

»Državno srečanje mladih raziskovalcev Slovenije«

57. srečanje

Podzemni pogled na invazivno vrsto
Robinia pseudoacacia

Raziskovalna naloga

Raziskovalno področje: BIOLOGIJA

PROSTOR ZA NALEPKO

Avtorici: DORA KAISER, EVA RAVNIK
Mentor: HELENA BAJEC, TANJA MRAK
Šola: II. GIMNAZIJA MARIBOR

Maribor, 2023

KAZALO VSEBINE

Kazalo slik.....	4
POVZETEK	7
ZAHVALA.....	8
1. UVOD	1
2. TEORETIČNO OZADJE.....	2
2. 1 Navadna robinija (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	2
2.1.1. Družina metuljnic (Fabaceae)	2
2.1.2 Sistematske značilnosti navadne robinije.....	3
2.1.3. Razmnoževanje	7
2.1.4. Rastišče.....	7
2.2 Zgradba korenin semenk	10
2.2.1. Razvoj korenin - semenke	10
2.2.2 Rastni vršiček korenine	12
2.2.3 Cona celične delitve	12
2.2.3 Cona rasti in diferenciacije.....	13
2.2.4 Absorpcijska cona	13
2. 3. Razvoj stranskih korenin.....	15
2. 4. Sekundarna rast korenin	16
2.4.1. Primarna skorja korenine	19
2.4.2. Primerjava sekundarne rasti korenin in poganjkov	19
2.5. Anatomske strukture primarnega ksilema korenin.....	20
2.6. Anatomske strukture sekundarnega ksilema korenin.....	21
2.6.1 Razvidnost in prisotnost branik.....	21
2.6.2 Traheje.....	22
2.6.3 Poroznost.....	27
2. 6. 4 Prisotnost til.....	28
2.6.5 Trakovi sekundarnega ksilema.....	29
2.6.6 Prisotnost kristalov	29
2.6.7 Aksialni parenhim	30
2.7 Anatomske strukture skorje korenin	31
2.7.2 Floemski trakovi.....	32

3. METODE DE LA IN MATERIAL.....	35
3.1 Pridobivanje vzorcev korenin.....	35
3.1.1 Material	35
3.1.2 Postopek pridobivanja vzorcev korenin	36
3.2. Priprava preparatov	40
3.2.1 Material	40
3.2.2 Postopek priprave preparatov	41
3.3 Mikroskopiranje	45
3.3.1 Material	45
3.3.2 Postopek	45
4. REZULTATI.....	46
4.1 Vzorci debeline 1 mm	46
4.2 Vzorci debeline 3 mm	49
4.3. Vzorci debeline 5 mm	57
5. DISKUSIJA.....	64
6. DRUŽBENA ODGOVORNOST.....	66
7. ZAKLJUČEK.....	67
8. VIRI.....	68
8.1. Viri gradiva	68
8.2 Viri slik.....	75
9. PRILOGE.....	80

Kazalo slik

Slika 1: Skorja navadne robinije (Marinšek in Červek, 2020).....	4
Slika 2: Brsti med dvema trnoma (Krajšek, 2019).....	4
Slika 3: Listi navadne robinije (Zelena os regije, 2015)	5
Slika 4: Plodovi in semena navadne robinije (Temenica, 2020).....	5
Slika 5: Cvetovi navadne robinije (Wikipedia, 2003).....	6
Slika 6: Naravni areal robinije (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.) (povzeto po Stone, 2009).....	8
Slika 7: Prikaz deleža invazivne robinije po gozdnogospodarskih območjih Zavoda za gozdove Slovenije glede na podatke iz leta 2011 (povzeto po Kutnar in Kobler, 2013).....	9
Slika 8: Les navadne robinije v prečnem prerezu (Wikipedia, 2003).....	10
Slika 9: Plumula in radikula kalčka (Kumar, 2017).....	11
Slika 10: Korenina in njeni deli (povzeto po Reece, idr. 2020).....	11
Slika 11: Rastni vršiček korenine (povzeto po e-Učbeniki).....	12
Slika 12: Absorpcijska cona korenine, poraščena s koreninskimi laski (povzeto po Brady, idr., 1992).....	13
Slika 13: Primarna skorja, omejena z rizodermom in endodermom (povzeto po Peter v. Sengbusch, 2002)	14
Slika 14: Nastanek stranske korenine (povzeto po Jing in Strader, 2019).....	15
Slika 15: (povzeto po John Bebbington, 2012).....	16
Slika 16: Sekundarna rast (povzeto po Maria Morrow, 2022).....	17
Slika 17: Sekundarna rast korenine (povzeto po Strock in Lynch, 2020).....	18
Slika 18: Sekundarna rast korenine (povzeto po Prasanna, 2021)	18
Slika 19: Zgradba korenine v prečnem prerezu (povzeto po Reece, 2020)	19
Slika 20: Anatomske strukture primarnega ksilema	21
Slika 21: Branika ali letni prirast (povzeto po Mrak in Gričar, 2016)	22
Slika 22: Traheje v tangencialnih pasovih (povzeto po I.W. Bailey, 1989)	23
Slika 23: Traheje v tangencialnih pasovih (povzeto po P.E. Gasson, 1989).....	23
Slika 24: Traheje v radialnih pasovih (povzeto po E. A. Wheeler, 1989)	24
Slika 25: Traheje v diagonalnih vzorcih	24
Slika 26: Traheje v dendritičnem vzorcu (povzeto po D. Grosser, 1989).....	24
Slika 27: Izključno posamične traheje (povzeto po P. E. Gasson, 1989).....	25
Slika 28: Traheje v radialnih večkratnikih (povzeto po K. Ogata, 1989)	25
Slika 29: Traheje v skupkih (povzeto po E. A. Wheeler, 1989)	26
Slika 30: Venčasto porozen les (levo), polvenčasto porozen les (sredina), raztreseno porozen les (desno)	27
Slika 31: Tile (povzeto po E.A. Wheeler, 1989).....	28
Slika 32: Sklerotizirane tile (povzeto po K. Ogata, 1989)	28
Slika 33: Prizmatični kristali (levo) in stiloidi (desno) (povzeto po Vossen, 2021)	30
Slika 34: Paratrahealni aksialni parenhim (* zvezdice) (povzeto po Mrak in Gričar, 2016)...	31
Slika 35: Aksialni parenhim razporejen difuzno (• pike) in marginalno (* zvezdice) (povzeto po Mrak in Gričar, 2016).....	31

Slika 36: Ksilemske in floemske cevi (povzeto po Hajeri in Yokomi, 2020).....	32
Slika 37: Floemski trakovi (povzeto po Miami University, 2019)	32
Slika 38: Sklereide (povzeto po University of Florida, 2020)	33
Slika 39: Sestava periderma (povzeto po Williams, 2019)	34
Slika 40: Kljunasto merilo.....	35
Slika 41: Centrifugirka (15 mL).....	35
Slika 42: Izkopavanje korenin 1 (lastni vir)	37
Slika 43: Izkopavanje korenin 2 (lastni vir)	37
Slika 44: Lokacija 1 (lastni vir).....	38
Slika 45: Podrast na lokaciji 1 (lastni vir)	38
Slika 46: Podrast na lokaciji 1 (lastni vir)	38
Slika 47: Podrast na lokaciji 3 (lastni vir)	39
Slika 48: Praprotna na lokaciji 3 (lastni vir)	40
Slika 49: Podrast na lokaciji 3 (lastni vir)	40
Slika 50: Avtomatski tkivni procesor (lastni vir)	41
Slika 51: Postopek vklapljanja korenin v parafin (lastni vir).....	42
Slika 52: Postopek obrezovanja vzorca na rotacijskem mikrotomu (lastni vir).....	43
Slika 53: Postopek obrezovanja vzorca na rotacijskem mikrotomu (lastni vir).....	43
Slika 54: Postopek barvanja preparatov (lastni vir)	44
Slika 55: Mikroskop Zeiss Axio Imager Z2 (Zeiss, 2017).....	45
Slika 56: Navadna robinija, 1 mm, L2, koreninski laski in epidermis (lastni vir)	46
Slika 57: : Navadna robinija, 1 mm, L2, koreninski laski in epidermis (lastni vir)	46
Slika 58: Navadna robinija, 1 mm, L2, epidermis (e), korteks (c), koreninski lasek (l), periderm (d), primarni in sekundarni ksilem (x), sekundarni floem (f), pericikel (p) (lastni vir)	47
Slika 59: Navadna robinija, 1 mm, L2, primarni ksilem (lastni vir).....	48
Slika 60: Navadna robinija, 1 mm, L2, škrobna zrna v primarnem in sekundarnem ksilemu (c) (lastni vir)	48
Slika 61: Navadna robinija, 1 mm, L2, vlakna v skorji (v) (lastni vir)	48
Slika 62: Navadna robinija, 3 mm, L1, pentarhni primarni ksilem (lastni vir).....	49
Slika 63: Navadna robinija, 3 mm, L2, heksarhni primarni ksilem (lastni vir)	49
Slika 64: Prečni prerez korenine premera 3 mm (razporeditev trahej in branike) (lastni vir) .	50
Slika 65: Navadna robinija, 3 mm, L2, želatinozna vlakna v sekundarnem ksilemu (lastni vir)	51
Slika 66: Navadna robinija, 3 mm, L2, želatinozna vlakna v sekundarnem ksilemu (lastni vir)	51
Slika 67: Navadna robinija, 3 mm, L2, sklereide (s) (lastni vir).....	52
Slika 68: Navadna robinija, 3 mm, L2, trakovi sekundarnega ksilema, uniseriatni (u), multiseriatni (m) (lastni vir)	52
Slika 69: Navadna robinija, 3 mm, L2, škrobna zrna (lastni vir).....	53
Slika 70: Navadna robinija, 3 mm, L1, floemski trakovi (f) (lastni vir)	53
Slika 71: Navadna robinija, 3 mm, L1, kristali prisotni v floemu (lastni vir).....	54

Slika 72: Navadna robinija, 3 mm, L1, navadna tila (T) (lastni vir)	54
Slika 73: Navadna robinija, 3 mm, L1, periderm (lastni vir)	55
Slika 74: Navadna robinija, 3 mm, L2, periderm (lastni vir)	55
Slika 75: Navadna robinija, 3 mm, L2, periderm (lastni vir)	55
Slika 76: Navadna robinija, 3 mm, L2, zunanja plast periderma (r) (lastni vir)	56
Slika 77: Navadna robinija, 3 mm, L2, zunanja plast periderma (r) (lastni vir)	56
Slika 78: Navadna robinija, 5 mm, L3, primarni ksilem heksarhne oblike (lastni vir).....	57
Slika 79: Navadna robinija, 5mm, L3, branika (lastni vir)	57
Slika 80: Navadna robinija, 5 mm, L1, venčasto porozen les korenine (lastni vir)	58
Slika 81: Navadna robinija, 5 mm, L1, traheje; skupki (s), radialni stolpci (r) (lastni vir).....	59
Slika 82: Navadna robinija, 5 mm, L1, paratrahealen aksialni parenhim (lastni vir)	59
Slika 83: Navadna robinija, 5 mm, L1, paratrahealen aksialni parenhim (lastni vir)	59
Slika 84: Navadna robinija, 5 mm, L3, multiseriatni ksilemski trakovi (lastni vir).....	60
Slika 85: Navadna robinija, 5 mm, škrobna zrna v ksilemskih trakovih (lastni vir).....	60
Slika 86: Navadna robinija, 5 mm, L3, tile	61
Slika 87: Navadna robinija, 5 mm, L3, tile	61
Slika 88: Navadna robinija, L2, želatinozna vlakna (lastni vir).....	61
Slika 89: Navadna robinija, L2, želatinozna vlakna (lastni vir).....	61
Slika 90: Navadna robinija, 5 mm, L3, floemski trakovi (f), kolabirane floemske celice (puščica, k) (lastni vir)	62
Slika 91: Navadna robinija, 5 mm, L3, vlakna v skupkih (v) (lastni vir)	62
Slika 92: Navadna robinija, 5 mm, L3, vlakna v skupkih (v) (lastni vir)	63
Slika 93: Navadna robinija, 5 mm, L3, periderm (lastni vir).....	63

POVZETEK

Anatomija korenin še vedno velja kot manj znano področje povezano z znanostjo o rastlinah.

Kljub temu, da korenine predstavljajo velik del podzemne biomase in opravljajo pomembne funkcije pritrdjevanja, črpanja vode in hranil ter shranjevanja založnih snovi. Poznavanje vrstno specifičnih anatomskih struktur v koreninah nam omogoča njihovo identifikacijo pri raziskovanju gozdnih in urbanih ekosistemov, sledenje njihovih odzivov na spremembe v okolju (npr. suša, dodajanje hranil ipd.) ter tudi v namene ohranjanja kulturne dediščine (identifikacija korenin, ki se razraščajo pod objekte kulturne dediščine in povzročajo njihove poškodbe).

V raziskovalni nalogi smo natančno raziskali anatomske strukture korenin invazivne drevesne vrste navadne robinije (*Robinia pseudoacacia* L.) s treh različnih lokacij. Izbrali smo korenine v premeru 1 mm, 3 mm in 5 mm, ki smo jih fiksirali v etanolu, vklopili v parafin, obarvali z barviloma safraninom in z astra blue ter opazovali pod svetlobnim mikroskopom.

Zanimalo nas je, katere anatomske strukture so prisotne, ali se strukture razlikujejo med različnimi razvojnimi stadiji (premeri) korenin in na podlagi katerih anatomskih struktur lahko vrsto *Robinia pseudoacacia* L. identificiramo. Na podlagi opazovanj mikroskopskih preparatov smo opisali anatomske strukture posamezne debeline in naredili primerjavo med le-temi.

Rezultati so pokazali, da so korenine vseh vključenih debelin že prešle v stadij sekundarne rasti. Najbolj so se razlikovali vzorci premera 1 mm in 5 mm, vzorci 3 mm pa so imeli več podobnosti z vzorci debeline 5 mm kot 1 mm. Pri 1 mm smo zasledili še ostanke primarne skorje in koreninskih laskov. Pokazali smo, da korenine vrste *Robinia pseudoacacia* L. vsebujejo v sekundarnem ksilemu veliko tenzijskih vlaken, v skorji, ki zavzema velik del premera korenine pa skupke vlaken in vključke v obliki kristalov.

ZAHVALA

Najlepša hvala vsem, ki ste sodelovali pri nastanku te raziskovalne naloge. Posebna zahvala gre Gozdarskemu inštitutu, ki nama je nudil dostop do laboratorija in potrebnega materiala za raziskovanje.

Še posebej se zahvaljujemo mentorjem za potrpežljivost, nasvete in vso pomoč ter gospodu Gregorju Skobernetu, ki naju je seznanil s potrebno metodologijo dela v laboratoriju.

1. UVOD

Spremljanje aktivnosti prevodnega kambija in radialne rasti lesnatih rastlin med rastnimi sezonami postaja vse bolj pomembno.

Prikazuje nam temperaturne trende skozi leta in nakazuje spremembe podnebja (Begum, Rahman, Nakaba idr., 2018).

Tovrstni podatki nam omogočajo tudi oceno kratkoročnega vpliva okoljskih sprememb na rast drevesa in formacijo njihovega floema ter lesa (Balducci idr., 2016; Gričar in Čufar, 2008; Michelot idr., 2012; Prislán idr., 2018).

Splošna težava zakasnele perspektive o funkcionalni ekologiji korenin je pomanjkljivo razumevanje delovanja koreninskih sistemov (Bardgett idr., 2014), še slabše so možnosti primerjave korenin med različnimi vrstami (McCormack idr., 2015).

Nedavno je bila predstavljena nova rizocentrična hipoteza, ki pravi, da je razlike v lastnostih korenin različnih vrst moč pojasniti na podlagi anatomije drobnih (tanjših) korenin (Ma idr., 2018; Kong idr., 2019).

Za namen preučevanja ter poznavanja morfoloških in anatomskih značilnosti drevesnih vrst na podlagi korenin je nastal Atlas korenin lesnatih rastlin v okviru pilotske raziskave, kateri pristop identifikacije korenin tanjših od 5 mm je najustreznejši (Mrak in Gričar, 2016).

Problem identifikacije drobnih korenin gozdnih dreves je bil prisoten skozi desetletja, predvsem v primeru heterogenih rastišč in vzorcev. Po zgledu dela dr. Ivana Brunnerja in njegovih sodelavcev na WSL v Birmensdorfu, je bilo zasnovanih nekaj pristopov k molekularni identifikaciji drobnih korenin, vendar pa te niso bile dovolj natančne in potreba po izboljšanjem določevalnem ključu je ostala. Zato so v okviru RegPot Capacities projekta EUFORINNO natančneje naslovili ta problem (Mrak in Gričar, 2016).

Mrak in Gričar (2016) sta zasnovali morfološki ključ določanja, nato pa v primeru, da ta ne zadostuje, še anatomski opis posamezne vrste.

