

# FLAVONOIDI LESA IN DREVESNE SKORJE

## Flavonoids of wood and bark in trees

**Izvleček:** V prispevku so podrobneje opisani flavonoidi, ki predstavljajo najbolj razširjeno skupino fenolnih naravnih produktov v rastlinskem svetu. Pojasnjene so definicije in klasifikacija teh spojin, predstavljene strukturne formule nekaterih najpogostejših spojin ter opisana njihova vloga v drevesnih tkivih.

**Ključne besede:** fenolne spojine, ekstraktivi, flavonoidi, pojavnost, les, skorja.

**Abstract:** Flavonoids represent widespread and ubiquitous phenolic natural products in plant kingdom. Definitions and classification of flavonoids, their structural formulas of individual compounds being abundant in some woods and bark are given, and their function in tree tissues is described.

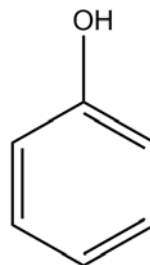
**Key words:** phenolic compounds, extractives, flavonoids, occurrence, wood, bark.

### UVOD

Poleg gradnikov celične stene vsebujejo drevesna tkiva tudi različne snovi z majhno ali srednjo molekulsko maso, ki jih je mogoče iz lesa ekstrahirati z vodo ali z organskimi topili in jih zato imenujemo ekstraktivi. Ekstraktivov je v lesu drevesnih vrst zmernega klimatskega pasu razmeroma malo, pri nekaterih tropskih lesnih vrstah (kvebračo; *Schinopsis lorentzii* Engl.) pa lahko ekstraktivi predstavljajo tudi od 20 % do 35 % mase absolutno suhega lesa (Panshin in de Zeeuw, 1980). Četudi je njihova količina v lesu v splošnem majhna, ekstrakt posamezne lesne vrste običajno sestavlja izjemno veliko število različnih spojin. Pomembno skupino lesnih ekstraktivov predstavljajo fenolne spojine.

Z izrazoma fenoli ali fenolne spojine opisujemo spojine, ki imajo eno ali več hidroksilnih skupin (-OH), vezanih nepo-

sredno na benzenov ali drug arenski obroč (Iupac, 1997). Med fenolne spojine uvrščamo tudi lignin, ki pa je strukturni gradnik celične stene in ne sodi med ekstraktive. Najbolj razširjena in ubikvitarna skupina ekstraktibilnih fenolnih spojin v rastlinskem svetu so flavonoidi. V pričujočem prispevku bomo predstavili osnovne definicije in klasifikacijo flavonoidov ter posamezne spojine, ki v lesu in/ali skorji prevladujejo ali pa bistveno določajo lastnosti lesa.



Slika 1. Osnovna struktura fenolnih spojin je fenol.

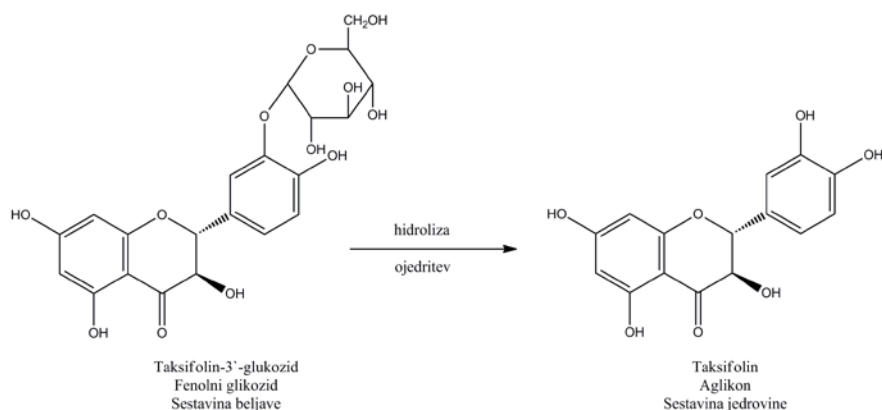
### KLASIFIKACIJA FLAVONOIDOV

Flavonoidi so v rastlinskem svetu zelo razširjena in številčna skupina fenolnih derivatov, ki šteje okrog 6500 različnih spojin (Waksmundzka-Hjanos in sod., 2011). Flavonoidi so O- in C-glikozidi, ki se običajno nahajajo v celičnih

