcii, ki jih imajo te spojine v drevesu in rastlinah na splošno. Ekstraktive pogosto sinonimno označujejo tudi s pojmom sekundarni metaboliti, kar je prav tako nezadostna oznaka. Ker za pridobivanje teh spojin uporabljajo različne tehnike in metode, se to odraža tudi v poimenovanju: izrazi so na primer destilati,

Preglednica 1: Razvrstitev ekstraktivov v izbranih literaturnih virih**Table 1:** Classification of the extractives in the selected references

(Fengel and Wegener, 1989)	(Sjöström, 1993)	Allen (2011)
Terpeni in terpenoidi	Terpenoidi in steroidi	Alifatske in aliciklične spojine
Maščobe, voski	Maščobe in voski	Polifenoli
Fenolne spojine	Fenolne sestavine	Druge spojine
Druge spojine	Anorganske sestavine	

hidrolati itn. V novejši literaturnih virih se za nestrukturane organske spojine uveljavlja izraz naravni produkti rastlin (Rowe, 1989).

Ekstraktive lahko razvrstimo na osnovi podobnosti kemijskih struktur (Preglednica 1), na osnovi biosinteznih poti, po katerih nastajajo, pa tudi na osnovi njihovih kemijskih lastnosti, še zlasti topnosti (Oven et al., 2011). Ker ekstraktive po navadi pridobivamo v postopkih ekstrakcije s polarnimi in nepolarnimi organskimi topili in vodo, jih lahko vsaj v grobem ločimo v dve veliki skupini: hidrofilni in lipofilni ekstraktivi. Bolj nepolarni (lipofilni) so na primer terpeni in terpenoidi, maščobe, voski, maščobne kisline, sterolni estri in steroli. Polarni (hidrofilni) ekstraktivi pa so nestrukturani ogljikovi hidrati, različni polifenoli, kot so flavonoidi, stilbeni, lignani, tanini in alkaloidi. Pri uporabi topil katerekoli polarnosti po navadi ekstrahiramo spojine, ki so vključene v primarni metabolizem (npr. nukleinske kisline, proteini, ogljikovi hidrati, steroli) pa tudi spojine, ki so produkt sekundarnega metabolizma (npr.

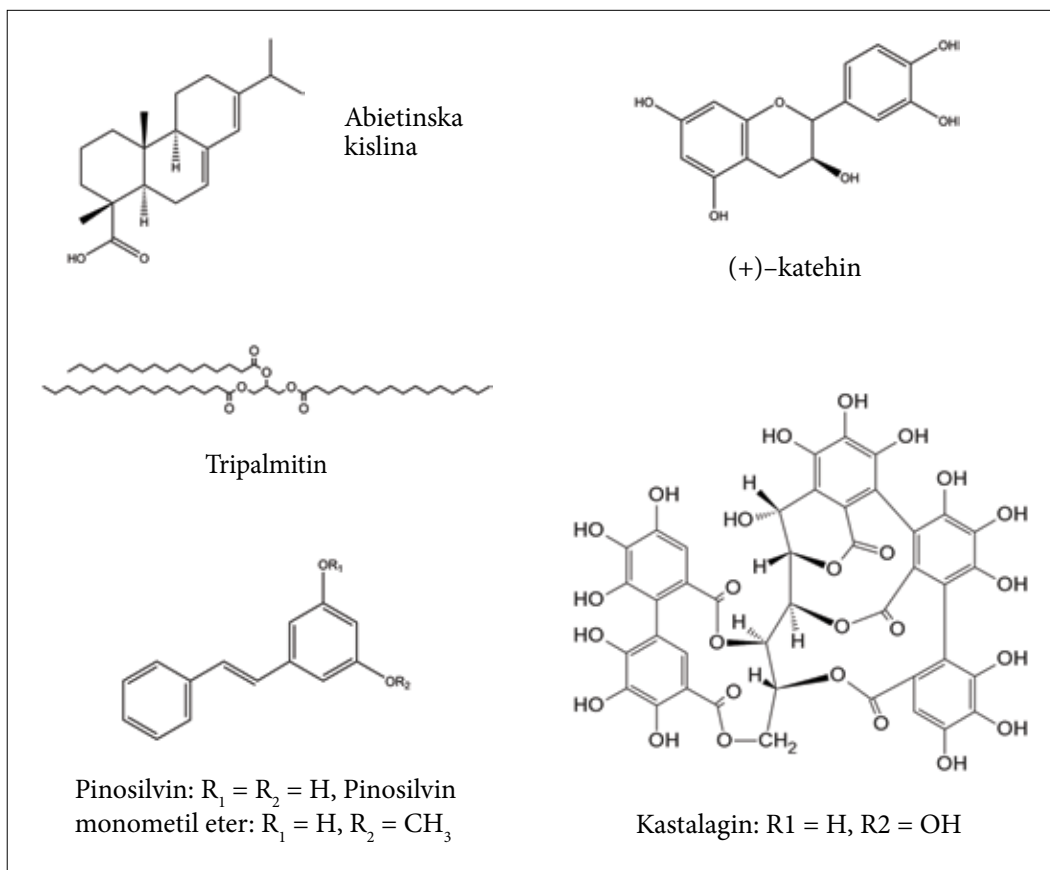
polifenoli, terpeni, maščobe, olja, guma itn.).