Namen naše raziskovalne naloge je bil opisati anatomske in morfološke strukture na prečnem prerezu korenin navadne robinije (*Robinia pseudoacacia* L.) ter s tem prispevati k poznavanju drevesnih vrst, ki se pojavljajo v Sloveniji ter omogočiti kasnejše prepoznavanje korenin v vzorcih, v katerih se pojavljajo korenine različnih vrst hkrati. Osredotočili smo se na korenine, tanjše od 5 mm, saj so korenine teh debelin v tleh najpogostejše. Postavili smo hipotezo, da se anatomske strukture med različnimi debelinami korenin razlikujejo.

2. TEORETIČNO OZADJE

2.1 Navadna robinija (*Robinia pseudoacacia* L.)

Navadna robinija (v nadaljevanju robinija) je v Sloveniji invazivna tujerodna drevesna vrsta. Izhaja iz Severne Amerike, v Evropo jo je leta 1600 prinesel francoski botanik in vrtnar francoskega kralja Henrika IV., Jean Robin. Prvo robinijo je v Evropi posadil njegov sin Vesparien Robin leta 1635, iz istega drevesa pa naj bi še do nedavnega izraščali poganjki (Kutnar in Kobler, 2013).

Vrstni pridevek v znanstvenem imenu "*pseudoacacia*" (ali pravilneje "*pseudacacia*") nam da vedeti, da je podobna drevesu akacije (trnovo drevo). Obe vrsti uvrščamo v družino metuljnic (Fabaceae). V Sloveniji se je navadna robinija hitro razširila in je danes ena izmed najbolj pogostih tujerodnih vrst v Sloveniji, njena pogostost pa se samo večja z naraščanjem temperature zraka. Navadna robinija je v Sloveniji najbolj pogosta v Prekmurju in Podravju. Robinija se zelo učinkovito razmnožuje in je zelo močna, obstojna drevesna vrsta. Njeno rast je zelo težko zatreti, ker se razmnožuje tudi iz korenin ali štora. Že v prvem letu lahko panj zraste v 5 - 6 metrov visoko drevo. Za velik razmah robinije pa je odgovoren tudi človek, ki jo je širil s sejanjem (Kutnar in Kobler, 2013).

2.1.1. Družina metuljnic (Fabaceae)

Navadna robinija spada v družino metuljnic (Fabaceae). Metuljnice so družina kritosemenk, ki so najbolj prepoznavne po svojih metuljastih cvetovih. Družina obsega 700 rodov in več kot

17. 000 vrst. Vsebuje drevesa, grme in zelišča. Po številu vrst gre za tretjo največjo kopensko rastlinsko skupino. Družina metuljnic je najbolj zastopana družina v tropskih deževnih gozdovih, pa tudi sušnih gozdovih Severne Amerike in Afrike (Rahman in Parvin, 2014). Metuljnice so monofiletska družina, ki je v bližnjem sorodstvu z družinami *Polygonaceae*, *Surianaceae* in *Quillajaceae* (Rahman in Parvin, 2014). Veliko predstavnikov metuljnic je pomembnih za prehrano človeka in so zato bili pomembni za njegov razvoj, na primer soja (*Glycine max*), fižol (*Phaseolus sp*), grah (*Pisum sativum*), čičerika (*Cicer arietinum*), arašid (*Arachis hypogaea*) idr. (Rahman in Parvin, 2014).

2.1.2 Sistematske značilnosti navadne robinije

Navadno robinijo pogosto zamenjamo z akacijo zaradi številnih podobnosti med vrstama. Navadna robinija v višino zraste do 30 m v višino in je listopadno drevo z redko in zračno, okroglasto do dežnikasto krošnjo. Njen koreninski sistem je običajno plitev, a gosto in široko razrasel, v ustreznih tleh je lahko tudi globlji. Na začetku razvoja ima močno glavno korenino (Brus, 2004).

Na koreninah robinije so pogosto prisotni majhni gomoljčki ali noduli (veliki do 1 cm), ki vsebujejo bakterije rodu *Rhizobium*. Bakterije tega rodu iz zraka nase vežejo plinast dušik (N_2) ter ga pretvorijo najprej v amoniak, nato pa v organske molekule, kot so aminokisliline. Bakterije *Rhizobium* lahko fiksirajo dušik le takrat, ko so v simbiotskem odnosu z rastlino, ki jih oskrbuje z ogljikovimi hidrati (Denison, 2004).

Skorja navadne robinije je pri mladih rastlinah gladka in sivkasta, pri starejših drevesih pa podolžno razpoka in porjavi (Slika 1). Mladi poganjki so rjavkasto rdeči in goli, njihova značilnost je, da so vzdolžno rebrasti (Bobič Červek in Marinšek, 2020).



Slika 1: Skorja navadne robinije (Marinšek in Červek, 2020)

Brsti navadne robinije niso pokriti z luskolisti, temveč so skriti pod nabrekli zalistjem med dvema trnoma (Slika 2). Ti trni so trdi, bodeči in zrastejo v dolžino do 2 cm (Marinšek, idr., 2022).



Slika 2: Brsti med dvema trnoma (Krajšek, 2019)

Brus (2004) opisuje mlade veje kot “cikcakasto skrivenčene”. Listi so lihopernato sestavljeni iz 9-21 lističev, so premenjalno nameščeni in dolgi 20-30 cm. Lističi, ki jih sestavljajo, so podolgovato eliptične oblike, dolgi 3-6 cm, celorobi, imajo kratek pecelj, so svetlo zelene barve in večinoma goli (Slika 3).



Robinija oz. neprava akacija (Robinia pseudoacacia)

Slika 3: Listi navadne robinije (Zelena os regije, 2015)

Plodovi robinije so dolgi 5-10 cm, gladki rjavi stroki, ki vsebujejo 4-10 ozko ledvičastih, do 7mm dolgih, temno rjavih in trdih semen (Slika 4) (Brus, 2004). Za razliko od ostalih dreves rodu *Robinia* ima samo *Robinia pseudoacacia* gole stroke, medtem ko imajo sorodne vrste poraščene stroke (Bartha, Csiszár in Zsigmond, 2008).



Slika 4: Plodovi in semena navadne robinije (Temenica, 2020)

Navadna robinija ima aksilarno grozdasto socvetje, torej socvetje, ki se razvije v zalistju rastočega poganjka. Cvetovi so proterandrični (prašnik dozori pred pestičem), metuljaste oblike in imajo prijeten, nežen vonj. Grozdi so dolgi od 10 do 20 cm in vsebujejo od 10 do 25 cvetov (Slika 5). Cvetovi so beli in se razlikujejo od cvetov drugih vrst iz rodu *Robinia*, kjer so rožnati ali vijolično-rdeči.

Cveti konec maja in junija hkrati z olistanjem. Je enodomna in žužkocvetna vrsta (Bačič, idr., 2018).

V skorji, lesu in listih vsebuje navadna robinija veliko akcesornih snovi¹. Posamezna rastlina te drevesne vrste običajno doživi starost 200 do 250 let, premer debla rastline te starosti pa je lahko tudi do 1 m (Bartha, Csiszár in Zsigmond, 2008).



Slika 5: Cvetovi navadne robinije (Wikipedia, 2003)

¹ Akcesorne snovi: postranska, dodatna sestavina lesa, imenujemo jih tudi metabolne snovi

2.1.3. Razmnoževanje

Robinija se razmnožuje na več načinov: najpogosteje s semeni, lahko pa tudi vegetativno. Že v petem ali šestem letu se začne razmnoževati s semeni, ki jih obrodi zelo veliko. V naravi se pogosto razmnožuje s poganjki iz panja in korenin, kar je za rastlino ugodnejše zaradi omejenosti širjenja semen, neprepustne semenske ovojnice in visokih potreb po svetlobi za kalitev (Stone, 2009, Brus, 2004). Zaradi tovrstnega razmnoževanja jo je težko zatreti.

2.1.4. Rastišče

Robinija najbolje uspeva na rahlih, globokih in rodovitnih peščenih tleh. Dobro prenaša slana tla, je svetloljubna vrsta in najbolje uspeva v čistih sestojih. Odporna je tudi na onesnažen zrak. Ne uspeva na kamnitih terenih in terenih z zastajajočo vodo ali visoko podtalnico. Prav tako ne prenaša preveč sušnih območij. Slabo prenaša zasenčenost, občutljiva je na veter, sneg ter zelo nizke temperature. V primerjavi z drugimi listavci ima izredno visoko porabo kalcija, kalija in fosforja, zato se lahko zgodi, da ji teh elementov začne primanjkovati. Prav tako nekateri menijo, da v gozdovih, kjer je pogosta, zaradi visoke porabe mineralov siromaši tla (Bačič, idr., 2018).

2.1.5. Splošna razširjenost in razširjenost v Sloveniji

Izvira iz Severne Amerike, vendar je njen naravni habitat omejen na dve manjši območji. Večje je v Apalačih med Pensilvanijo, Ohiom, Alabamo in severno Georgio, drugo pa je v južnem Missouriju, Arkansasu in Oklahomi (Slika 6). V druga območja Amerike je bila umetno prinesena (Huntley, 1990).



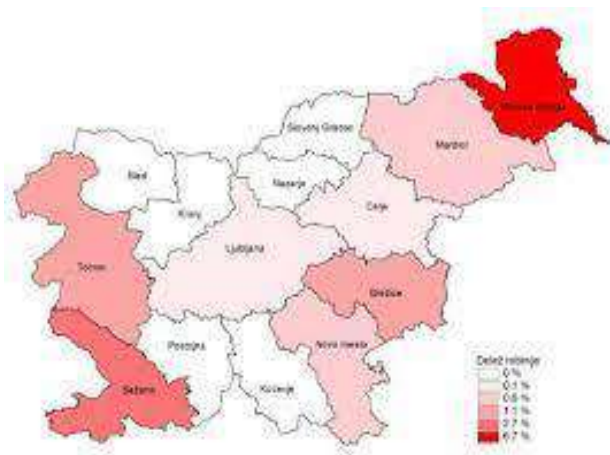
Slika 6: Naravni areal robinije (*Robinia pseudoacacia* L.) (povzeto po Stone, 2009)

Robinija se je do danes v Sloveniji zelo dobro vključila med naše ostale gozdne vrste. V preteklosti so jo gojili zaradi lesa, utrjevanja nestabilnih rastišč in čebelje paše. Danes se po veliki večini rastišč hitro širi.

Robinija je postala gozdnogojitveni problem že v času povojnega gozdarstva in že takrat jo je Maks Wraber označeval za “gozdni plevel”. Osvajala je nova gozdna zemljišča, se razširjala na kmetijska zemljišča in izpodrivala domače rastje. Problematična je bila tudi zaradi prodiranja v degradirane gozdove, s čimer je delovala razdiralno na naravno sestavo fitocenoze ter rušila biološko ravnovesje (Kutnar in Kobler, 2013).

Kutnar in Pisek (2013) v svoji raziskavi tujerodnih in invazivnih vrst v gozdovih Slovenije navajata, da je robinija z 0,60 % celotne lesne zaloge v slovenskih gozdovih najbolj razširjena med vsemi tujerodnimi drevesnimi vrstami v Sloveniji.

Najpogosteje robinijo najdemo v sredozemskem in panonskem svetu, v splošnem pa raste po nižinah in gričevju do okrog 600 m. n. v. (Brus, 2004).



Slika 7: Prikaz deleža invazivne robinije po gozdnogospodarskih območjih Zavoda za gozdove Slovenije glede na podatke iz leta 2011 (povzeto po Kutnar in Kobler, 2013).

2.1.6. Vloga v ekosistemi

Zaradi oteženega zatiranja (rast poganjkov iz panjev in korenin), se razrašča v avtohtono rastlinstvo in postaja nadležna. Ker je zaradi zgoraj omenjene porabe mineralov njena skorja bogata z mineralnimi snovmi, je posekana debela priporočljivo olupiti že v gozdu in skorjo pustiti na tleh. Pomembna je zaradi bogatenja tal z dušikom, saj živi v simbiozi z bakterijami *Rhizobium*, ki imajo sposobnost presnove zračnega dušika in vezave le tega v tla (Brus, 2004). V gozdarstvu jo uporabljajo za zaščito ogolelih tal, utrjevanje hudournikov in za stabiliziranje prodišč ter melišč. Uporabna je predvsem kot predrast (predkultura), kasneje pa jo je potrebno odstraniti ali pa nadzorovati njeno rast (Kutnar in Kobler, 2013; Brus, 2004; Wraber, 1951).

2.1.7. Uporabnost

Njen les je kakovosten: trden, težek, elastičen, lep in trajen (Slika 8). Uporabljajo ga kot gradbeni les, na primer za železniške pragove in kot jamski les (ob obremenitvi glasno poka). Primeren je tudi za ročaje orodij, gradnjo mostov, ladij, sodov in za kurjavo, saj daje kakovostno oglje. Prav zaradi trdote in obarvanosti je les primeren za parket. Njen les je primeren tudi za vodno gradnjo, vrtno pohištvo, za športno orodje, kole za ograje itd. Iz robinjinega cvetja pridobivamo tudi veliko medu (Torelli, 2002).



Slika 8: Les navadne robinije v prečnem prerezu (Wikipedia, 2003)

Je ena izmed najbolj medonosnih drevesnih vrst. Ljudje lahko mlada socvetja uživamo presna ali ocvrta in iz njih pridobivamo različne pijače. Znane so tudi nekatere njene zdravilne lastnosti kot antispazmodik, purgativ, laksativ in emetik (Petauer, 1993). S praženjem njenih semen lahko pripravimo tudi kavni nadomestek (Brus, 2004).

2.1.8. Nevarnosti

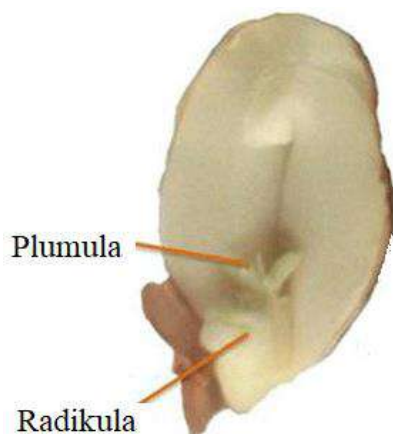
Skorja in semena robinije so strupeni zaradi vsebnosti albumin robina in fazina, ki povzročata zlepljanje eritrocitov. Stopnja njene strupenosti je odvisna od letnega časa in rastiščnih razmer. V mestih so drevesa robinije s svojimi koreninami dvigujejo tlakovane površine in predstavljajo nevarnost zaradi svoje krhkosti (predvsem stara drevesa) (Marinšek, idr., 2022).

2.2 Zgradba korenin semenk

Korenine so organ, katerega najvažnejše funkcije so pritrjevanje rastline v zemljo, črpanje vode z raztopljenimi hranilnimi snovmi iz zemlje in njihovo prevajanje v steblo (Krajnčič, 2001). V njih se lahko sintetizirajo snovi, kot so rastlinski hormoni giberelini in citokinini ter določene aminokisliline. Služijo tudi kot založni organ za rezervne snovi, kot na primer ogljikove hidrate (Reece, idr., 2020).

2.2.1. Razvoj korenin - semenke

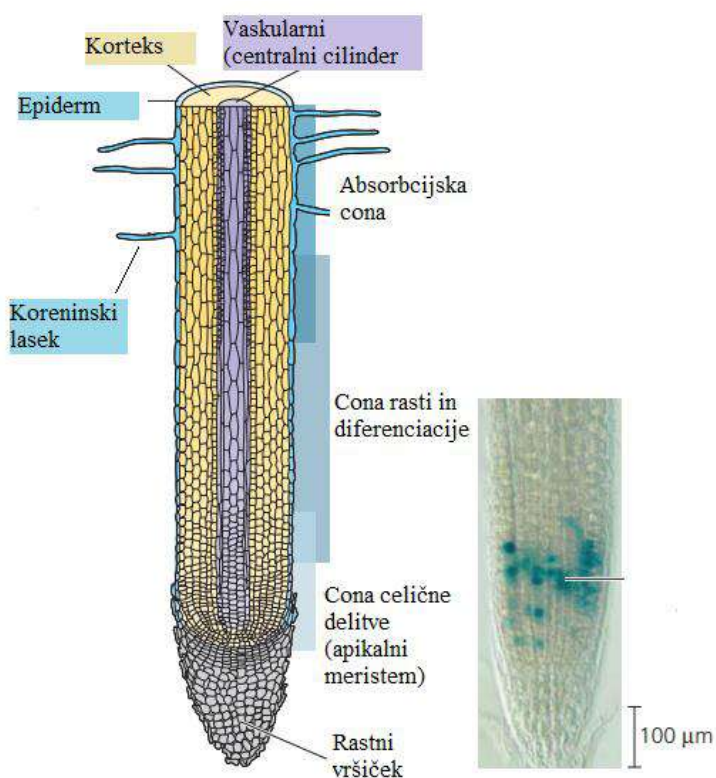
“Kalček semenk je bipolaren, ker ima plumulo in radikulo” (Krajnčič, 2001). Pri dvokaličnicah je plumula struktura, iz katere kasneje zraste steblo, iz radikule pa korenine.