\* izr. prof. dr., univ. dipl. inž. les., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: primoz.oven@bf.uni-lj.si

\*\* mladi raziskovalec, univ. dipl. inž. les., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: viljem.vek@bf.uni-lj.si

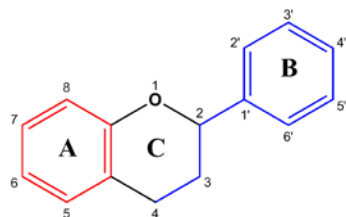
\*\*\* doc. dr., univ. dipl. inž. kem. inž., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, e-pošta: ida.poljansek@bf.uni-lj.si



**Slika 2. Flavonoidi so glikozidi beljave, ki v procesu ojedritve hidrolizirajo v proste aglikone. Prirejeno po Kai (1991).**

vakuolah, včasih pa tudi v kromoplastih in kloroplastih. V živih tkivih rastlin se najpogosteje pojavljajo kot glikozidi z glukozo, galaktozo, arabinozo, ramnozo in kompleksnejšimi oligosaharidi ali pa so vezani na amino skupine, lipide in terpenoide (Fengel in Wegener, 1984; Kure, 2006; Vermerris in Nicholson, 2006). V jedrovini najdemo proste aglikone, ki nastanejo iz flavonoidov po encimski hidrolizi (Goodwin in Mercer, 1983).

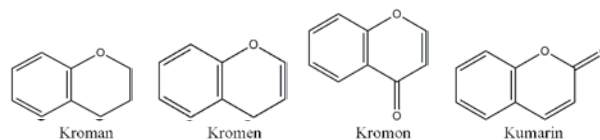
Izraz flavonoidi se v splošnem uporablja za opis naravnih produktov rastlin, katerih molekulska struktura temelji na 15 ogljikovih atomih, ki so urejeni v difenilpropansko ogrodje  $C_6 - C_3 - C_6$  (Umezawa, 2001). Dva aromatska obroča torej povezuje most s tremi ogljikovimi atomi. Pri dveh razredih flavonoidov, halkonih in dihidrohalkonih, je most s tremi ogljiki »odprt«, pri večini flavonoidov pa je tri-ogljikni most del *O*-heterocikličnega obroča (Bohm, 1998). Molekula večine flavonoidov tako temelji na strukturi flavana, ki sestoji iz dveh aromatskih obročev, ki ju povezuje tetrahidropiranski obroč (Slika 3). Levi obroč označujemo kot obroč A-, desni obroč je po dogovoru B- obroč, heterociklični obroč med njima pa je C- obroč. Skladno z dogovorom je kisik heterocikličnega obroča označen kot položaj 1. Številčenje



**Slika 3. Osnovna struktura flavonoidov je flavan, ki ga imenujemo tudi 2-fenilkroman. Z modro je označen fenilpropanoidni del molekule ( $C_6 - C_3$ ), ki izvira iz šikimatno-cimetne poti, z rdečo pa del  $C_6$ , ki nastane po acetatno malonatni poti. Prirejeno po Croteau et al. 2000.**

ogljikovih atomov se nadaljuje z ogljikom, na katerega je vezan obroč B-. Štiri razpoložljiva mesta na obroču A- so oštevilčena s 5, 6, 7 in 8. Ogljikovih atomov, ki si jih delita obroča A- in C-, na prikazih strukturnih formul ne številčimo. Ogljikovi atomi obroča B- so označeni z zaporednimi številkami od 2' do 6'.

Biosinteza obročev, ki sestavljajo flavonoide, se odvija po različnih biokemičnih poteh. Fenilpropanski del ( $C_6 - C_3$ ) izvira iz šikimatno-cimetne poti, fragment  $C_6$  pa nastane po acetatno / malonatni poti (Slika 3) (Umezawa, 2001; Vermerris in Nicholson, 2006)

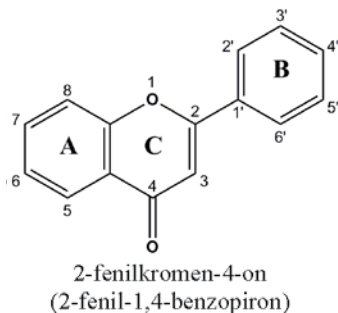


**Slika 4. Strukturne formule osnovne enote flavonoidov, t.j. kromana, kromena, kromona in kumarina. Kroman ali 3,4-dihidro-2H-1-benzopiran se samostojno ne pojavlja v naravi, prisoten pa je v številnih naravnih proizvodih.**