Drevesa so izredno bogat vir ekstraktivov, pri čemer sta vsebnost in kemijska sestava ekstraktivov odvisni od številnih dejavnikov. Med listavci in iglavci so izredno velike razlike v vsebnosti in sestavi ekstraktivov. V nasprotju s pričakovanji, da bi bile vsebnosti in sestava ekstraktivov znotraj botaničnih družin in rodov primerljive, se pojavljajo velike razlike med drevesnimi vrstami celo znotraj posameznega rodu. Vsebnost ekstraktivov je odvisna od številnih dejavnikov, ki vplivajo na rast in druge fiziološke procese v drevesu. Vsebnost in sestava ekstraktivov sta tako odvisni od starosti drevesa, dela drevesa, rastišča, geografske lege in letnega časa. Drevesna skorja je praviloma bogatejša z ekstraktivi kot les, jedrovina vsebuje več ekstraktivov kot beljava, grče pa več kot jedrovina, pri čemer je tudi kemijska sestava ekstraktov iz teh tkiv drugačna. V preglednici 2 so navedene vsebnosti ekstraktivov v tkivih za izbrane drevesne vrste.

Preglednica 2: Vsebnost ekstraktivov (%) v tkivih izbranih drevesnih vrst, pridobljenih po zaporedni ekstrakciji, najprej s cikloheksanom, nato z mešanico aceton/voda**Table 2:** Content of the extractives (%) in the tissues of the selected tree species, obtained in sequential extraction, at first with cyclohexane, then with acetone/water mixture

	Bukev (<i>Fagus sylvatica</i>)*	Robinija (<i>Robinia pseudoacacia</i>)**	Jelka (<i>Abies alba</i>)***	Rdeči bor (<i>Pinus sylvestris</i>)****
Beljava	1,75	5,81	1,9	5,0
Jedrovina	1,61 (diskoloriran les)	6,05	3,9	16,8
Žive grče	2,14	6,33	16,3	16,9
Mrtve grče	2,11	/	23,0	36,9
Skorja		5,36	15,8	18,8

*(Vek et al., 2013), **(Vek et al., 2020b; Vek et al., 2019b), *** (Vek et al., 2021), **** (Fang et al., 2013; Miranda et al., 2012)



Slika 1: Primeri nekaterih spojin, ki so v lesu in drevesni skorji. Abietinska kislina je primer smolnih kislin, ki so nehlapna frakcija smole iglavcev; strjena smola so pravzaprav smolne kisline. Tripalmitin je najpogostejša maščoba v drevesnih tkivih, nahaja se v parenhimskih celicah beljave in je ena izmed oblik rezervnih hranilnih snovi. Pinosilvini so polifenoli iz družine stilbenov, ki so značilni za jedrovino in grče vrst iz rodu *Pinus*, v lesu drugih vrst pa so v zelo majhnih količinah. Katehin je flavonoid, značilen za les bukve. Kastalagin je primer hidrolizirajočega tanina v skorji in jedrovini številnih drevesnih vrst.