Slika 9: Plumula in radikula kalčka (Kumar, 2017)

Nastali koreninski sistem je sestavljen iz glavne korenine, stranskih korenin in koreninic, kar imenujemo alorizija (nastanek morfološko različnih korenin) .

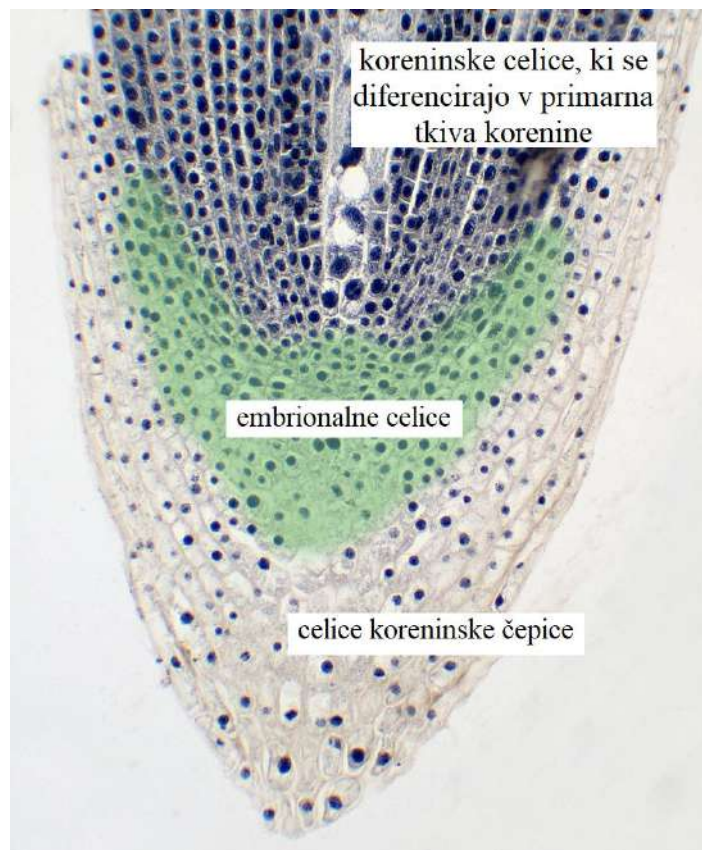
Pri enokaličnicah iz plumule prav tako nastane steblo, iz radikule pa se razvije glavna korenina, ki kasneje zakrni. Iz stebela zrastejo nadomestne ali adventivne korenine. Ta način nastanka sekundarno enakih nadomestnih korenin se imenuje sekundarna homorizija (Krajncič, 2001).



Slika 10: Korenina in njeni deli (povzeto po Reece, idr. 2020)

2.2.2 Rastni vršiček korenine

V vzdolžnem prerezu je rastni vršiček korenine dolg največ 1 mm, sestavljajo pa ga embrionalne celice. Te navzdol producirajo celice koreninske čepice, navzgor pa koreninske celice, ki se razvijejo v primarna tkiva korenine. Celice koreninske čepice ščitijo korenino med prodiranjem skozi zemljo, tako da na koncih postanejo okrogle in sluzaste (Rovira idr., 1979). S tem zmanjšajo trenje pri prodiranju. Ker se celice koreninske čepice zaradi prodiranja v zemljo hitro poškodujejo, se apikalni meristem korenine deli in jih obnavlja. Odpadle celice še nekaj časa ostanejo žive v zemlji in služijo kot hranila za bakterije in glive (Murphy, 2015).



Slika 11: Rastni vršiček korenine (povzeto po e-Učbeniki)

2.2.3 Cona celične delitve

V coni delitve se nahaja apikalni meristem korenine, ki proizvaja nove celice korenine in vršička (Reece, idr., 2020)

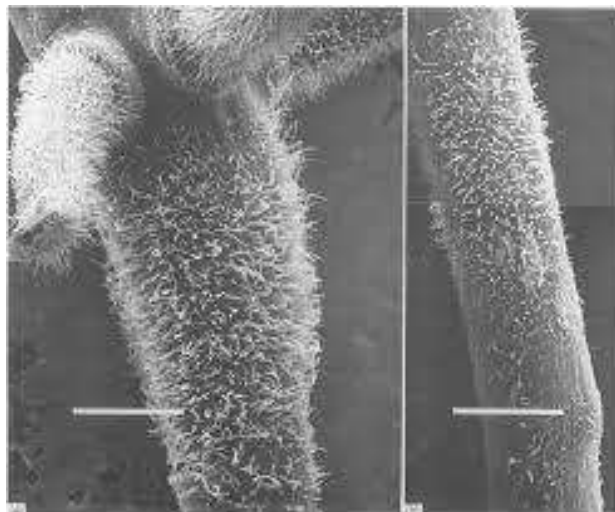
2.2.3 Cona rasti in diferenciacije

Je za rastnim vršičkom, dolga je 10 – 20 mm. V njej poteka rast in začetek diferenciacije celic v trajna tkiva (Kranjčič, 2001). Diferenciacija celic lahko vključuje tako spremembe celic v citoplazmi in organel kot v celični steni (Murphy, 2015).

V coni rasti se celice predvsem podaljšujejo in potiskajo korenino globlje v zemljo. Nekatere se začnejo specializirati za strukture in funkcije. Eden pomembnejših tipov nastalih rastlinskih celic so parenhimske celice. Te imajo tanko in prožno primarno steno, sekundarne stene pa nimajo. Izvajajo večino metabolnih procesov v rastlinskih tkivih. V koreninah imajo brezbarvne plastide, ki shranjujejo škrob. Večina parenhimskih celic ima to sposobnost, da se diferencirajo v druge tipe rastlinskih celic, na primer v primeru poškodbe rastline (Reece, idr., 2020).

2.2.4 Absorpcijska cona

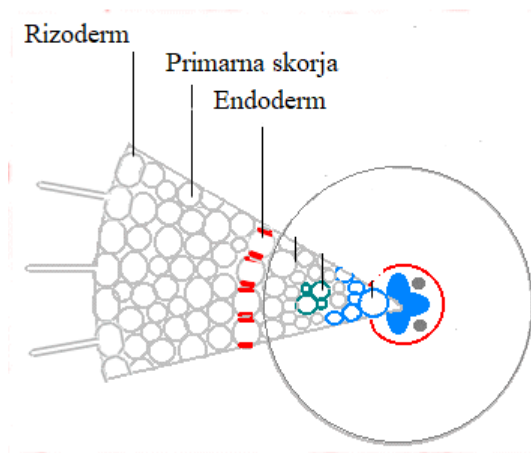
To je del korenine, v kateri so že razvita trajna tkiva in celice zaključijo diferenciacijo. Korenina je že razdeljena v primarno skorjo in centralni cilinder. Absorpcijska cona je pokrita s koreninskimi laski. Ti so enocelični, saj se razvijejo iz posamezne celice koreninske povrhnjice. Njihova naloga je prileganje ob delce zemlje in črpanje vode z raztopljenimi snovmi (Cailloux, 1972; Itoh in Barber, 1983). Prav tako povečujejo adhezijo med prstjo in okoljem (Grierson in Schiefelbein, 2002) ter služijo kot površina, na katero se pripnejo mikroorganizmi v prsti, kot na primer bakterije, ki vežejo dušik (Rougier, 1981).



Slika 12: Absorpcijska cona korenine, poraščena s koreninskimi laski (povzeto po Brady, idr., 1992)

Primarna skorja je sestavljena iz parenhimskih celic in ima dve mejni tkivi (slika 13). Površinsko tkivo je imenovano enoslojna koreninska povrhnjica ali rizoderm in nima kutikule. Drugo tkivo se imenuje endoderm. To je enoslojno mejno tkivo med primarno skorjo in centralnim cilindrom. Pri dvokaličnicah nima odebeljenih notranjih in radialnih sten, temveč ima v radialnih stenah t. i. Casparijeve trakove ali točke. Ti oplutenijo in čez čas postanejo neprepustni za vodo.

Posledično voda skozi endoderm ne more potovati z ioni skozi celične stene, ampak začne transport potekati skozi protoplaste in plazmatske membrane endodermisa. Te so selektivno prepustne, kar imenujemo simplastni transport (Krajncič, 2001).



Slika 13: Primarna skorja, omejena z rizodermom in endodermom (povzeto po Peter v. Sengbusch, 2002)

Centralni cilinder je v osnovi sestavljen iz ksilema, ki je na sredini, okoli njega pa je pas floema, točna razporeditev pa se razlikuje med rastlinskimi vrstami (Reece, idr., 2020).

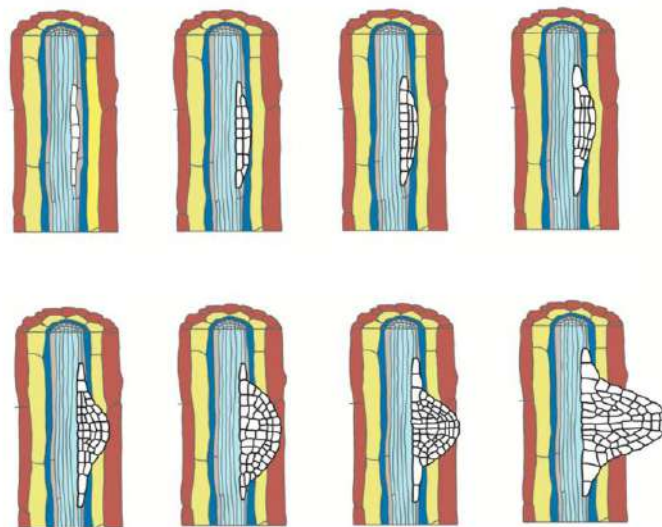
Na svoji površini ima enoslojno ali dvoslojno mejno tkivo, imenovano pericikel ali perikambij in enoslojno tkivo imenovano, endoderm. Pericikel sodeluje pri sekundarni rasti korenine, saj iz njega nastane felogen (plutni kambij), iz njega pa nastanejo tudi stranske korenine. Periderm se pri sekundarni rasti korenine odebeli v radialni smeri in tvori tkivo, ki spominja na primarno skorjo (Mickel, 2021).

2. 3. Razvoj stranskih korenin

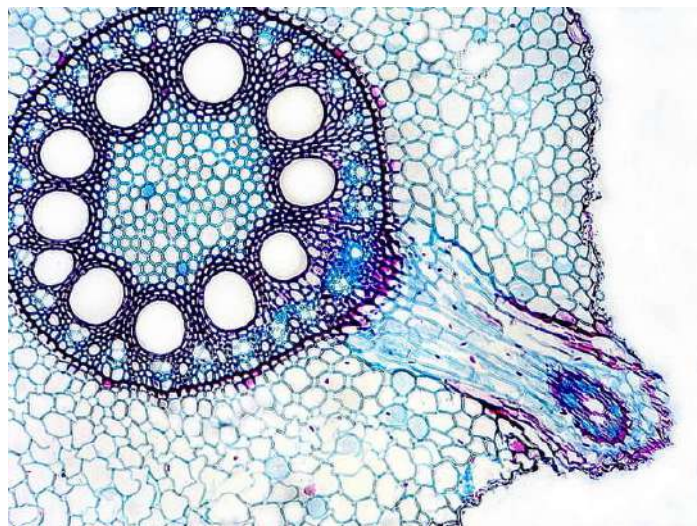
Stranske korenine nastajajo akropetalno, kar pomeni, da bolj kot so oddaljene od ravnega vršička, tem večje in močnejše so. Nastajajo endogeno, pri čemer se razlikujejo od stranskih poganjkov stebra, ki nastajajo eksogeno (Krajncič, 2001).

Rast stranske korenine se običajno prične po kalitvi semena v primarni korenini (Dubrovsky in Rost, 2003), natančneje v bližini meristemske regije, v koreninskem vršičku na notranji plasti celic pericikla (Dubrovsky in Laskowski, 2017). Začetek rasti in nastanek stranskih korenin spodbuja ter nadzira rastlinski hormon avksin (Casimiro et al., 2003).

Ko se stranska korenina začne oblikovati, prodira skozi primarno skorjo korenine (slika 15) (Krajncič, 2001).



Slika 14: Nastanek stranske korenine (povzeto po Jing in Strader, 2019)



Slika 15: (povzeto po John Bebbington, 2012)

2. 4. Sekundarna rast korenin

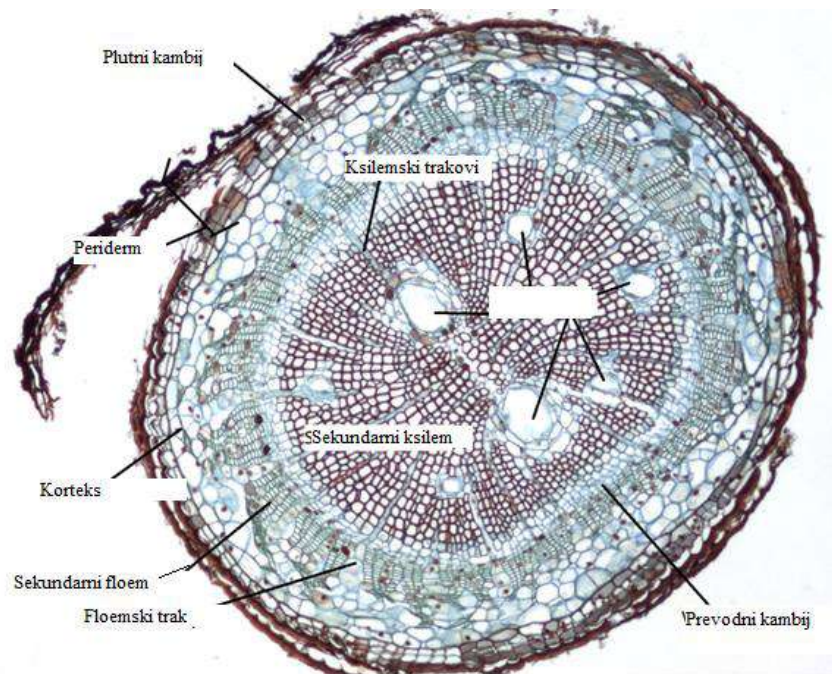
“Sekundarno se debelijo korenine golosemenk, dvokaličnic in le nekaterih enokaličnic” (Kranjčič, 2001, str. 212).

Sekundarna rast se pri dvokaličnicah kaže kot radialno debeljenje korenin. Natančneje, proces celične delitve in diferenciacije poteka v prevodnem in plutnem kambiju (Evert in Eichhorn, 2006).

Iz ksilemskega parenhima na meji s floemom se najprej razvije žilni kambij. Iz celic pericikla, ki ležijo nad ksilemskimi kraki radialne žile, se razvije medžilni kambij. Omenjena kambija se združita v sklenjen kambijski obroč, ki je na začetku zvezdaste oblike (Kranjčič, 2001). Kambijski obroč s periklinalno delitvijo svojih celic tvori sekundarni ksilem na notranji strani in floem na zunanji strani kambija. Na začetku se hitreje delijo celice žilnega kambija navznoter, ki tvorijo lesne elemente. Kambijski obroč zaradi tega dobi okroglo obliko (Kumari, 2020).

Plutni kambij pa tvori navzven zaščitno tkivo imenovano felem ali pluta (Larson, 1994; Evert in Eichhorn, 2006; Smetana idr., 2019).

Ti procesi uničijo koreninski epiderm, korteks in endoderm (Dickison, 2008).