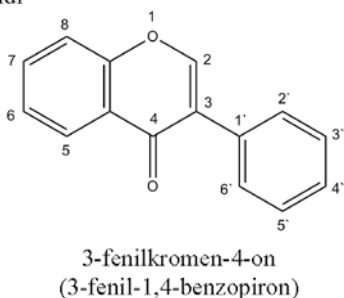
Osnovna strukturna enota flavonoidov s šestčlenskimi C-obročem je kromon ali 4H-kromen-4-on ali 4H-1-benzopiran-4-on (Bohm, 1998), z redukcijo dvojne vezi in ketonske skupine pa nastanejo strukture, ki so prikazane na sliki 4. Glede na mesto, kjer je osnovna enota kromen-4-ona substituirana z aromatskim obročem, lahko to skupino naravnih produktov razdelimo na tri razrede: flavonoide, ki izvirajo iz 2-fenilkromen-4-ona; izoflavonoide, ki nastanejo iz 3-fenilkromen-4-ona in neoflavonoide, ki izvirajo iz 4-fenilkumarina (Slika 5) (Iupac, 1997). Njihovi derivati nastanejo z redukcijo dvojne vezi med ogljikovima atomoma v C- obroču, redukcijo ketonske skupine (glej sliko 4) in hidrosiliranjem na različnih mestih v molekuli (Iupac, 1997).

Izraz flavonoidi se v strogem smislu uporablja samo za opis tistih aglikonov, ki niso izoflavonoidi in neoflavonoidi (Umezawa, 2001). Klasifikacija aglikonov flavonoidov prvenstveno temelji na razlikovanju oksidacijskih stopenj enote C3 v molekuli (Goodwin in Mercer). Flavonoide lahko torej razvrstimo na halkone, aurone, flavanone, flavanonole, flavone, flavonole, flavan-3-ole, flavan-3,4-diole ter antocianine (Umezawa, 2001). Flavonoidi so lahko hidrosilirani na različnih mestih v molekuli, na sliki 6 pa so

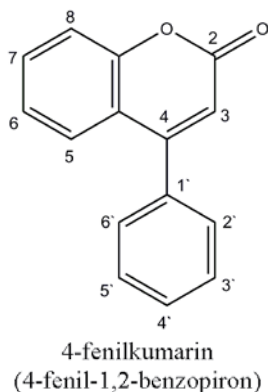
Flavonoidi



Izoflavonoidi



Neoflavonoidi

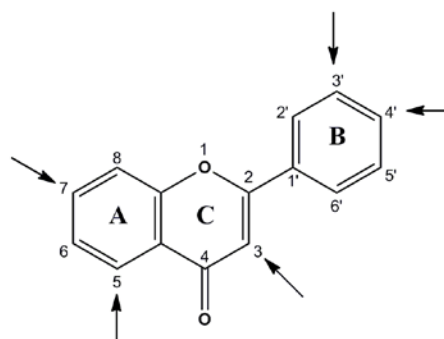


**Slika 5. Osnovno molekulsko ogrodje flavonoidov, izoflavonoidov in neoflavonoidov.**

prikazani najpogostejši položaji (Slika 6). Hidroksilne skupine so lahko tudi metilirane ali acetilirane (Bohm, 1998). V lesnih tkivih se pojavljajo predvsem flavanoni in flavanonoli, flavoni in flavonoli ter flavanoli (Harborne, 1989).

**Halkoni in auron**

Halkoni in auron so rumeni fenolni pigmenti, ki se v rastlinskem svetu pojavljajo v omejenem obsegu, halkone so zabeležili pri 25 družinah, aurone pa samo pri 10 družinah (Harborne, 1989). Za halkone je značilna linearna  $C_3$ -veriga z dvojno vezjo, ki povezuje dva benzenova obroča (Slika 7) (Vermerris and Nicholson 2006), pojavljajo pa se pretežno v trans- obliki (Harborne, 1989). Halkoni so prekursorji za večino flavonoidov (Umezawa, 2001). Auron