*Figure 1: Examples of some of the compounds found in wood and tree bark. Abietic acid is an example of resin acids, which are the non-volatile fraction of conifer resin; hardened resin is actually resin acids. Tripalmitin is the most common fat in tree tissues, it is found in parenchymal sapwood cells and is one of the forms of reserve nutrients. Pinosylvins are polyphenols from the stilbene family, which are characteristic of the heartwood and knots of species of the genus *Pinus*, and are found in very small amounts in the wood of other species. Catechin is a flavonoid characteristic of beech wood. Castalagin is an example of a hydrolyzing tannin in the bark and heartwood of many tree species.*

Tudi sestava ekstraktivov v teh tkivih in posameznih morfoloških strukturah je drugačna in na splošno odraža funkcijo posameznih celic in tkiv (Preglednica 3). V parenhimskih celicah beljave so spojine, ki so za rastlino hranilne snovi (sladkorji, maščobe) ali pa gradijo celične membrane (steroli). Drevesni sok v beljavi vsebuje anorganske snovi in sladkorje. Smolni kanali iglavcev vsebujejo

smolo, ki ima zaščitno funkcijo, in je prvenstveno sestavljena iz terpenoidov. V jedrovini je pester nabor ekstraktivov, jedrovinskih snovi, ki imajo zaščitno funkcijo. V jedrovinah listavcev prevladujejo polifenoli, v jedrovinah iglavcev pa so poleg polifenolov tudi terpeni. V kambijev coni so spojine, ki so udeležene v biosintezi celičnih sten.

Preglednica 3: Vsebnost glavnih razredov spojin v posameznih celicah in tkivih lesa ter topnost v različnih topilih (prirejeno po: Holmbom 2011)

Table 3: Content of the main compound classes in individual cells and tissues of the wood and solubility in diverse solvents. (Adapted after: Holmbom 2011)

Lokacija v lesu	Glavni razredi spojin	Alkani	Dietil eter	Aceton	Etanol	Voda
Parenhim beljave	Ogljikovi hidrati, maščobe, maščobne kisline, sterolni estri, steroli ...	+++	+++	+++	++	/
Smolni kanali	Smolne kisline, monoterpeni in drug terpenoidi	+++	+++	+++	++	/
Jedrovina	Polifenoli, terpenoidi, maščobne kisline	/	+++	+++	+++	+
Kambijeva cona	Glikozidi, sladkorji, proteini	/	/	++	+	+++
Drevesni sok	Anorganske snovi, ogljikovi hidrati	/	/	+	+	++

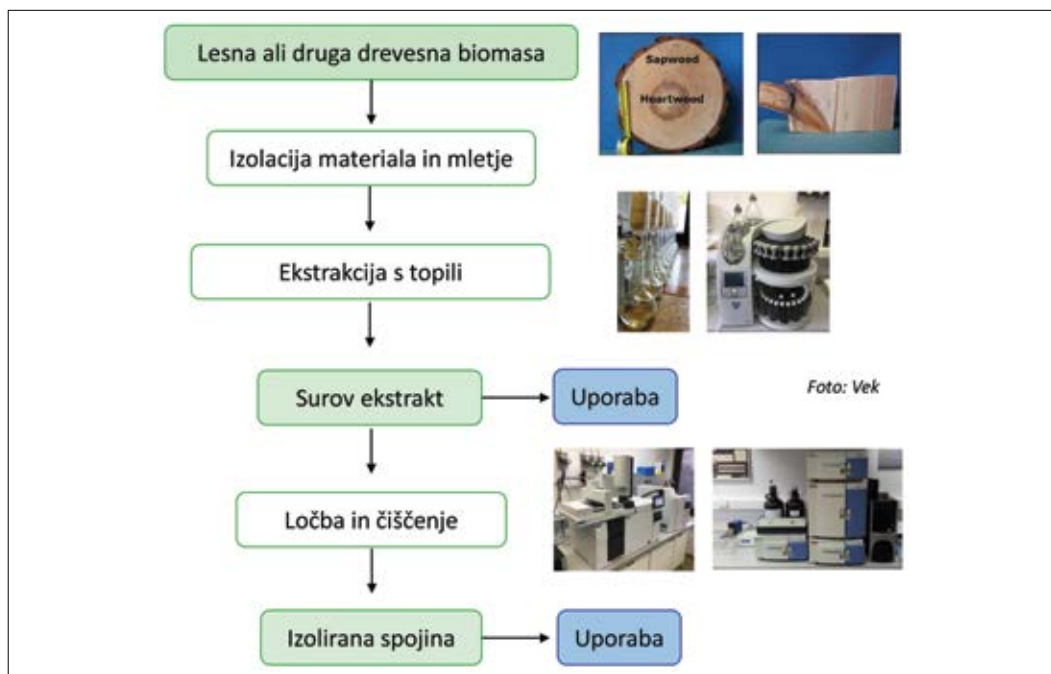
+++ dobro topne, ++ topne, + slabo topne, / netopne