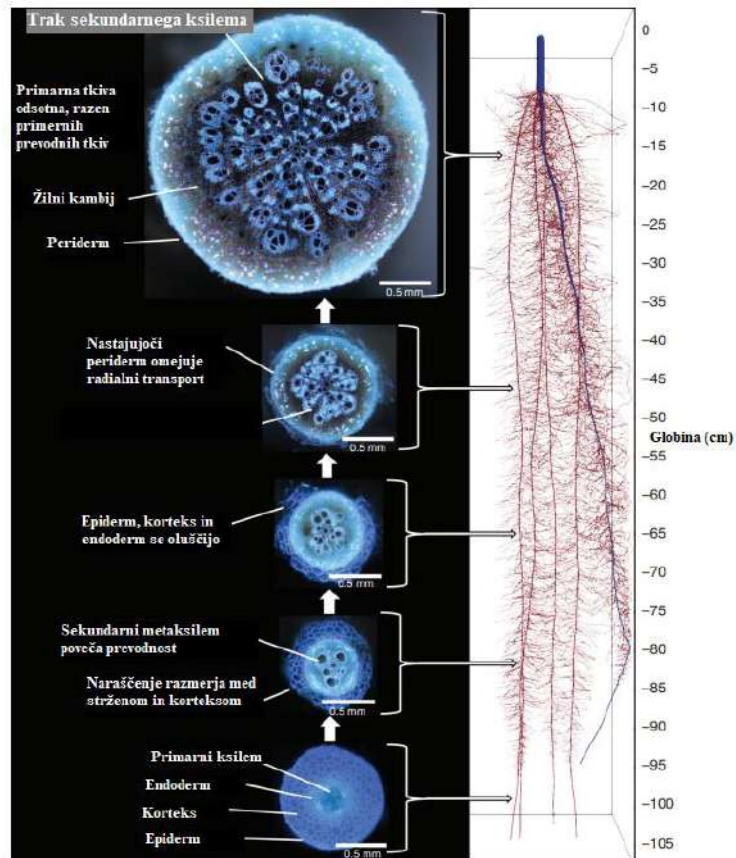


Slika 16: Sekundarna rast (povzeto po Maria Morrow, 2022)

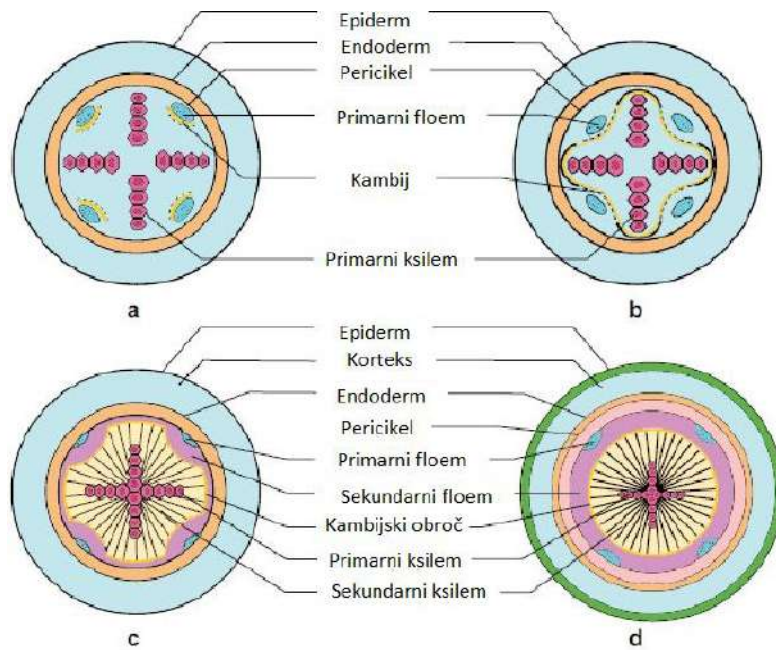
Sekundarni ksilem je sestavljen podobno kot v olesenem stebelu, in sicer iz trahej, traheid, lesnih vlaken in celic parenhima, sekundarna skorja iz sitk, celic spremljevalk, sklerenhimatskih in parenhimatskih celic. Kambijski obroč tvori tudi celice strženovih trakov, ki potekajo v radialni smeri. Ločimo primarne in sekundarne strženove trakove, prve tvori medžilni kambij, druge pa žilni kambij (Krajnčič, 2001).

Pomembna razlika med olesenelo korenino in olesenelim stebлом, ki nam omogoča njuno razlikovanje je, da je v sredini korenine radialni primarni ksilem, v sredini stebela pa centralni stržen ali pa je sredica votla (Tree dictionary, 2008).

Kot prilagoditev povečani debelini se poveča obseg prevodnega kambija. Razširi se s celično delitvijo pravokotno na površino korenine (Esau, 1965).



Slika 17: Sekundarna rast korenine (povzeto po Strock in Lynch, 2020)

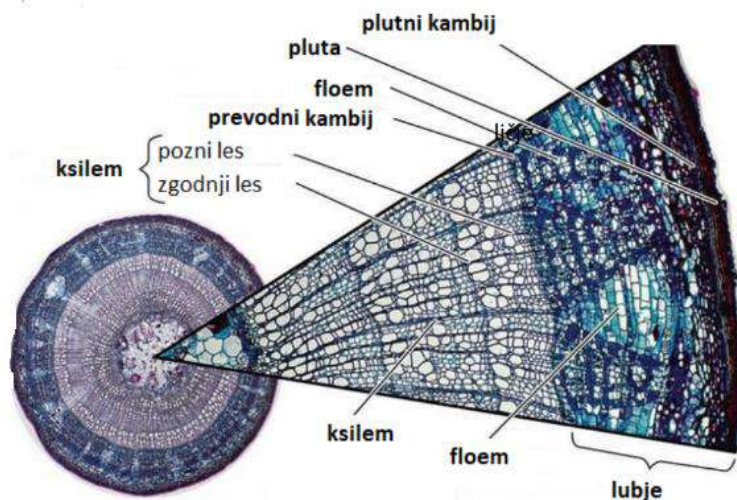


Slika 18: Sekundarna rast korenine (povzeto po Prasanna, 2021)

2.4.1. Primarna skorja korenine

Koreninska povrhnjica ali rhizodermis propade za absorpcijsko cono, namesto nje pa nastane eksodermis, ki opluteni in deluje kot krovno tkivo prevajalne cone.

Primarna skorja z eksodermisom nato začne pokati in posledično se iz pericikla ustvari felogen. Felogen je odgovoren za tvorbo plute (felem), ki povzroči odmiranje primarne skorje. Pluta nastane na zunanji strani plutnega kambija (slika 18) (Krajnčič, 2001), (Evert and Eichhorn, 2006).



Slika 19: Zgradba korenine v prečnem prerezu (povzeto po Reece, 2020)

2.4.2. Primerjava sekundarne rasti korenin in poganjkov

Korenine in poganjki so evolucijsko imeli različne vloge, zato njihovo sekundarno rast težko natančno primerjamo (Bastos idr., 2016). Naloga korenin je prodirati skozi prst, tekmujejo za hranila v okolju, polnem rastlinskih patogenov in rastlinojedcev. Nekatere korenine oblikujejo simbiotske odnose, kot na primer z bakterijami *Rhizobium* ali v mikorizi. Med tem ima steblo nekoliko drugačne naloge, primarne so transport snovi in podpora. Prav tako je izpostavljeno patogenim organizmom. Posledično se anatomska zgradba stebela in korenine razlikuje (Strock in Lynch, 2020).

Tkivo stebela ima precej tanek korteks, s ksilemom in floemom organiziranimi v žilnih skupkih. Obdajata centralni stržen, sestavljen iz parenhimskih celic. Ko se steblo razvija, nastane

medžilni kambij (med žilnimi skupki), ki tvori sekundarno sekundarno telo stebela (Altamura idr., 2001; Agusti idr., 2011).

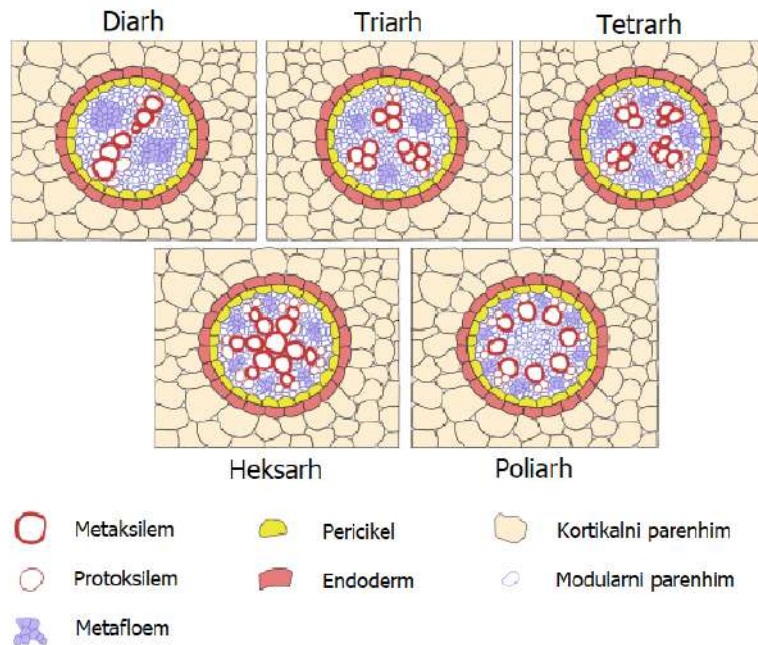
V nasprotju s stebлом imajo korenine več korteksa v primarnem delu. Kjer je v stebelu stržen, so pri koreninah centralno razporejene žile ksilema (traheje), obdane s floemom. Pri koreninah ni žilnih skupkov, ko pa v korenini poteka sekundarna rast, žilni kambij producira sekundarni ksilem in floem (Strock in Lynch, 2020).

2.5. Anatomske strukture primarnega ksilema korenin

Primarni ksilem korenin je sestavljen iz protoksilema in metaksilema. Protoksilem ima manjše celice, diferencira pa se v mladem koreninskem tkivu, bližje koreninskemu meristemu. Njegove celice se nahajajo na zunanji strani ksilemskega tkiva. Celice metaksilema se diferencirajo kasneje, so manjše in se nahajajo na notranji strani ksilemskega tkiva (Dermastia, 2007).

Tovrstna razporeditev proto- in metaksilema se imenuje eksarhna razporeditev. Protoksilem se v korenini z eksarhno ureditvijo razvija kot serija stolpcev (arhov) celic, zunaj ksilemskega cilindra. Najpogosteje se tvorijo trije ali štirje stolpci. Takrat korenine imenujemo triarhna korenina oziroma tetrarhna korenina. Lahko so sestavljene tudi iz enega stolpca (monoarhna korenina), dveh (diarhna korenina), petih (pentarhna korenina), šestih (heksarhna korenina), v primeru, ko pa ima več kot šest stolpcev, jo imenujemo poliarhna korenina.

Med endodermisom in floemom se nahaja tudi pericikel. (Dermastia, 2007).



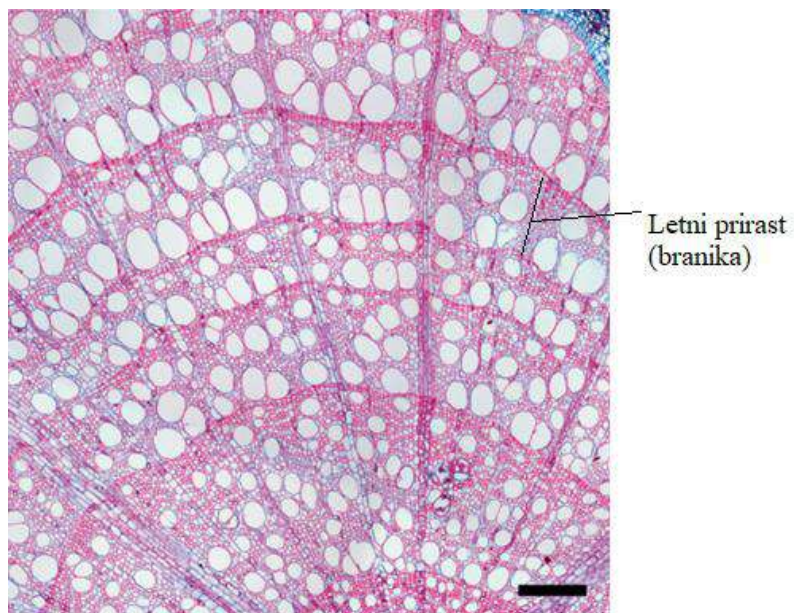
Slika 20: Anatomske strukture primarnega ksilema

2.6. Anatomske strukture sekundarnega ksilema korenin

2.6.1 Razvidnost in prisotnost branik

Branike so letni prirast lesa, ki zajema en krog svetlega, redkejšega lesa, ki nastaja spomladi, in en krog temnega, gostejšega lesa, ki nastaja pozno poleti ali jeseni. Razvidne so, kadar zaznamo nenadno strukturno spremembo na mejah med njimi. Običajno je prisotna tudi sprememba v debelini celične stene/radialnem premeru tkiv.

Do pojava branik pride zaradi neenakomernih pogojev rasti lesa med vegetacijsko dobo. Spomladi, ko je vlage v tleh več, nastajajo širši prevodni elementi, poleti, ko je vlage v tleh manj, pa ožji prevodni elementi. Branike niso vidne ali slabo vidne, kadar so meje med njimi nejasne ali neobstoječe. Lahko so tudi uklinjene, kar pomeni, da se dve ali več zlijeta v eno.



Slika 21: Branika ali letni prirast (povzeto po Mrak in Gričar, 2016)

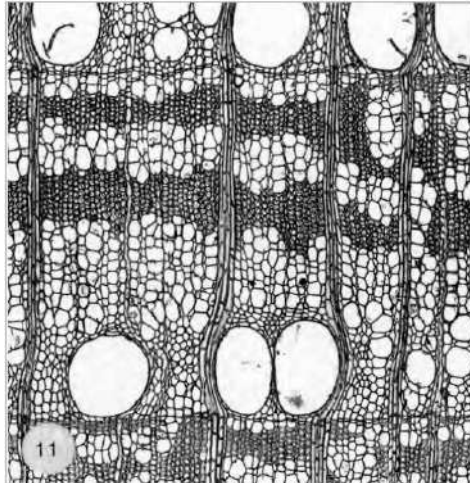
2.6.2 Traheje

Celice trahej so običajno širše, krajše in imajo tanjšo steno kot traheide. Celice se stikajo s konci in tvorijo traheje. Njihove sekundarne stene vsebujejo lignin. Dodatna ojačitev z ligninom zagotavlja podporo tkivom ter preprečuje propad pod pritiskom vode med transportom.

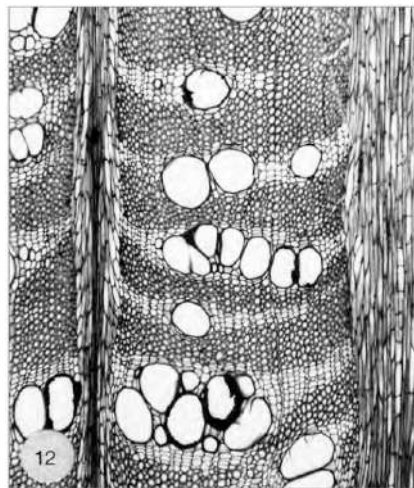
V končnih stenah imajo perforacijske ploščice, ki omogočajo pretok vode v trahejah (Reece, idr., 2020).

Traheje so v lesu lahko razporejene v različnih vzorcih, pojavljajo pa se posamično ali pa v skupinah. Glede na razporeditev ločimo tangencialne, diagonalne/radialne in dendritične pasove. Kadar določamo razporeditev v venčasto poroznem lesu, upoštevamo le pozni les (Wheeler idr., 1989).

Traheje v tangencialnih pasovih so usmerjene pravokotno na trakove, posledično tvorijo kratke ali dolge tangencialne pasove (Slika 22 in 23). Ti so lahko ravni ali valoviti (Mrak in Gričar, 2016).

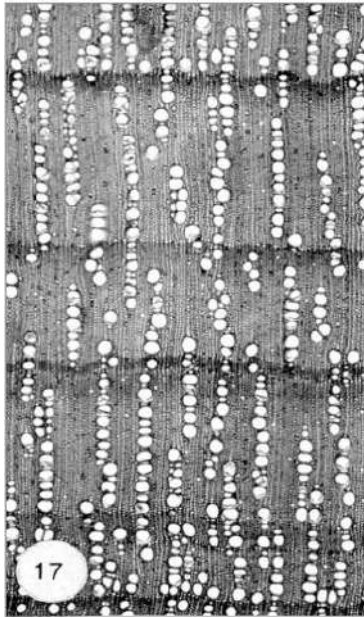


Slika 22: Traheje v tangencialnih pasovih (povzeto po I.W. Bailey, 1989)

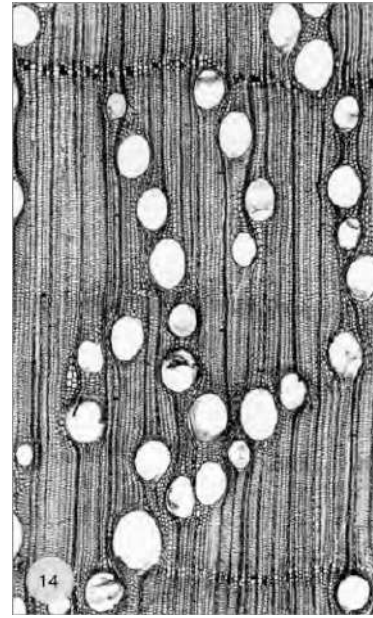


Slika 23: Traheje v tangencialnih pasovih (povzeto po P.E. Gasson, 1989)

Traheje v diagonalnih in/ali radialnih vzorcih so razporejene radialno (Slika 24) ali v vmesni poziciji med tangencialnim in radialnim, kar z drugimi besedami imenujemo diagonalno (poševno) (Slika 25) (Mrak in Gričar, 2016).