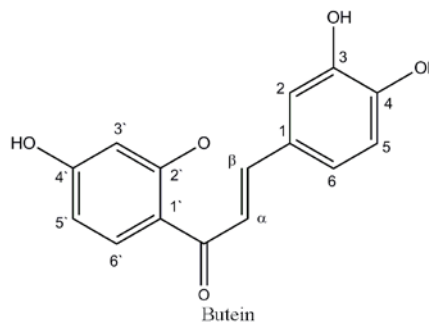


**Slika 6. Puščice označujejo mesta, kjer so flavonoidi najpogosteje hidroksilirani.**

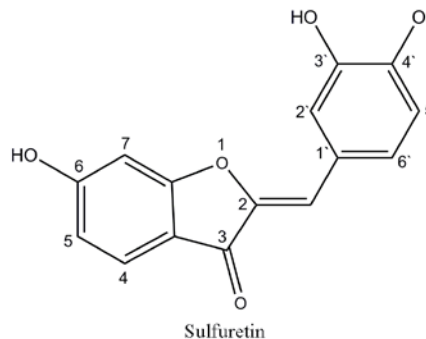
nastanejo s ciklizacijo halkonov, pri čemer *meta*-hidroksilna skupina A- obroča reagira z  $\alpha$ -ogljikom  $C_3$  verige, kar pripelje do nastanka petčlenskega obroča (Vermerris and Nicholson 2006). V rastlini se zato pogosto pojavljata sorodni molekuli halkona in aurona (Harborne, 1989).

V lesu se pojavljajo dokaj redko, halkon butein in auron sulfuretini (Slika 7) pa sta značilna za jedrovino octovk (*Rhus* spp). Butein skupaj z ostalimi flavonoidi (npr. fisetin, morin, santal, sulfuretini ...) povzroča obarvanost papirne kaše (Kai, 1991).

Halkon



Auron



**Slika 7. Halkon butein in auron sulfuretini se nahajata v jedrovini octovk (*Rhus* spp.). Pri teh dveh skupinah spojin je številčenje atomov v molekuli drugačno kot pri derivatih 2-fenilkromen-4-ona.**

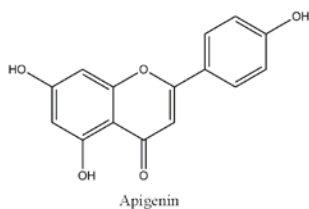
## Flavoni in flavonoli

Molekulsko ogrodje flavonov je 2-fenilkromen-4-on, ogrodje molekule flavonolov pa je 3-hidroksi-2-fenilkromen-4-on. Ti dve skupini flavonoidov se med seboj razlikujeta po dodatni hidroksilni skupini, ki je prisotna pri flavonolih na C3, kar je povezano z dejstvom, da so flavonoli biosintetsko naprednejši od flavonov. Razlika je pomembna z analitskega vidika, saj se oba razreda razlikujeta tudi po kromatografskih in spektralnih lastnostih (Harborne, 1989). Flavoni, kakršen je apigenin, so pogosti pri mnogih kritosemenkah. V lesnih rastlinah se izmed flavonolov najpogosteje pojavljajo kemferol (5,7,4'-hidroksiflavon), kvercetin (5,7,3',4'-hidroksiflavon) in miricetin (5,7,3',4',5'-hidroksiflavon) (Slika 8).

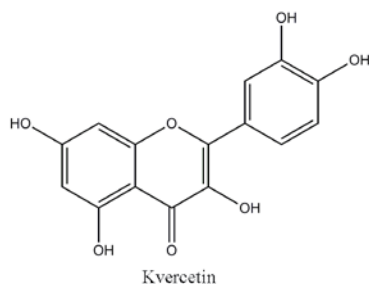
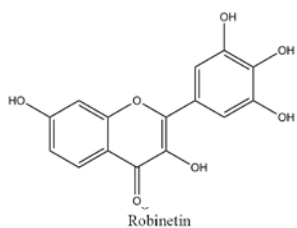
## Flavanoni in flavanonoli

V C- obroču flavanonov in flavanonolov je vez med C2 in C3 nasičena, na obroč pa je vezana ketonska skupina (Sli-

Flavon



Flavonol

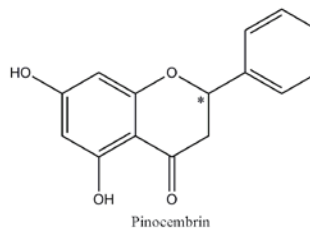


Slika 8. Za C- obroč flavonov in flavonolov je značilna ketonska funkcionalna skupina in nenasičena dvojna vez med C-2 in C-3. Flavonoli so hidroksilirani na položaju C-3, pri flavonih pa hidroksilna skupina na tem mestu umanjka. Flavon apigenin je navzoč v lesu številnih kritosemenk. Robinetin je flavonol, ki je značilen za jedrovino robinije (*Robina pseudoacacia*). Najpogostejši flavonol višjih rastlin je kvercetin.