4 PRIDOBIVANJE EKSTRAKTIVOV IZ LESNE BIOMASE

4 OBTAINING THE EXTRACTIVES FROM WOODY BIOMASS

Pridobivanje ekstraktivov je obsežen tehnološki proces, ki se po navadi začne z raziskavami, nato sledi prenos spoznanj na pilotni nivo in šele zatem na industrijsko raven. Raziskovalni način, ki ga bomo opisali v nadaljevanju, je drugačen od industrijskega pridobivanja ekstraktov, predvsem z vidika uporabljenih metod in tehnik, količin in narave tehnoloških procesov. Ne glede na razlike pa je prvi korak izbor ciljne drevesne vrste in dela drevesa, izhajajoč iz literaturnih virov o vsebnostih in sestavi ekstraktov in viziji o mogoči uporabi ekstraktov (Slika 2). Sledi izbor rastišča in posameznih dreves, odvzem raziskovalnega materiala in priprava vzorcev za ekstrakcijo. Glede na raziskovalne cilje lahko posamezna drevesna tkiva ločimo in nato zmeljemo (Vek et al., 2014), saj je od velikost lesnih delcev že odvisna uspešnost ekstrakcije. Na Katedri za kemijo lesa in druge lignocelulozne materiale Oddelka za lesarstvo za ekstrakcijo uporabljamo več tehnik in metod, najpogostejše pa sodobno ekstrakcijsko napravo, ki omogoča, da ekstrakcijo izvedemo z različnimi topili v poljubnem številu kratkočasovnih sekvenc

pri visokem tlaku in povišanih temperaturah (Vek et al., 2019a). Tako pridobljen surovi ekstrakt nato proučimo s specializirano analitsko opremo. S spektrofotometričnimi analizami pridobimo informacije o vsebnosti posameznih skupin spojin, npr. o vsebnosti vseh ekstrahiranih fenolov, kar v strokovnem žargonu imenujemo celokupni fenoli (Vek et al., 2013). Natančnejše kakovostne in količinske analize potekajo s kromatografskimi tehnikami, kot so tankoplastna (TLC), tekočinska (HPLC) in plinska (GC) kromatografija (Vek et al., 2018). S temi tehnikami je mogoče ugotoviti, katere spojine so v ekstraktu in kolikšna je vsebnost posamezne spojine. Posamezne spojine je mogoče tudi izolirati, kar pa je metodološko in tehnično zahtevno raziskovalno delo. To dokazuje izvirna metodologije izolacije pinosilvina, pinsilvin monometilnega etra in spojine iz družine lignanov, nortrahelogenina (Poljansek et al., 2019).



Slika 2: Posamezne faze v procesu pridobivanja ekstraktov lesa in drevesne skorje

Figure 2: Individual stages in the process of obtaining of wood and bark extracts