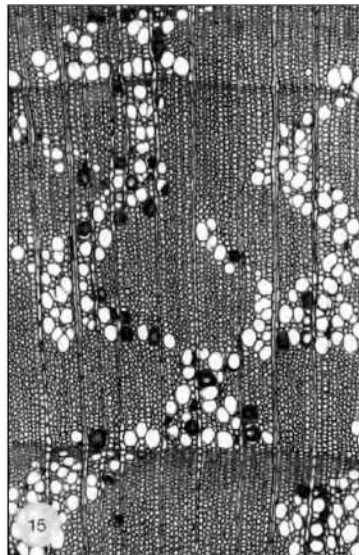


Slika 24: Traheje v radialnih pasovih (povzeto po E. A. Wheeler, 1989)



Slika 25: Traheje v diagonalnih vzorcih

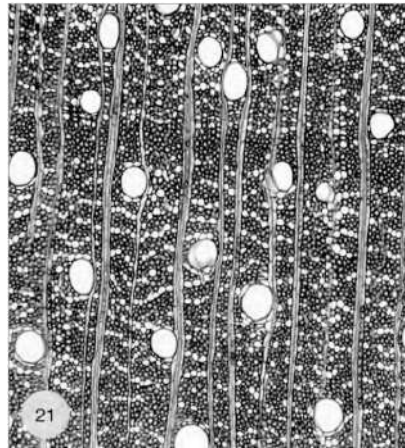
Traheje v dendritičnih vzorcih so razporejene v razvejanem vzorcu, ki je obdan z vmesnimi prostori brez trahej (Slika 26) (Mrak in Gričar, 2016).



Slika 26: Traheje v dendritičnem vzorcu (povzeto po D. Grosser, 1989)

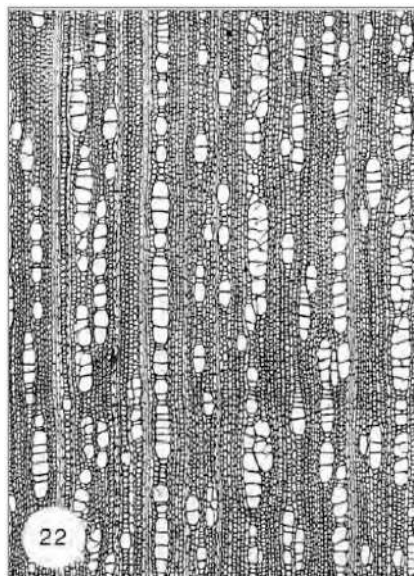
Glede na število trahej ločimo posamične traheje, traheje v radialnih večkratnikih in traheje v skupkih.

Kadar je 90% ali več trahej popolnoma obkroženih z drugimi elementi sekundarnega ksilema, pravimo da so traheje izključno posamične (Slika 27) (Mrak in Gričar, 2016).



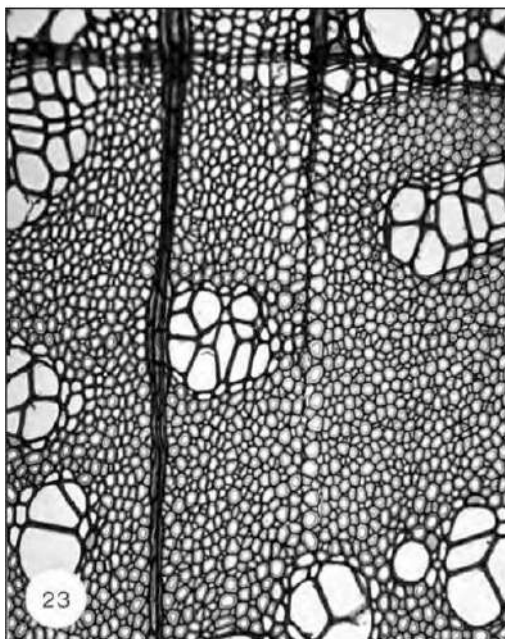
Slika 27: Izključno posamične traheje (povzeto po P. E. Gasson, 1989)

Traheje v radialnih večkratnikih (po štiri ali več), tvorijo radialne stolpce štirih ali več sosednjih trahej, ki so gosto razporejene (Slika 28) (Wheeler idr., 1989).



Slika 28: Traheje v radialnih večkratnikih (povzeto po K. Ogata, 1989)

Traheje v skupkih/grozdih, so traheje v skupinah po tri ali več in imajo tako radialni, kot tangencialni kontakt. Prav tako so gosto razporejene (Slika 29) (Wheeler idr., 1989).



Slika 29: Traheje v skupkih (povzeto po E. A. Wheeler, 1989)

2.6.3 Poroznost

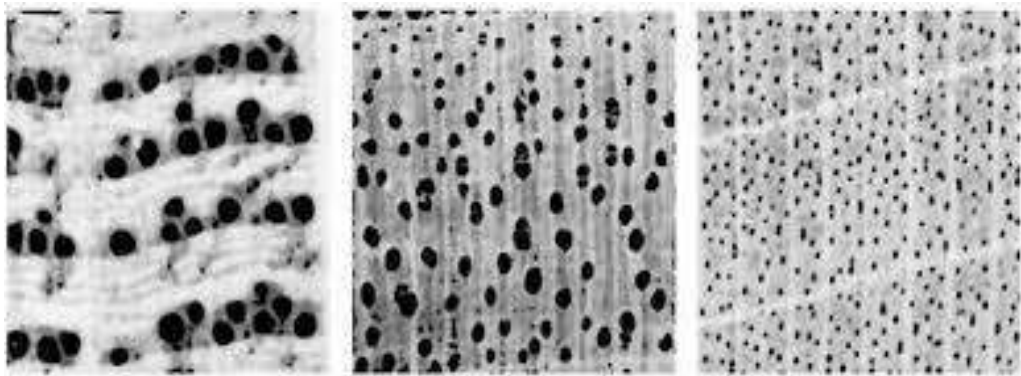
V olesenelem delu prepoznamo tri tipe poroznosti: venčasto porozen les, polvenčasto porozen les in raztreseno porozen les (Slika 30).

Pri venčasto poroznem lesu so traheje zgodnjega lesa opazno večje od tistih v poznem lesu. Traheje ranega lesa so na prečnem prerezu makroskopsko vidne (Batič, Košmrlj, 2011, str. 650). Opazen je nenaden prehod na pozni les iste branike (Mrak in Gričar, 2016).

Polvenčasto porozen les se pojavlja v dveh oblikah.

- a) Les, pri katerem so traheje ranega lesa opazno večje od tistih v kasnem lesu prejšnjega obroča, vendar je prisoten postopni prehod do ožjih trahej v kasnem lesu iste branike (Mrak in Gričar, 2016).
- a) Les z vidnim obročem, sestavljenim iz tesno skupaj razporejenih trahej ranega lesa. Le te niso opazno večje od trahej kasnega lesa predhodne branike ali istega branike (Mrak in Gričar, 2016).

Pri raztreseno poroznem lesu imajo v isti braniki traheje običajno enak premer.



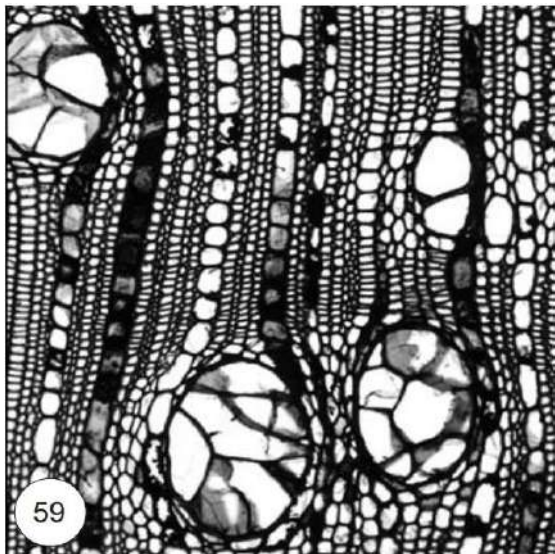
Slika 30: Venčasto porozen les (levo), polvenčasto porozen les (sredina), raztreseno porozen les (desno)

Nekatere drevesne vrste prehajajo med raztreseno poroznim in polvenčasto poroznim tipom ali pa med venčasto poroznim in polvenčasto poroznim. Pri koreninah se vzorec poroznosti velikokrat razlikuje glede na to, koliko je določen del korenine oddaljen od debla (Rewald idr., 2012).

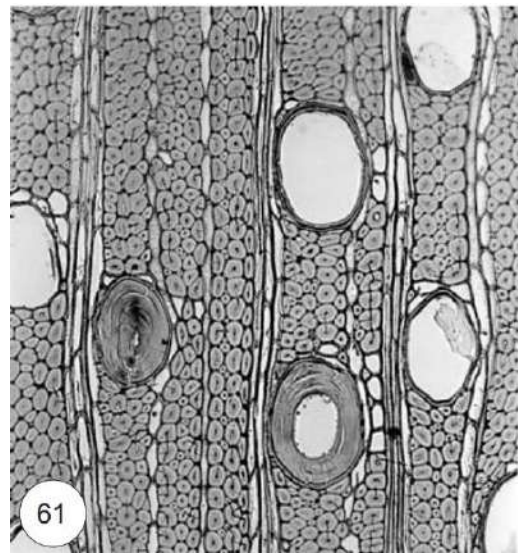
2. 6. 4 Prisotnost til

Tile so mehurjaste tvorbe v trahejah, ki nastanejo z vraščanjem parenhimskih celic trahej skozi piknje. Nastanejo pri ojedritvi lesa, mehanskih poškodbah, napadu škodljivcev in boleznih, s čimer se preprečuje širjenje infekcij v starejšem lesu, predvsem z glivami (Slika 31 in 32) (Botanični terminološki slovar).

Blokirajo pretok vode, kar je lahko za rastline tudi koristno, saj s tem zmanjšuje izgube vode. Posebna vrsta til so t.i. sklerotizirane tile (Slika 32), ki imajo večplastne, odebeljene, olesenele stene (Wheeler idr., 1989).



Slika 31: Tile (povzeto po E.A. Wheeler, 1989)



Slika 32: Sklerotizirane tile (povzeto po K. Ogata, 1989)

2.6.5 Trakovi sekundarnega ksilema

Ksilemski trakovi so plasti parenhimskih celic, ki so lahko tudi sklerotizirane. Potekajo radialno na notranji strani kambija. Celice so vertikalno daljše kot široke, zato rečemo, da so pokončne. Kadar so v radialni smeri daljše kot široke, jih imenujemo ležeče celice. Kadar so enako široke in visoke, jih imenujemo kvadratne celice.

Na podlagi opisanih oblik celice določimo, ali je trak homogen (homoceličen) ali heterogen (heteroceličen). Trakovi, ki so sestavljeni samo iz ležečih celic, so homogeni, če pa so zraven ležečih celic prisotne tudi pokončne in/ali kvadratne celice, so trakovi heterogeni (Carlquist, 1988).

Glede na to, koliko celic je prisotnih v prečnem prerezu traku, ločimo uniseriatne trakove, ki v širino obsegajo eno celico, in multiseriatne, ki v najširši točki traku obsegajo dve ali več celic. Pri opisovanju anatomskih struktur lesa ali korenin običajno navedemo podatke o širini in višini trakov, ali so uniseriatni ali multiseriatni in njihovo pogostost (Carlquist, 1988).

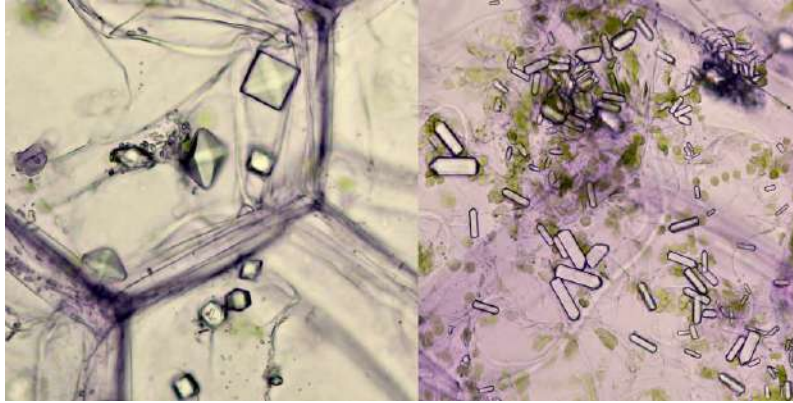
2.6.6 Prisotnost kristalov

Kristali se pogosto pojavljajo v sekundarnem ksilemu. Razlikujejo se po velikosti, obliki in številčnosti, ter glede na to, v katerem tkivu so prisotni (Richter in Schmitt, 1987).

Domnevno je primarna vloga kristalov kopičenje in shranjevanje kalcija, vendar kljub temu, da je kalcij rastlinam dostopen v naravnem okolju in pogojih, ga lahko rastlina izkoristi le v določenih razmerah. To je posledica nizke mobilnosti kalcija pri floemski translokaciji (New Phytologist, 2019).

Nekatere druge možne funkcije so regulacija količine kalcija, homeostaza, obramba pred rastlinojedci in razstrupljanje težkih kovin ter vir CO₂ za fotosintezo, ki sta posebnost določenih vrst (Tooulakou idr., 2016), (Franceschi in Nakata, 2005; Pongrac idr., 2018).

Prizmatični kristali, ki so najpogostejši tip kristalov, so samostojni kristali romboedrične ali oktaedrične oblike (Slika 33, levo). Sestavljeni so iz kalcijevega oksalata (CaO_x). Prisotni so lahko v celicah trakov, parenhimskih celicah in v vlaknih. Poznamo tudi nekatere druge tipe kristalov, kot so družice, rafidi, stiloidi, kristalni pesek ... (Mrak in Gričar, 2016).

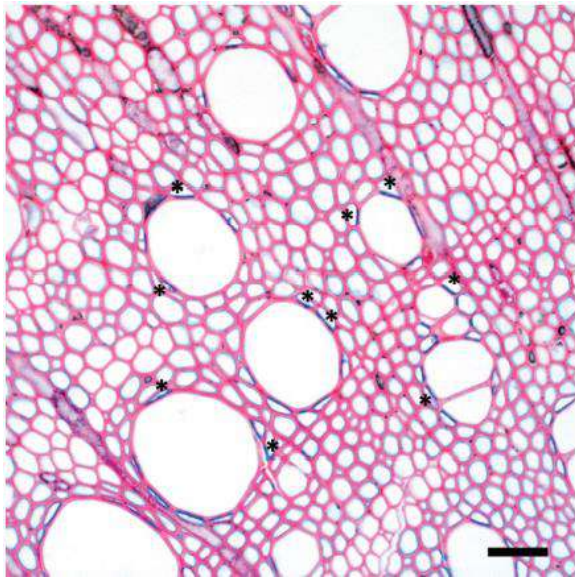


Slika 33: Prizmatični kristali (levo) in stiloidi (desno) (povzeto po Vossen, 2021)

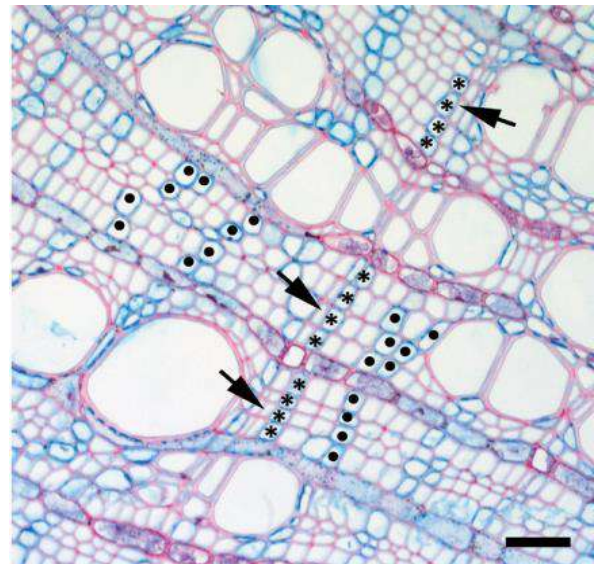
2.6.7 Aksialni parenhim

Žive parenhimske celice, ki se pojavljajo med odmrliimi celicami sekundarnega ksilema in izvirajo iz kambija, imenujemo aksialni parenhim. Ima založno in transportno funkcijo. Celice aksialnega parenhima se lahko nahajajo na različnih mestih in tvorijo različne vzorce (pasovi, difuzna razporeditev, ipd.). Imajo tanko steno in so ključnega pomena za preskrbovanje parenhimskih celic na območju letnega prirastka s hranilnimi snovmi (University of Florida, 2015).