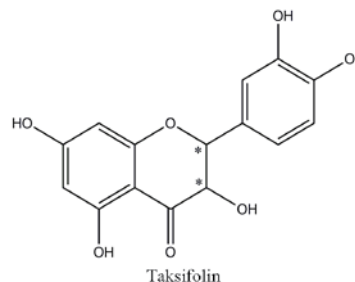
ka 9). Osnovno kemijsko strukturo flavanonov predstavlja 2,3-dihidro-2-fenilkromen-4-on, vendar to skupino spojin pogosto imenujejo tudi 2,3-dihidroflavoni (glej npr.: Harborne 1989). Flavanoni lahko nastopajo v dveh stereoizomernih oblikah, v naravi pa prevladujejo levosučne oblike (Harborne, 1989).

Flavanonole poznamo tudi pod imenom 2,3-dihidroflavanoli (Harborne, 1989), pri čemer pa osnovno strukturo molekule flavanonolov predstavlja 3-hidroksi-2,3-dihidro-2-fenilkromen-4-on. Flavanonoli imajo torej na C3 substituirano hidroksilno skupino, ki je pri flavanonih ni. Dihidroflavanoli imajo različne substituentne na C2 in C3 in lahko obstajajo v cis- in trans- obliki (Harborne, 1989). Primera te skupine flavonoidov sta dihidrokamferol in taksifolin, poznan tudi kot dihidrokvercetin (Slika 9). Za taksifolin, ki so ga izolirali iz lesnih tkiv, je dokazan velik antioksidativni potencial (Pietarinen in sod., 2006). Taksifolin se skupaj z drugimi flavonoidi (prunin, aromadendrin, eriodiktiol, naringenin in 7,4'-metoksinaringenin) nahaja v jedrovini pozne čremse (*Prunus serotina*), vendar pa k značilni rdečkasti barvi jedrovine najverjetneje prispevajo zamrežene in kondenzirane polimerne snovi (Mayer in sod., 2006). Pojavlja se tudi kot bioaktivna komponenta v odzivu drevesnega metabolizma na napad patogenih organizmov in insektov (Brignolas in sod., 1995; Dubeler in

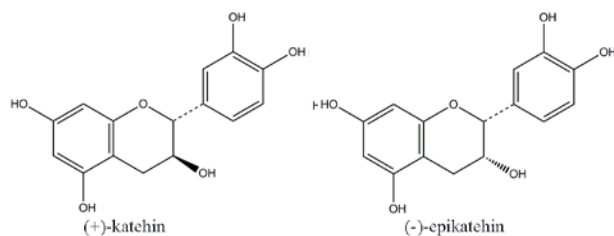
Flavanon



Flavanonol



Slika 9. Vse vezi v C- obroč flavanonov in flavanonolov so nasičene, na C4 pa se nahaja ketonska funkcionalna skupina. V C- obroč flavanonolov je na položaju C3 substituirana hidroksilna skupina. Flavanon pinocembrin se nahaja v lesu borov (*Pinus* spp.). Taksifolin, ki se uporablja tudi kot komercialno dostopen antioksidant, je prisoten v lesu in skorji številnih iglavcev. Kiralni centri so označeni z zvezdico.



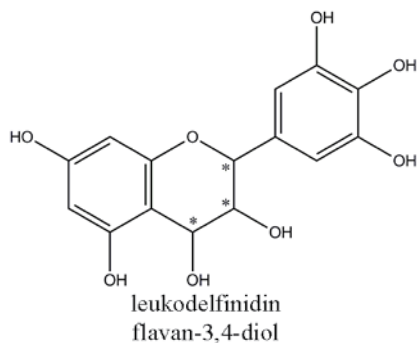
**Slika 10. Flavanoli v C- obroču nimajo nenasičenih vezi. Katehin in epikatehin sta med najpogostejšimi flavan-3-oli v lesu številnih drevesnih vrst.**

sod., 1997). V lesu se običajno nahajata sorodni molekuli flavonona in flavanonola (Harborne, 1989).