5 UPORABA EKSTRAKTIVOV IZ LESA IN SKORJE

5 USE OF EXTRACTIVES FROM WOOD AND BARK

Ekstrakte lesa in drevesne skorje je mogoče uporabiti v različnih aplikacijah bodisi kot bolj ali manj koncentrirane surove ekstrakte ali pa izolirane skupine spojin, na primer polifenolov, ali celo posamezne izolirane spojine. Uporaba ekstraktivov v različne namene ima dolgo zgodovino in se s časom spreminja. Uporaba izvlečkov iz delov posameznih drevesnih vrst, še pogosteje pa iz drugih rastlin, v domačem zdravilstvu ima dolgo tradicijo tudi v naših krajih. Pri tem ne smemo pozabiti na tradicijo smolarjenja in proizvodnjo terpentina, kolofonije in talovega olja, ki so ju v naših krajih opustili sredi prejšnjega stoletja (Perko, 2021), in stoletno tradicijo pridobivanja taninov v Taninu Sevnica. Ekstrakte iz lesne biomase je mogoče uporabiti na najrazličnejših področjih: v farmaciji, parfumeriji, kozmetiki, prehranski industriji, proizvodnji žganih pijač in vin, kmetijstvu, usnjarstvu, analitiki, proizvodnji

barvil, adhezivov, embalaže, kompozitov, kemikaliji itn. (Fengel and Wegener, 1989; N'Guessan et al., 2023). V tem prispevku bomo izpostavili nekaj aplikaciji, ki smo jih razvili v Katedri za kemijo lesa in druge lignocelulozne materiale Oddelka za lesarstvo.

Izhajajoč iz spoznanja, da imajo ekstrakti jedrovine (jedrovinske snovi) in grč v drevesu prvenstveno zaščitno in obrambno funkcijo, smo uspešno razvili pripravke za zaščito lesa tistih vrst, ki so manj odporne proti biološkemu razkroju. V prvi fazi smo primerjali zaviralni učinek koncentriranih surovih ekstraktov in dveh pinosilvinov, ki smo jih pridobili iz grč rdečega (*Pinus sylvestris*) in črnega bora (*Pinus nigra*), na rast dveh gliv, ki v lesu povzročata belo trohnobo (*Schizophyllum commune* in *Trametes versicolor*), in dveh gliv rjave trohnobe (*Fibroporia vaillantii* in *Gloeophyllum trabeum*) (Vek et al., 2020c). Izkazalo se je, da tako izolirane čiste spojine (pinosilvin in pinosilvin monometil eter, glej Sliko 1) in tudi surovi hidrofilni ekstrakti učinkovito omejujejo rast gliv razkrojevalk (Vek et al., 2020c). Ugotovitev ima

daljnosežne posledice, saj to pomeni, da je mogoče za zaščito lesa uporabiti kar koncentrirane surove ekstrakte brez zahtevne nadaljnje obdelave. Pri tem smo ugotovili nekaj pomembnih razlik. Surovi ekstrakt rdečega bora je učinkoviteje zaviral rast gliv kot ekstrakt črnega bora, čisti pinosilvini pa so bili boljši zaviralci rasti gliv razkrojevalk kot surovi hidrofilni ekstrakti (Vek et al., 2020c). Surove ekstrakte jedrovine robinje in grč rdečega bora smo nato uporabili za impregnacijsko zaščito manj trajne beljave bukve in rdečega bora ter ugotovili, da sta oba pripravka upočasnila razkrojne procese, pri čemer pa je mehanizem zaščite pri obeh ekstraktih nekoliko drugačen: ekstrakt rdečega bora je zaviral rast gliv, medtem ko se je ekstrakt robinije izkazal kot boljši lovilec prostih radikalov (Vek et al., 2020a). Ocenjujemo, da imajo bioosnovana zaščitna sredstva za les in druge ligno-celulozne materiale prednost pred sintetičnim pripravki vsaj z vidika okoljsko manj sporne proizvodnje. Pri tem pa še vedno ostaja precej nerešenih raziskovalnih izzivov, kot sta na primer morebitna citotoksičnost ekstraktov in stabilizacija pripravkov v lesu.