Aksialni parenhim je veliko bolj pogost pri listavcih kot pri iglavcih. Lahko se pojavlja difuzno (Slika 35, ●), kadar je enakomerno razporejen čez cel letni prirast, ali pa marginalno (Slika 35, *), kadar ločuje zadnjo vrstico poznega lesa in prvo vrsto zgodnjega lesa. Lahko se nahaja tudi ob trahejah, kar imenujemo paratrahelani aksialni parenhim (Slika 34) (Mrak in Gričar, 2016).



Slika 34: Paratrahealni aksialni parenhim (* zvezdice) (povzeto po Mrak in Gričar, 2016)



Slika 35: Aksialni parenhim razporejen difuzno (• pike) in marginalno (* zvezdice) (povzeto po Mrak in Gričar, 2016)

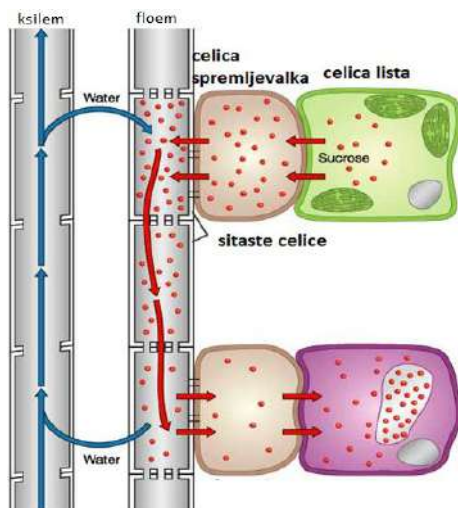
2.7 Anatomske strukture skorje korenin

2.7.1 Floem

Floem je sestavljen iz parenhima in sklerenhima. Sklerenhim se pojavlja v obliki vlaken, parenhim pa predstavljajo sekretorne ali založne celice. Med tkivi so žive prevodne celice s tanko celično steno (Dermastia, 2007). Imenujemo jih celice sitastih cevi in sestavljajo sitaste cevi, po katerih se prenašajo sladkorji in drugi nutrienti. Med celicami so sitaste ploščice (Reece, idr., 2020).

Celice sitastih cevi nimajo jedra, vakuole in ribosomov. Mitohondrijev imajo malo, ohranijo pa celično membrano in posebne plastide. Njihovo delovanje uravnava celice spremljevalke, ki imajo vse celične organe. Celica sitaste cevi in njena celica spremljevalka sta povezani z večimi plazmodezmami (Esau, 1973) .

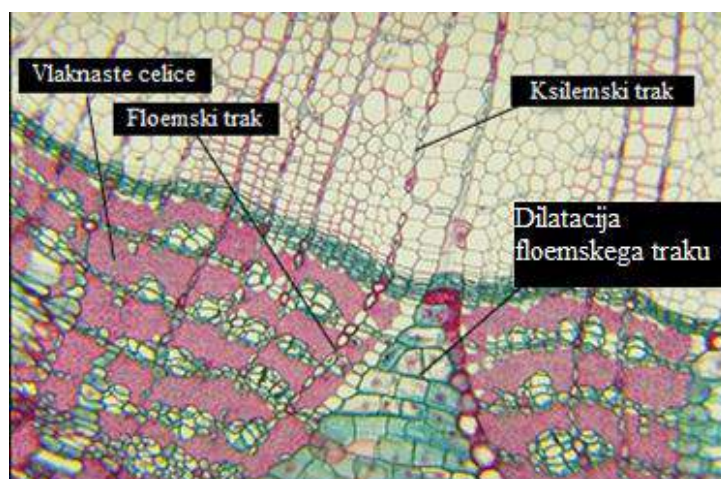
V sitastih ceveh se med dvema celicama oblikuje sitasta pora, skozi katere poteka floemski tok (Belušič, D. Koce, idr., 2019).



Slika 36: Ksilemske in floemske cevi (povzeto po Hajeri in Yokomi, 2020)

2.7.2 Floemski trakovi

So trakovi, ki se iz sekundarnega ksilema nadaljujejo v skorjo. Včasih se celice trakov v skorji povečajo ali pa se namnožijo. Trak dobi klinasto obliko, kar imenujemo dilatacija (Slika 37) (Mrak in Gričar, 2016).



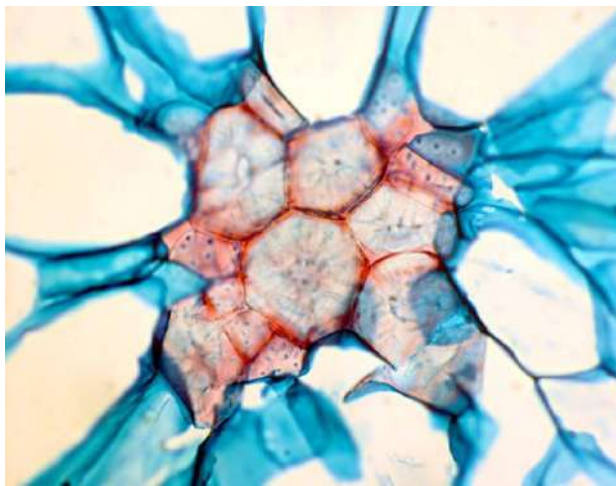
Slika 37: Floemski trakovi (povzeto po Miami University, 2019)

2.7.3 Vlakna in sklereide

Oba navedena tipa celic sta ob zrelosti odmrta, njuna naloga pa je zagotavljanje opore rastlinskim vegetativnim tkivom. Zanju je značilno, da imata v svojih stenah veliko lignina in celuloze (60%-80%).

Sklerenhimske celice se ne morejo podaljševati, zato so prisotne v delih tkiv, ki se več ne podaljšujejo. Preden protoplast (živi del celice) odmre, proizvedejo sekundarno steno. Zaradi dodatne trdnosti, ki jo zagotavlja sekundarna stena služijo za podporo. Trdne stene ostanejo v funkciji skeleta in lahko rastlino podpirajo tudi več stoletij (Reece, idr., 2020).

Vlakna so podaljšane celice, ki jih lahko najdemo v stebelu, koreninah ali listih. Sklereide so celice nepravilnih kroglastih oblik, ki imajo močno odebeljene in olesenele (vsebujejo lignin) sekundarne celične stene. Prepoznamo jih po kanalčkih ali piknjah, skozi katere potekajo plazmodezme, ki omogočajo pretok snovi med sosednjimi celicami. Njihov lumen je zmanjšan. Najdemo jih v lupinah orehov, koščicah, v obliki zrn (izodiametričnih kamenih celic) pa se pojavljajo tudi v plodovih hrušk (Carrillo-López in Yahia, 2019).



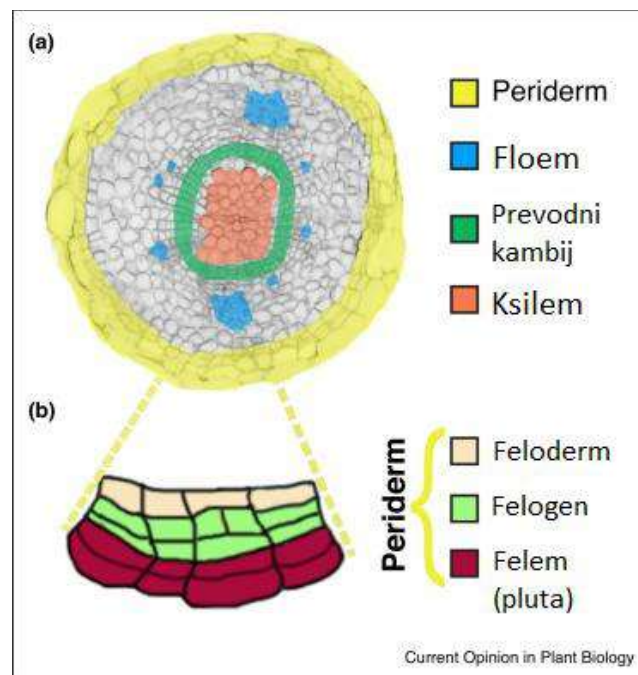
Slika 38: Sklereide (povzeto po University of Florida, 2020)

2.7.4 Periderm

Periderm je “sekundarno krovno tkivo, ki se razvije namesto primarnih krovnih tkiv na deblu ali olesenelih koreninah, redkeje na primarno odebeljenih steblih ali koreninah” (Botanični terminološki slovar). Glavna funkcija periderma je zaščita rastline (Batoool, 2017).

Sestavljen je iz treh tkiv: felogena (plutni kambij), felema (pluta) in feloderma (plutnega parenhima) (Williams, 2019). Felem nastane iz felogena v smeri proti zunanosti in običajno obsega več slojev celic. Tudi feloderm nastane iz felogena, vendar v smeri proti notranjosti, obsega pa eno ali nekaj plasti celic (Crang, idr., 2018).

Tako kot v sekundarnem ksilemu, se tudi v skorji lahko nahajajo kristali različnih oblik. Najdemo jih lahko v peridermu, periciklu (ostanek primarnega tkiva, katerega celice se namnožijo) ali sekundarnem floemu (Mrak in Gričar, 2016).



Slika 39: Sestava periderma (povzeto po Williams, 2019)

3. METODE DE LA IN MATERIAL

3.1 Pridobivanje vzorcev korenin

3.1.1 Material

Pri postopku pridobivanja vzorcev smo uporabili sledeči material:

- manjša lopata
- kljunasto merilo
- škarje za obrezovanje dreves
- ravnilo
- 9-krat 15 mL 70% etanola
- 12 centrifugirk prostornine 15 mL
- 3 centrifugirke prostornine 50 mL
- voda
- olfa nož



Slika 40: Kljunasto merilo



Slika 41: Centrifugirka (15 mL)

3.1.2 Postopek pridobivanja vzorcev korenin

Vzorci korenin smo pridobili na treh različnih lokacijah (natančneje opisane v nadaljevanju), z namenom, da bi zajeli morebitno variabilnost anatomskih struktur zaradi različnih rastnih razmer na različnih lokacijah. Na vseh lokacijah smo nabrali vzorce debeline 1 mm, 3 mm in 5 mm, s čimer smo želeli zajeti različne razvojne stadije korenin.

Pri pridobivanju vzorcev je ključna zanesljiva identifikacija nadzemnih delov vrste, kar v tem primeru ni predstavljalo težave, saj je vrsto precej enostavno prepoznati. Pri tem smo natančno sledili sistematskim značilnostim, ki smo jih opisali zgoraj.

Pri izkopavanju smo sledili korenini, za katero smo bili prepričani, da pripada izbranemu drevesu. Pri izkopavanju smo uporabili manjšo lopatko ali motiko. Nato smo s kljunastim merilom izmerili korenino, da smo se prepričali o ustrezni debelini (1 mm, 3 mm in 5 mm). S škarjami za obrezovanje dreves smo korenino odrezali. Pri iskanju tanjših delov korenine smo nekatere tudi previdno izpulili. Nabrane korenine smo v zaprtem prostoru očistili odvečne prsti. Nato smo korenine z olfa nožem narezali na koščke zelenega premera in dolžine. Pri določanju premera smo si ponovno pomagali s kljunastim merilom, dolžino smo izmerili z navadnim ravnilom. Korenine s premerom 3 in 5 mm smo narezali na 0.5 cm dolge koščke, tiste s premerom 1 mm pa na nekoliko daljše.

Narezane koščke smo fiksirali v 70% etanolu v predhodno pripravljenih in označenih centrifugirkah (15 mL). Vzorce v centrifugirkah smo ločili po lokacijah in debelinah koščkov korenin. Lokacije smo označili z oznakami L1 (lokacija 1), L2 (lokacija 2) in L3 (lokacija 3). V vsako centrifugirko smo dali 4-7 koščkov, da smo imeli pri nadaljnjem delu možnost izbire med najboljše ohranjenimi vzorci z najmanj poškodb skorje, ki je zelo rahla.



Slika 42: Izkopavanje korenin 1 (lastni vir)



Slika 43: Izkopavanje korenin 2 (lastni vir)

3.1.2.1 Lokacija 1

Lokacija številka se nahaja na Doliču v občini Destričnik. Na lokaciji je bilo prisotnih nekaj lesnatih vrst (navadni jesen, navadni kostanj in oreh), veliko grmovnih vrst (črni bezeg, rdeči dren, robida, navadni bršljan) in zelnatih vrst (navadni jagodnjak, različne vrste trav...). Tip prsti je peščeno ilovnata prst.

Lega lokacije je prisojna, vzorci so bili nabrani na travniku ob poljedelskih površinah.

Vzorci z lokacije 1 so bili nabrani 16. novembra.



Slika 44: Lokacija 1 (lastni vir)



Slika 45: Podrast na lokaciji 1 (lastni vir)



Slika 46: Podrast na lokaciji 1 (lastni vir)

3.1.2.2 Lokacija 2

Lokacija številka 2 se nahaja v bližini Gozdarskega inštituta Slovenije, na obrobju griča Rožnika v Ljubljani.

Rožnik je poznan po svoji rdeči ilovnati zemlji, zaradi katere mu je bilo prvotno nadeno ime Rusovec (Smrekar, Erhartič, Šmid Hribar, 2011).

Gozd tega območja je mešan, zaradi njegove lege v mestu ga obravnavamo ga kot urban gozd. Podnebje tega območja je celinsko, največ padavin zapade v poletnih in jesenskih mesecih, povprečna letna količina padavin je približno 1350 mm, povprečna letna temperatura pa 9,7° C (Kermavnar, 2015).

Vzorci z lokacije 2 so bili nabrani 23. septembra.

3.1.2.3 Lokacija 3

Lokacija številka 3 se nahaja v Rušah v bližini reke Drave, ob gozdnem robu mešanega gozda, v katerem prevladujejo listavci in mladi iglavci. Lega je osojna/prisojna. Površine ob gozdnem robu so namenjene pašni živinoreji, delno pa so poseljene.

Okoli vzorčenega drevesa raste nizka in visoka podrast - praproti, bršljan, robidovje in mlada drevesa.

Vzorci iz lokacije 3 so bili nabrani 19. novembra.



Slika 47: Podrast na lokaciji 3 (lastni vir)



Slika 48: Praprotna na lokaciji 3 (lastni vir)



Slika 49: Podrast na lokaciji 3 (lastni vir)

3.2. Priprava preparatov

3.2.1 Material

Za pripravo preparatov smo uporabili:

- vzorci korenin:
 - 3 centrifugirke z vzorci koščkov korenin premera 5 mm,
 - 3 centrifugirke z vzorci koščkov korenin premera 3 mm,
 - 3 centrifugirke z vzorci koščkov korenin premera 1 mm
- parafin v granulah
- plastične kasete za vklapljanje tkiv
- kovinski kalupi
- električno ogrevane klešče
- olfa nož
- albumin v glicerinu
- voda
- 70 % etanol
- 95 % etanol
- 100 % etanol
- objektiva in krovna stekelca
- barvili safranin in astra blue

- Euparal
- avtomatski tkivni procesor Leica TP 1020
- parafinski dispenzer Leica EG 1120
- hladilna plošča Leica HistoCore Arcadia C
- hladilnik
- steklene čaše
- Leica RM2245 rotacijski mikrotom
- vodna kopel Leica HI1210
- grelna plošča Leica HI1220

3.2.2 Postopek priprave preparatov

Pred pripravo preparatov smo preverili, ali so na nabranih vzorcih razvidne morebitne poškodbe tkiv. Na podlagi tega smo naredili ožjo izbiro vzorcev. Pred dehidracijo smo jih fiksirali v 70 % etanolu, nato pa jih dali v kasete in dehidrirali v avtomatskem tkivnem procesorju v naslednjih koncentracijah ter vrstnem redu:

1. 70% etanol (min. 1 dan)
2. 95% etanol (3 h)
3. 100% etanol (2 h)



Slika 50: Avtomatski tkivni procesor (lastni vir)

Zadnjo fazo dehidracije smo izvedli po Prislán, Martínez del Castillo, idr. (2022) in sicer po spodaj opisanem postopku. Prva faza je bila infiltracija s čistilnim topilom UltraClear za dve uri. Sledil je postopek vklapljanja v parafin.

Parafin smo v parafinskem despenzerju segreti na 60°C, prav tako grelno ploščo dispenzerja. Nanjo smo položili dehidrirane vzorce v kasetah, da so se tudi ti segreti. Segret parafin smo nalili v kovinske kalupe tako, da smo pokrili dno. Vzorce smo vzeli iz kasete s segretim kleščami in jih postavili v kalup tako, da je bil prečni prerez orientiran navzgor. Da smo si olajšali postopek orientiranja vzorca, smo dno kalupa medtem pomočili v hladno vodo, da se je parafin na dnu strdil. Kalup smo pokrili s kaseto in ga do vrha napolnili s parafinom. Da se je parafin do konca strdil, smo kalup položili na hladilno ploščo za 15 - 20 min.