### Flavan-3-oli in flavan-3,4-oli

Katehini (flavan-3-oli), včasih imenovani tudi flavanoli, in leukoantocijanidini (flavan-3,4-dioli) so flavonoidi z nasičeno vezjo med C2 in C3 v obroču C-.

Med naravnimi produkti rastlin je poznanih več kot 40 flavan-3-olov (Hemingway, 1989), najbolj značilen predstavnik v lesnih tkivih (in zelenem čaju) pa je katehin. Ime katehin izvira iz imena drevesne vrste *Acacia catechu*, iz katere so ga prvič izolirali (Hemingway, 1989). Molekula katehina ima dva kiralna centra, na C2 in C3 atomu, zato ima štiri diastereoizomere. Dva izomera imata trans- konfiguracijo in sta katehina, izomera s cis- konfiguracijo pa sta epikatehina. Med najbolj razširjene flavan-3-ole v lesovih iglavcev in listavcev zagotovo sodita (+)-katehin in (-)-epikatehin (Slika 10), pa tudi galokatehin in epigalokatehin. Predpona galo označuje vic-tri hidroksi substitucijski vzorec na B- obroču ali drugače, B- obroč je pirogalol. Za razliko od ostalih flavonoidov, se flavan-3-oli pojavljajo kot aglikoni in kot aglikonski polimeri (Koch in sod., 2003) in ne nastopajo v glikozidih zvezah (Vermerris in Nicholson, 2006). Katehin je prisoten v beljavi in diskoloriranem lesu bukovine, mehanizem kondenzacije katehina pa je razlog za nezaželene rjave diskoloracije lesa, ki se lahko pojavijo pri tehničnem sušenju bukovine (Koch in sod., 2003).



**Slika 11. Leukodelphinidin je eden izmed flavan-3,4-diolov, ki se nahaja v taninu skorje avstralske akacije. Zvezdice označujejo kiralne centre.**

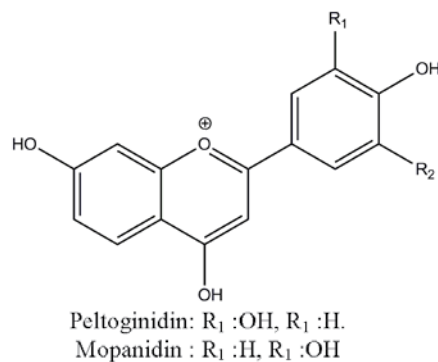
Leukoantocijanidini so brezbarvni, značilen predstavnik te skupine flavonoidov je na primer leukodelphinidin (Slika 11), ki je pomembna sestavina kondenziranih taninov skorje avstralske akacije (*Acacia mearnsii*) (Fengel in Wegener, 1984). Leukoantocijanidini so pogosti v ksilemskih tkivih (Hafizoglu in Holmbom, 1995; Willför in sod., 2004), identificirali pa so jih tudi v ekstraktih bukove skorje in smrekovih iglic (Dubeler in sod., 1997; Vosmanska in sod., 2005). Flavan-3-oli in flavan-3,4-dioli so glavni gradniki kondenziranih taninov (Fengel in Wegener, 1984).

### Antocijanini in antocijanidini

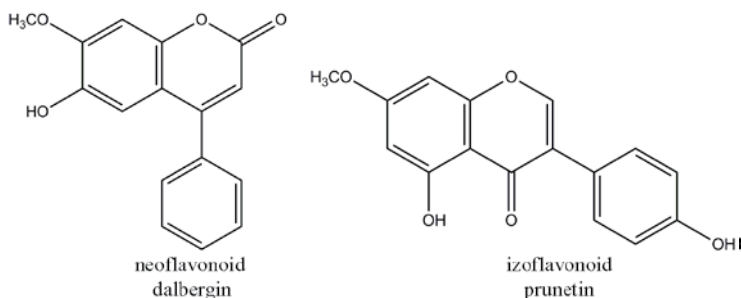
Antocijanini so rdeče in modre barvne spojine npr. v cvetovih, v jagodni kožici grozdja, rdečih vinih in v jesenskem listju. Antocijanini so glikozidi, aglikoni pa so antocijanidini, ki so polihidroksi flavilijeve soli (benzopirilijeve soli) (Abram in Simčič, 1997; Tišler, 1982). Antocijanidini in njihovi derivati so prisotni v vakuolah obarvanih rastlinskih delov, v lesu pa so izjemno redki (Harborne, 1989). Barva jedrovine večine lesnih vrst ni odvisna od te skupine pigmentov, ena izmed izjem pa je les škrlatnega srca (*Peltogyne porphyrocardia*), od koder so izolirali dva pigmentna antocijanidina, peltoginidin in mopanidin (Slika 12), ki jedrovini podelita značilno škrlatno barvo (Kai, 1991).