Ekstraktivi lesa in skorje sodijo v skupino specialnih bioosnovanih kemikalij z visoko dodano vrednostjo in veljajo za bioosnovne proizvode, pri katerih že majhne količine na trgu dosegajo veliko vrednost (low volume, high value products), v nasprotju s pogonskimi biogorivi, kjer mora biti proizvodnja zelo velika, da je ekonomsko vzdržna (low value, high volume products) (Raimo, 2011). Med tržno zanimivejšimi področji uporabe drevesnih in drugih rastlinskih ekstraktov sta farmacevtska in prehranska industrija, kjer rastlinske ekstrakte uporabljajo kot prehranska dopolnila, ki imajo hranilno vrednost ali fiziološko ugodno delujejo, niso pa namenjena zdravljenju in so praviloma na vojo v obliki tablet, kapsul, praškov itn. (safeSAFE, 2022). Vse hitrejši življenjski slog, spremenjene prehranjevalne navade, naraščanje prebivalstva v mestih in staranje populacije so okoliščine, ki spodbujajo uporabo prehranskih dopolnil.

Na trgu je več prehranskih dopolnil, ki vsebujejo ekstrakte različnih drevesnih vrst, med njimi je tudi Abigenol®, ki je patentirana zmes bioaktivnih polifenolov iz skorje bele jelke (*Abies alba*), ki

ga proizvaja in v svojih proizvodih trži podjetje ArsPharmae. Zaradi želje po izboljšanju postopkov in povečanju količin se je podjetje odločilo za sofinanciranje aplikativnega znanstvenega projekta, v katerem so proučili številne drevesne biološke in procesne dejavnike, ki opredeljujejo uspešnost pridobivanja ekstraktov.

6 ZAKLJUČKI

6 CONCLUSIONS

Lesna biomasa slabše kakovosti in stranski snovni tokovi so v slovenskem gozdarsko-lesarskem biogospodarstvu slabo ali nezadostno izkoriščena surovina. Po načelu kaskadne rabe surovine so ekstraktivi prvi produkt z visoko dodano vrednostjo, ekstrahirano lesno biomaso pa je mogoče uporabiti za naslednji visoko tehnološki produkt, kakršna je na primer nanoceluloza. Tak način smo v naših raziskavah uspešno preizkusili na primeru številnih domačih drevesnih vrst, različnih drevesnih tkiv, kmetijskih rastlinskih ostankov in na primeru tujerodnih invazivnih rastlin. Ocenjujemo, da je ekstrakcija dokaj enostaven tehnološki postopek, ki je v obliki manjše biorafinerije izvedljiv tudi v lokalnih okoljih, kjer so na voljo zadostne količine lesne biomase.

7 ZAHVALA

7 ACKNOWLEDGEMENT

Raziskovalne aktivnosti, na osnovi katerih je nastal ta prispevek, so potekale v okviru programske skupine P4-0015 Les in biokompoziti, aplikativnega raziskovalnega projekta ARIS(ARRS) L4-2623 Pridobivanje ekstraktov grč in skorje z visoko vsebnostjo polifenolov iz manj izkoriščene biomase bele jelke, projekta CRP V4-2017 Izboljšanje konkurenčnosti slovenske gozdno-lesne verige v kontekstu podnebnih sprememb in prehoda v nizkoogljično družbo ter projekta Biorural - Accelerating circular bio-based solutions integration in European rural areas v okviru programa Horizon Europe ter v sklopu pilotnega projekta Uvajanje načel krožnega biogospodarstva v upravljanje obnovljivih naravnih virov, ki poteka v okviru projekta NOO UL za trajnostno družbo-ULTRA. Zahvaljujemo se podjetju ArsPharmae, Marku Domazetu, Urški

Zaloker in Anteju Zalokerju za sofinanciranje projekta L4-2623. Pri izboru, odkazilu in poseku dreves ter pripravi materialov je sodelovalo več organizaciji, podjetij in posameznikov, ki se jim iskreno zahvaljujemo za tehnično podporo in pomoč: Zavod za gozdove Slovenije, Slovenski državni gozdovi, Gozdarski inštitut Slovenije, Občina Kočevje in Kočevski les, d. o. o.