Slika 51: Postopek vklapljanja korenin v parafin (lastni vir)

Strjeno kocko parafina smo vzeli iz kalupa in z olfa nožem odstranili odvečni parafin ob straneh. Da je bila kocka primerna za rezanje, smo jo oblikovali v obliko piramide z odrezanim vrhom. Sledilo je obrezovanje vzorca, ki smo ga izvedli z Leica RM2245 rotacijskim mikrotomom, debelina odrezanih slojev je bila 12 μm . Namen prvega obrezovanja je bila odstranitev parafina do vzorca. Obrezane vzorce v parafinu smo namočili v vodi in za en dan shranili v hladilniku, da so se tkiva omehčala.



Slika 52: Postopek obrezovanja vzorca na rotacijskem mikrotomu (lastni vir)



Slika 53: Postopek obrezovanja vzorca na rotacijskem mikrotomu (lastni vir)

Za rezanje vzorcev za mikroskopske preparate smo uporabili nizkoprofilne nože za enkratno uporabo, ki so zasnovana za rezanje tršega materiala. Rezali smo na debelino 10 μm . Ob vsakem naslednjem rezanju smo nož premaknili tako, da smo rezali s še neuporabljenim predelom.

Na objektno stekelce smo kanili eno kapljico glicerina v albuminu, ki je služil kot lepilo za boljši oprijem rezin vzorcev. Narezane dele parafinskih trakov z zaporednimi rezinami smo najprej splavali v hladni vodi, ujeli z objektnim steklom in nato prenesli v vodno kopel, segreto na 40°C, ki je povzročila, da se je parafinski trak raztegnil.

Trak smo z objektnim stekelcem nežno, a hitro ujeli iz vode in ga položili na grelno ploščo segreto na 60 - 70°C.

Druga faza priprave preparatov je bilo barvanje. Stekelce z vzorcem smo najprej namočili v topilo UltraClear dvakrat za 40 minut, s čimer smo iz vzorca odstranili parafin. Nato smo ga prenesli v 95 % etanol dvakrat za 20 minut, po tem pa v mešanico barvil safranin in astra - blue (40 mg safranina in 150 mg astra- blue v 100 mL demineralizirane vode ter 2 mL očetne kisline). Safranin obarva lignine in polifenole rdeče, medtem ko barvilo astra blue obarva

celulozo v modro barvo. Na koncu smo preparat sprali z destilirano vodo in trikrat za 2 sekundi pomočili v 95 % etanol. Pri tem smo pazili, da preparata nismo namakali predolgo, saj bi lahko sprali barvo. Preden smo preparate pustili, da se posušijo na zraku, smo s preparativno iglo odstranili še odvečno umazanijo, ki je bila morda prisotna.



Slika 54: Postopek barvanja preparatov (lastni vir)

Na posušene preparate smo kanili 2-3 kapljice Euparala in jih pokrili s krovnim stekelcem. Potrebno je bilo odstraniti morebitne mehurčke zraka, ujete pod krovnim stekelcem, kar smo storili s preparativno iglo. Na koncu smo preparate obtežili z magneti in pustili vsaj 24h, da se posušili. Sušenje Euparala lahko traja tudi do 2 meseca, zato je bilo z vzorci potrebno ravnati zelo previdno (Prislan, Martinez del Castillo, idr. 2022).

3.3 Mikroskopiranje

3.3.1 Material

- svetlobni mikroskop Zeiss Axio Imager Z2, Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Germany
- digitalna kamera Axio Cam Mrc 5, Carl Zeiss Microscopy, Jena, Germany
- programska oprema ZEN, Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Germany

3.3.2 Postopek

Pri mikroskopiranju smo uporabili svetlobni mikroskop Zeiss Axio Imager Z2. Mikroskopirali smo pri presewni osvetlitvi na povečavah med 50x, 100x, 200x in 400x. Preparate smo fotografirali z digitalno kamero Axio Cam Mrc 5, pri tem pa uporabljali programsko opremo ZEN.

Preden smo posneli fotografije preparatov, smo vsakega posebej pregledali in izbrali najbolj ohranjen in obarvan vzorec na njem, na vsakem objektnem steklu je bilo namreč več prečnih prerezov istega koščka korenine. Prav tako smo bili pozorni na specifične strukture in fotografirali nekatere dele preparata pri večji povečavi.



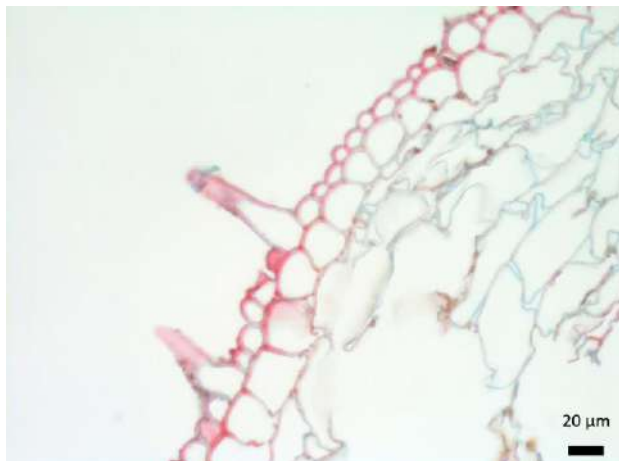
Slika 55: Mikroskop Zeiss Axio Imager Z2 (Zeiss, 2017)

Fotografije (mikrografije) smo nato pregledali in opazovali ter beležili razlike med preparati različnih debelin korenin in z različnih rastišč.

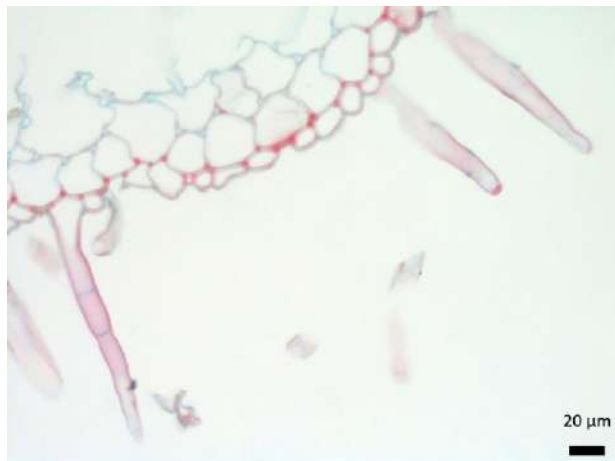
4. REZULTATI

4.1 Vzorci debeline 1 mm

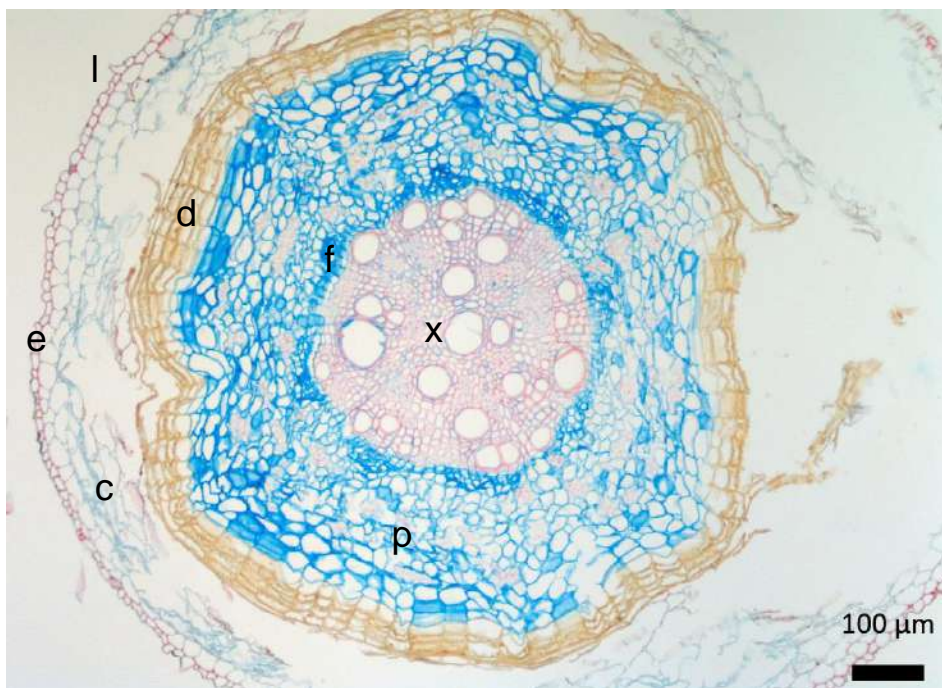
Pri vzorcih debeline 1 mm (sliki 56 in 57) je viden ostanek primarnih tkiv, kot so epidermis, korteks in koreninski laski. Koreninski laski so bili vidni pri vzorcih z lokacije 2.



Slika 56: Navadna robinija, 1 mm, L2, koreninski laski in epidermis (lastni vir)



Slika 57: : Navadna robinija, 1 mm, L2, koreninski laski in epidermis (lastni vir)

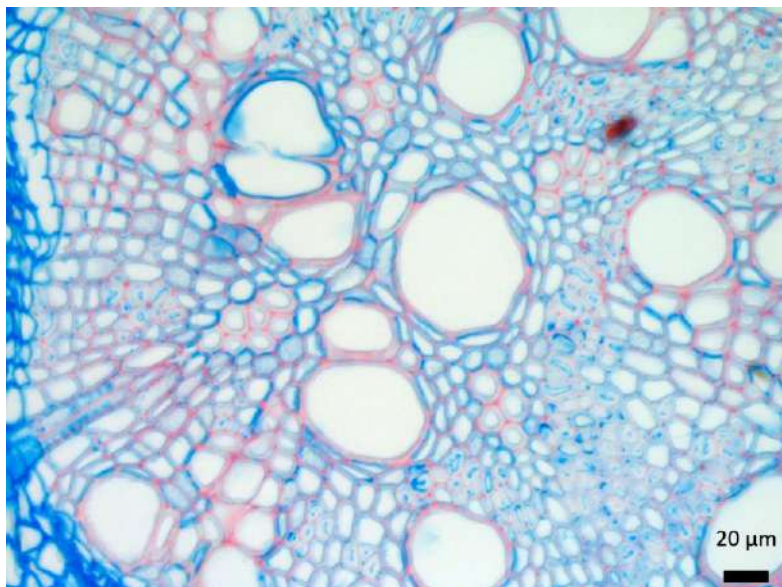


Slika 58: Navadna robinija, 1 mm, L2, epidermis (e), korteks (c), koreninski lasek (l), periderm (d), primarni in sekundarni ksilem (x), sekundarni floem (f), pericikel (p) (lastni vir)

Na sliki 58 je razvidno, da je korenina v fazi sekundarne rasti. Od znotraj navzven so vidne strukture primarni in sekundarni ksilem - meja med njima pri tem preparatu ni bila jasna, sekundarni floem, pericikel in periderm. Od periderma navzven so vidni ostanki korteksa in epidermisa s koreninskimi laski. Med sekundarnim floemom in peridermom se nahaja pericikel. Skorja in ostanki korteksa so zavzemali približno $\frac{2}{3}$ premera korenine.

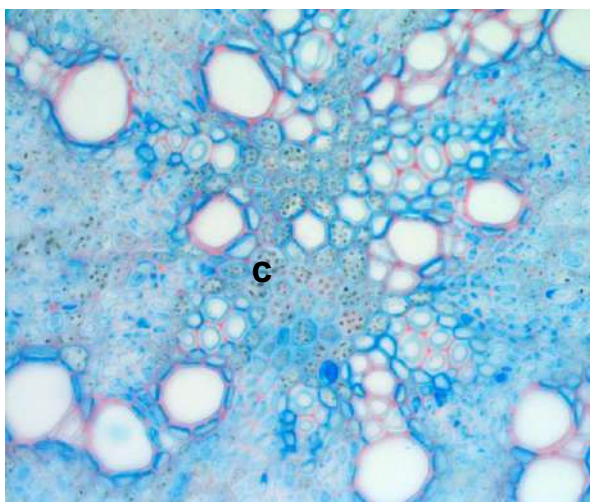
Čeprav so bili vzorci korenin premera 1 mm že vsi v fazi sekundarne rasti, vzorca poroznosti lesa še ni bilo mogoče razbrati, prav tako ni bilo razvidnih branik. Zaznali smo zametke trakov. Traheje so se pojavljale večinoma posamično, nekatere tudi v radialno ali tangencialno orientiranih parih in skupinah. Til v trahejah nismo zasledili.

Primarni ksilem je bil dobro razviden na vzorcu z lokacije 2, kjer je bil pentarhne oblike (slika 59).

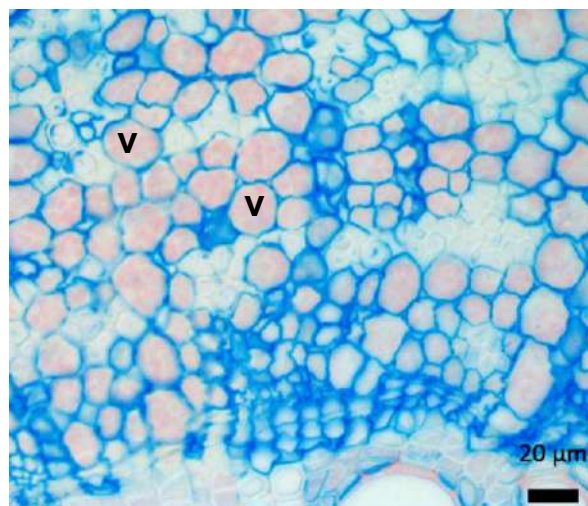


Slika 59: Navadna robinija, 1 mm, L2, primarni ksilem (lastni vir)

Na sliki 60 smo v primarnem in sekundarnem ksilemu opazili škrobna zrna (c) v obliki črnih pikic, na sliki 61 pa vlakna (v), ki se pojavljajo v skupkih, nahajajo pa se v skorji. Škrobna zrna so bila prisotna tudi v skorji (floemski trakovi in pericikel).



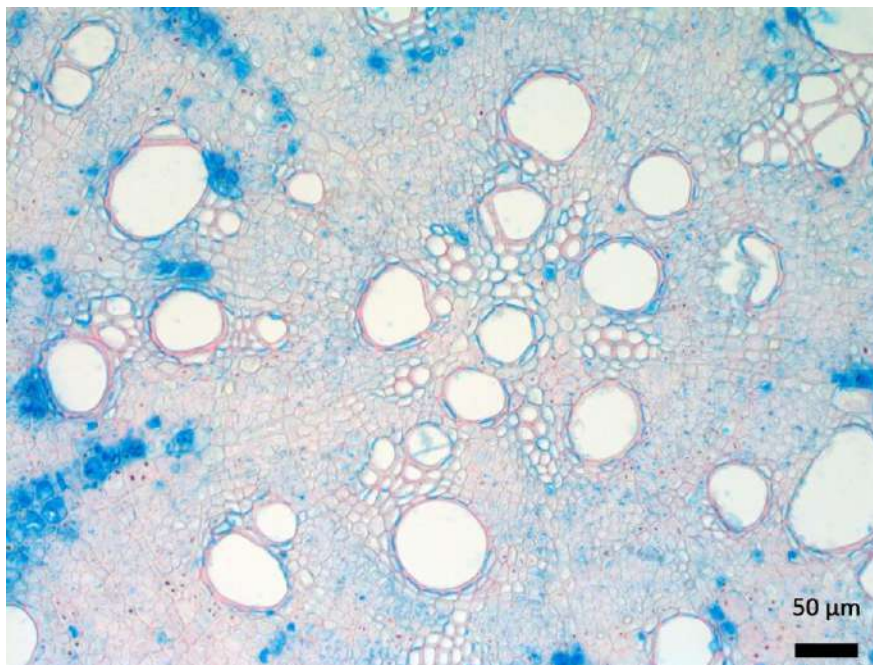
Slika 60: Navadna robinija, 1 mm, L2, škrobna zrna v primarnem in sekundarnem ksilemu (c) (lastni vir)



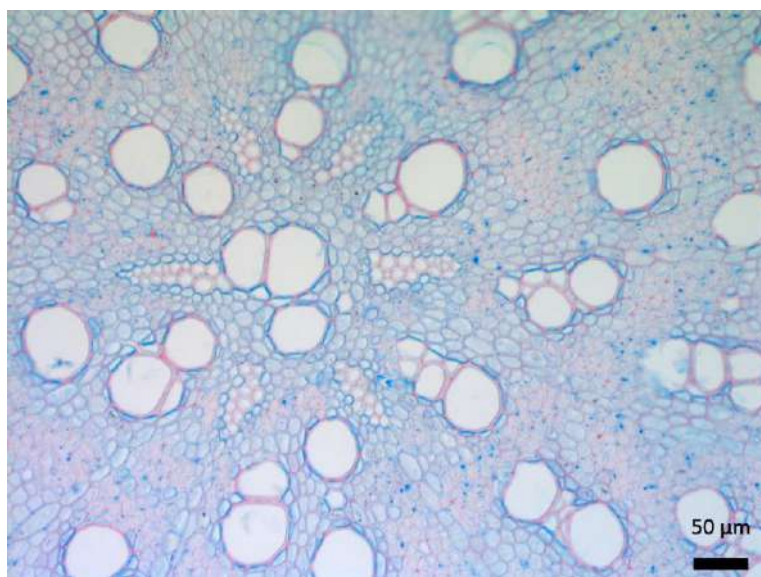
Slika 61: Navadna robinija, 1 mm, L2, vlakna v skorji (v) (lastni vir)

4.2 Vzorci debeline 3 mm

Pri vzorcih debeline 3 mm ostankov korteksa in epidermisa nismo več zasledili. Skorja je zavzemala približno $\frac{1}{3}$ do $\frac{1}{2}$ debeline korenine. Na vzorcih z lokacije 1 je bil opazen primarni ksilem pentarhne oblike (slika 62), na vzorcih z lokacije 2 pa heksarhne oblike (slika 63).