### Izolavonoidi in neoflavonoidi

Pojavnost izoflavonoidov in neoflavonoidov v rastlinskem svetu je veliko bolj omejena kot v primeru derivatov 2-fenilkromen-4-ona, flavonoidov po strožji definiciji. Obe skupini fenolnih spojin se pojavljata predvsem pri stročnicah (Leguminosae). Primer značilnega neoflavonoida je dalbergin (Slika 13). Zaradi izjemno dekorativnih lastnosti so drevesne vrste, kamor sodijo različne vrste palisandra in rožni les (*Dalbergia* spp.) (Torelli, 2001) zelo dobro raziskali tudi v kemijskem smislu. Prunetin pa je eden izmed redkih izoflavonoidov, ki se ne pojavlja pri stročnicah. Značilen je za les in skorjo različnih vrst *Prunus* (Rosaceae) (Harborne, 1989). Izoflavonoidi so brezbarvne spojine.



**Slika 12. V jedrovini škrlatnega srca (*Peltogyne porphyrocardia*) sta prisotna dva antocijanidina, ki določata barvo jedrovine te drevesne vrste.**



**Slika 13. Izoflavonoidi in neoflavonoidi so značilni za les stročnic. Dalbergin je neoflavonoid, ki se pojavlja v lesu vrst *Dalbergia*. Prunetin je izoflavonoid, ki se pojavlja pri rožnicah.**

## SKLEP

Flavonoidi predstavljajo veliko skupino naravnih produktov rastlin s pestrim spektrom ekoloških funkcij, med drugim zaščitijo rastline pred ultravijoličnim sevanjem, privlačijo opraševalce rastlin, delujejo alelofatsko, so fitoaleksini in delujejo fungicidno ali insekticidno. Flavonoidi so običajna sestavina hrane, pogosto jih uživamo v obliki prehranskih dopolnil, izkazujejo biološko aktivnost in farmakološke lastnosti, mnogi so antioksidanti, delujejo kot lovilci radikalov, delujejo protivirusno itd. (Abram in Simčič, 1997; Kočevar in sod., 2007; Taiz in Zeiger, 2006; Umezawa, 2001). Flavonoidi lesa prispevajo k naravni odpornosti in barvi jedrovine. Večina ekstraktivov barvilnih lesov (Torelli, 2001), kot so rdeči lesovi (*Pterocarpus*, *Bahia*, *Casalsipina* spp., *Haematoxylon brasiletto*), modri lesovi (*Haematoxylon campechianum*) in rumeni lesovi (*Chlorophora tinctoria*) so flavonoidi in flavonoidom podobne snovi (Fengel in Wegener, 1989). Glede na to, da sta les in drevesna skorja v splošnem zelo dober vir nekaterih komercialno zanimivih flavonoidov, bi veljalo v prihodnje podrobneje raziskati, kako na njihovo vsebnost pri posamezni drevesni vrsti vpliva rastišče, prav tako pa bi bilo smiselno ugotoviti, kakšna je variabilnost vsebnosti teh spojin v različnih delih drevesa.

## ZAHVALA

Študija je nastala v okviru programske skupine P4-0015, ki jo financira ARRS in v okviru WoodWisdom-Net2 projekta PINOBIO, ki ga sofinancira MVZT RS.