8 LITERATURA

8 REFERENCES

- Fang W, Hemming J, Reunanen M, Eklund P, Conde Pineiro E, Poljanšek I, Oven P, Willför S (2013) Evaluation of selective extraction methods for recovery of polyphenols from pine. *Holzforschung* 67: 843–851.
- Fengel D, Wegener G (1989) *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions*. Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- Miranda I, Gominho J, Mirra I, Pereira H (2012) Chemical characterization of barks from *Picea abies* and *Pinus sylvestris* after fractioning into different particle sizes. *Industrial Crops and Products* 36: 395–400.
- N'Guessan JLL, Niamké BF, Yao NgJC, Amusan N (2023) Wood Extractives: Main Families, Functional Properties, Fields of Application and Interest of Wood Waste. *Forest Products Journal* 73: 194–208.
- Oven P, Poljanšek I, Vek V (2011) Flavonoidi lesa in drevesne skorje = Flavonoids of wood and bark in trees.
- Oven P, Rep G, Vek V (2009) Strukturni gradniki celične stene in variabilnost kemijske sestave lesa = Structural components of cell wall and variability of chemical composition of wood. *Les* 61: 302–311.
- Perko F (2021) Smolarjenje v slovenskih borovih gozdovih. *Življenje in tehnika* 72: 48–56.
- Poljanšek I, Oven P, Vek V, Raitanen J-E, Hemming J, Willför S (2019) Isolation of pure pinosylvins from industrial knotwood residue with non-chlorinated solvents. *Holzforschung* 73: 475–484.
- Raimo A (2011) Biorefining of forest resources. Paper Engineers' Association/Paperi ja Puu Oy, Helsinki, Finland.
- Rowe JW (1989) Natural products of woody plants. Chemical extraneous to the lignocellulosic cell wall. Springer-Verlag, Berlin.
- safeSAFE (2022) Botanical food supplements: understanding the way to inform and protect consumers. Report. Safe Food Advocacy Europe: 1–6.
- Sjöström E (1993) *Wood Chemistry: Fundamentals and Applications*. Academic Press, Inc., New York.
- Ščap Š, Triplat M (2023) Raba lesa, tržne količine in projekcije potencialov okroglega lesa listavcev v Sloveniji. *Les/Wood* 72: 5–20.
- Taiz L, Zeiger E (2006) *Plant physiology*. Sinauer Associates, Inc., Publishers., Sunderland, Massachusetts.
- Vek V, Balzano A, Poljanšek I, Humar M, Oven P (2020a) Improving Fungal Decay Resistance of Less Durable Sapwood by Impregnation with Scots Pine Knotwood and Black Locust Heartwood Hydrophilic Extractives with Antifungal or Antioxidant Properties. *Forests* 11.
- Vek V, Keržič E, Poljanšek I, Eklund P, Humar M, Oven P (2021) Wood Extractives of Silver Fir and Their Antioxidant and Antifungal Properties 26: 6412.
- Vek V, Oven P, Poljanšek I (2013) Content of Total Phenols in Red Heart and Wound-Associated Wood in Beech (*Fagus sylvatica* L.). *Drvena Industrija* 64: 25–32.
- Vek V, Oven P, Poljanšek I (2018) Comparison of two extraction and two chromatographic methods in analysis of beech wood extractives. *European Journal of Wood and Wood Products* 76: 389–392.
- Vek V, Oven P, Ters T, Poljanšek I, Hinterstoisser B (2014) Extractives of mechanically wounded wood and knots in beech. *Holzforschung* 68: 529–539.
- Vek V, Poljanšek I, Oven P (2019a) Efficiency of three conventional methods for extraction of dihydrorobinetin and robinetin from wood of black locust. *European Journal of Wood and Wood Products* 77: 891–901.
- Vek V, Poljanšek I, Oven P (2020b) Variability in content of hydrophilic extractives and individual phenolic compounds in black locust stem. *European Journal of Wood and Wood Products* 78: 501–511.
- Vek V, Poljanšek I, Humar M, Willför S, Oven P (2020c) In vitro inhibition of extractives from knotwood of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and black pine (*Pinus nigra*) on growth of *Schizophyllum commune*, *Trametes versicolor*, *Gloeophyllum trabeum* and *Fibroporia vaillantii*. *Wood Science and Technology* 54: 1645–1662.
- Vek V, Vivod B, Poljanšek I, Oven P (2019b) Vsebnost ekstraktivov v skorji in lesu robinije (*Robinia pseudoacacia* L.). Content of extractives in bark and wood of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *Acta Silvae Et Ligni*: 13–25.