## VIRI

1. Abram V., Simčič M. (1997) Fenolne spojine kot antioksidanti. Farmaceutski vestnik, 48, 573-589
2. Bohm B. A. (1998) Introduction to Flavonoids. Harwood Academic Publishers, Netherlands, 503
3. Brignolas F., Lacroix B., Lieutier F., Sauvard D., Drouet A., Claudot A. C., Yart A., Berryman A. A., Christiansen E. (1995) Induced Responses in Phenolic Metabolism in 2 Norway Spruce Clones after Wounding and Inoculations with *Ophiostoma-Polonicum*, a Bark Beetle-Associated Fungus. Plant Physiology, 109, 3: 821-827
4. Dubeler A., Voltmer G., Gora V., Lunderstadt J., Zeeck A. (1997)

Phenols from *Fagus sylvatica* and their role in defence against *Cryptococcus fagisuga*. Phytochemistry, 45, 1: 51-57

5. Fengel D., Wegener G. (1989) Wood: chemistry, ultrastructure, reactions. Walter de Gruyter, Berlin, New York, 613
6. Goodwin T. W., Mercer E. I. (1983) Plant Phenolics. V: Introduction to Plant Biochemistry. (Ur.), Pergamon press, Oxford, 528-564
7. Goodwin T. W., Mercer E. I. (1983) Introduction to plant biochemistry. Oxford Pergamon Press, New York, 677
8. Hafizoglu H., Holmbom B. (1995) Chemical-Composition of Extractives from *Abies Nordmanniana*. Holz Als Roh-Und Werkstoff, 53, 4: 273-275
9. Harborne J. B. (1989) Flavonoids. V: Natural products of woody plants I. Chemicals extraneous to the ligno-cellulosic cell wall. Rowe J.W. (Ur.), Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, 533-570
10. Hemingway R. W. (1989) Biflavonoids and proanthocyanidins. V: Natural products of woody plants I. Chemicals extraneous to the ligno-cellulosic cell wall. Rowe J.W. (Ur.), Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, 571-651
11. Iupac (1997) The Gold Book-Compendium of chemical terminology. IUPAC: <http://www.chem.qmul.ac.uk/iupac/>
12. Kai Y. (1991) Chemistry of Extractives. V: Wood and Cellulosic Chemistry. Hon D.N.S. in Shiraishi N. (Ur.), Marcel Dekker, Inc., New York, 215-255
13. Koch G., Puls J., Bauch J. (2003) Topochemical characterisation of phenolic extractives in discoloured beechwood (*Fagus sylvatica* L.). Holzforschung, 57, 4: 339-345
14. Kočevar N., Glavač I., Kreft S. (2007) Flavonoidi. Farmaceutski vestnik, 58: 145-148
15. Kure S. (2006) Fenolne spojine in fluidnost celičnih membran. Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo, Ljubljana, 69
16. Mayer I., Koch, G., Pulse J. (2006) Topochemical investigations of wood extractives and their influence on colour changes in American black cherry (*Prunus serotina* Borkh.). Holzforschung, 60, 6: 589-594
17. Pietarinen S., Willför S., Ahotupa M., Hemming J., Holmbom B. (2006) Knotwood and bark extracts: strong antioxidants from waste materials. Journal of Wood Science, 52, 5: 436-444
18. Taiz L., Zeiger E. (2006) Plant physiology. Sinauer Associates, Inc., Publishers. Sunderland, Massachusetts, 764
19. Tišler M. (1982) Organska kemija. Državna založba Slovenije, Ljubljana, 483
20. Torelli N. (2001) Rožni les in palisander. Les, 53, 5: 159-162
21. Umezawa T. (2001) Chemistry of Extractives. V: Wood and Cellulosic Chemistry. Hon D.N.S. in Shiraishi N. (Ur.), Marcel Dekker, Inc., New York, 213-241
22. Vermerris W., Nicholson R. (2006) Phenolic Compound Biochemistry. Springer Science+Business Media B.V., Netherlands, 276
23. Vosmanska M., Sykora D., Fahnrich J., Kovarova M., Volka K. (2005) Extraction of p-hydroxyacetophenone and catechin from Norway spruce needles. Comparison of different extraction solvents. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 382, 4: 1135-1140
24. Waksmundzka-Hjanos M., Oniszczuk A., Hajnos M., Oniszczuk T. (2011) HPLC of flavonoids. V: High performance liquid chromatography in phytochemical analysis. Waksmundzka-Hjanos M. in Shermaj J. (Ur.), CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 535-561
25. Willför S., Nisula L., Hemming J., Reunanen M., Holmbom B. (2004) Bioactive phenolic substances in industrially important tree species. Part 1: Knots and stemwood of different spruce species. Holzforschung, 58, 4: 335-344