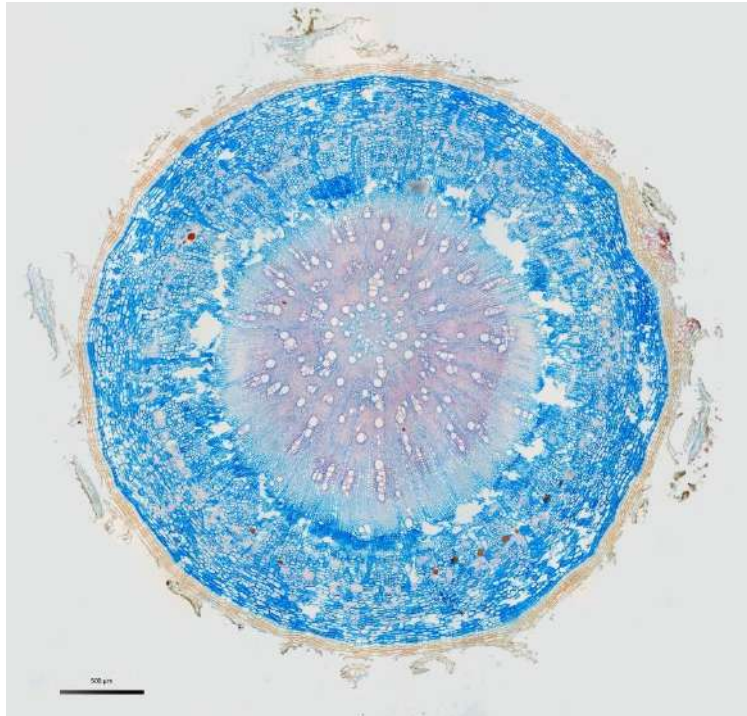


Slika 62: Navadna robinija, 3 mm, L1, pentarhni primarni ksilem (lastni vir)



Slika 63: Navadna robinija, 3 mm, L2, heksarhni primarni ksilem (lastni vir)

Branike so bile na vzorcih tega premera slabo vidne ali nerazločne. Les je bil polvenčasto porozen s postopnim prehodom od večjih proti manjšim trahejam v poznem lesu (slika 67 in 68) oz. vzorec poroznosti ni bil povsem jasno razviden (slika 64).

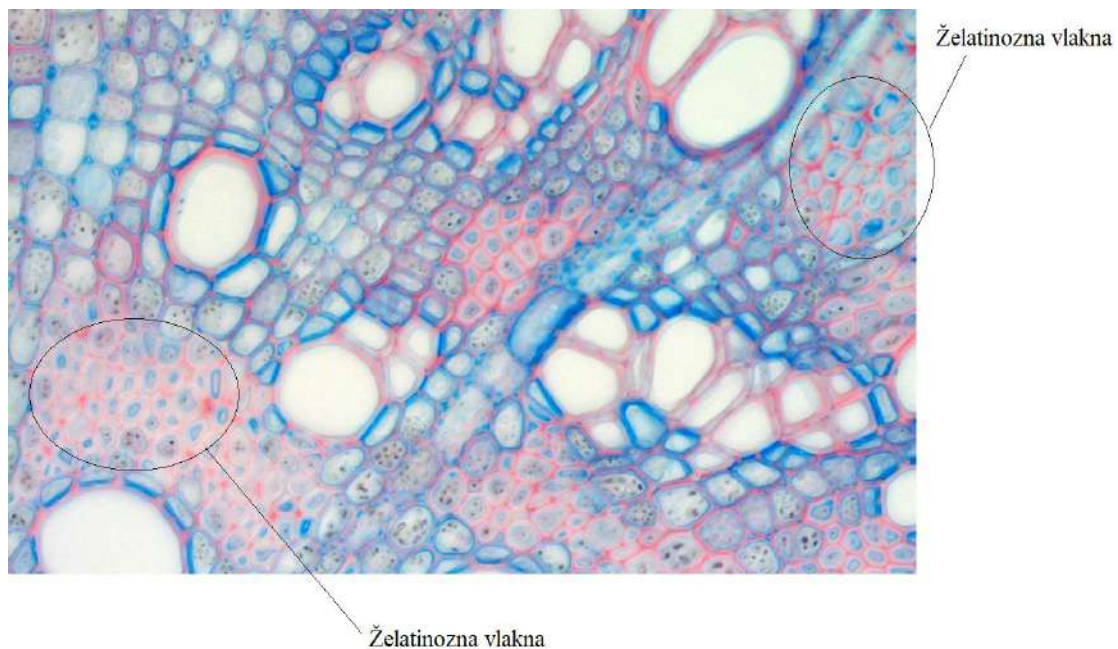


Slika 64: Prečni prerez korenine premera 3 mm (razporeditev trahej in branike) (lastni vir)

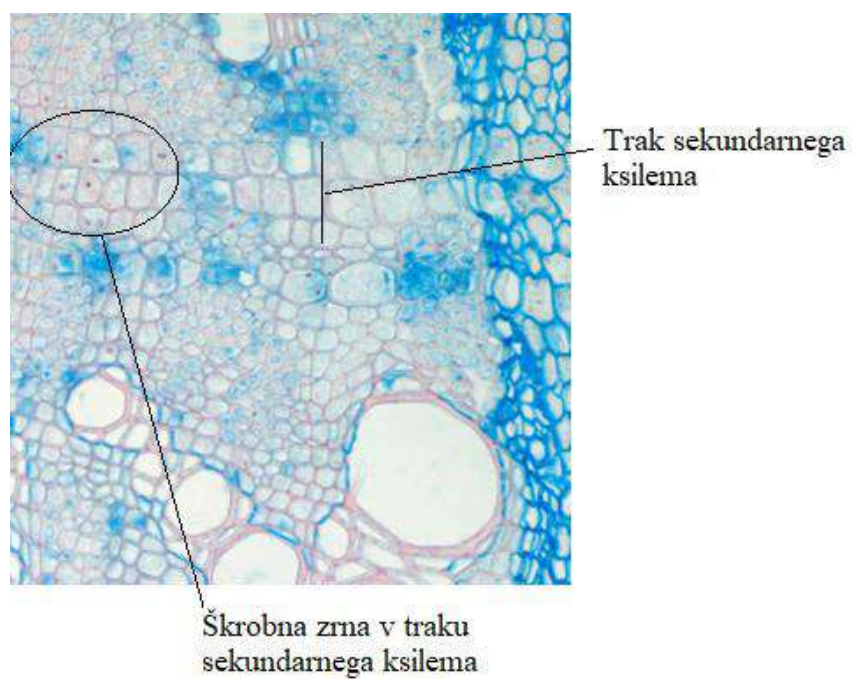
Traheje so se v veliki večini pojavljale v skupinah ali stolpcih, tudi do 10 trahej skupaj (slika 62), nekatere so bile tudi posamične (slika 63). Stolpci so bili orientirani v radialni smeri, vidno na slikah 61 in 64, medtem ko so bili nekateri pari trahej orientirani tudi tangencialno (slika 64).

V vzorcih je bilo zaznati veliko vlaken, tako v sekundarnem ksilemu kot skorji, kjer so se pojavljala v skupkih. Na lokaciji 2 smo v skorji zasledili tudi skupino sklereid (slika 67). V sekundarnem ksilemu so bila prisotna želatinozna vlakna, zasledili smo jih na lokacijah 1 in 2 (slika 65 in 66).

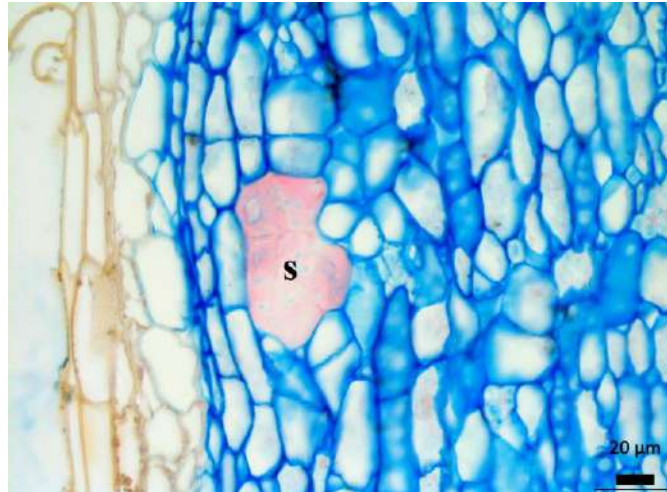
Trakovi sekundarnega ksilema so bili dobro razvidni, v veliki večini so bili uniseriatni, nekateri tudi multiseriatni, ti so v širino obsegali 2-3 celice (slika 66 in 68).



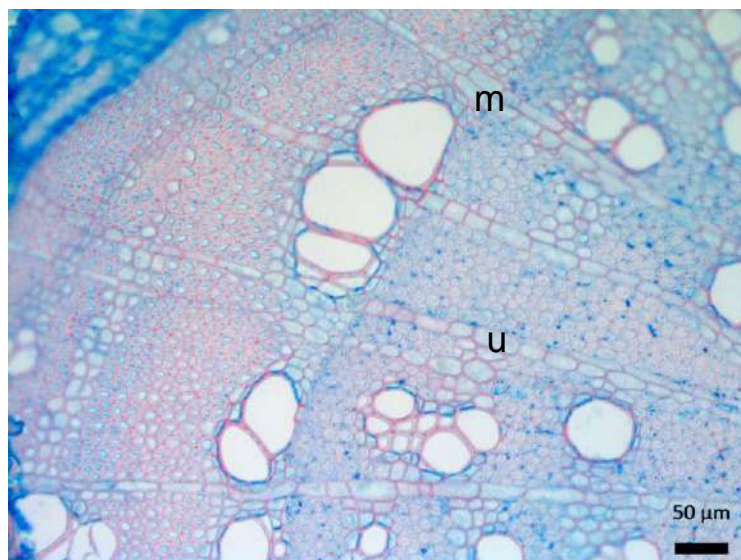
Slika 65: Navadna robinija, 3 mm, L2, želatinozna vlakna v sekundarnem ksilemu (lastni vir)



Slika 66: Navadna robinija, 3 mm, L2, želatinozna vlakna v sekundarnem ksilemu (lastni vir)

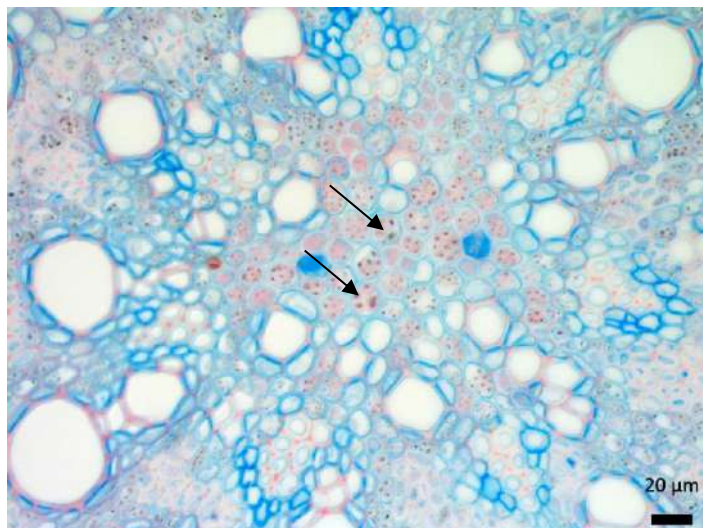


Slika 67: Navadna robinija, 3 mm, L2, sklereide (s) (lastni vir)



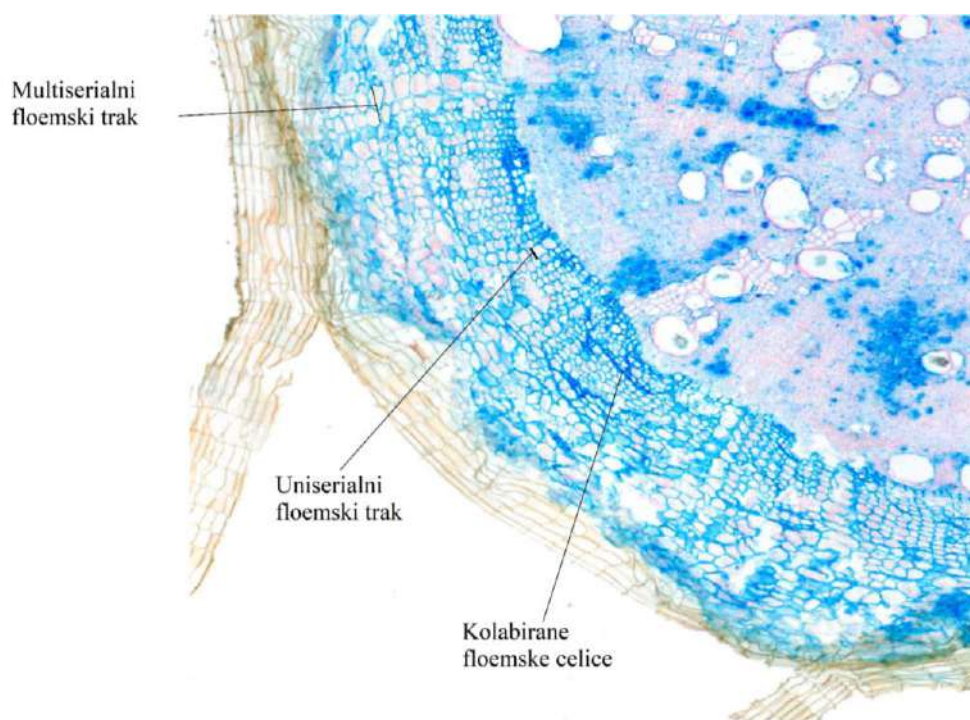
Slika 68: Navadna robinija, 3 mm, L2, trakovi sekundarnega ksilema, uniseriatni (u), multiseriatni (m) (lastni vir)

Opazili smo tudi škrobna zrna, prisotna v primarnem in sekundarnem ksilemu. Najbolj so bila vidna na vzorcih, vzetih z lokacije 2 (slika 69).



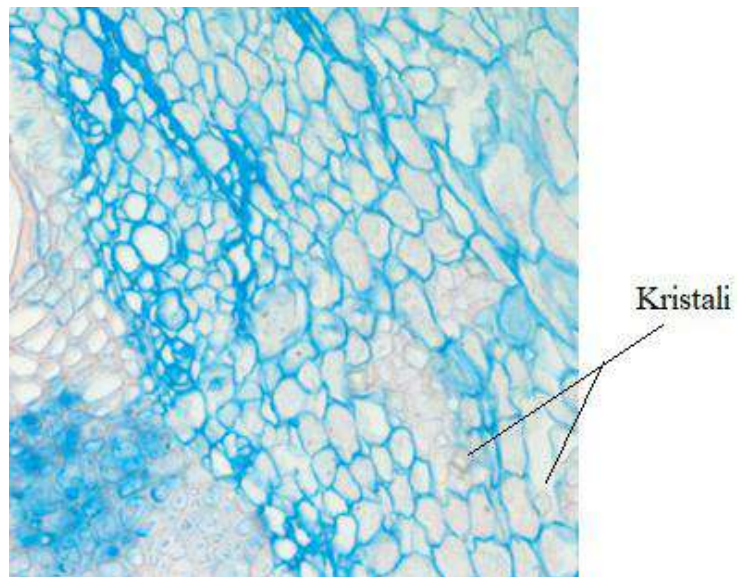
Slika 69: Navadna robinija, 3 mm, L2, škrobna zrna (lastni vir)

Floemski trakovi so bili vidni v vzorcih z lokacij 1 in 2 (slika 70), prav tako kot v sekundarnem ksilemu so bili večinoma uniseriatni, tisti, ki so bili multiseriatni, pa so obsegali dve celici v širino (slika 70). Od ksilemskih trakov, katerih podaljšek so, so bili širši in njihove celice večje. Prisotne so bile tudi kolabirane ali stisnjene celice floema (slika 70).



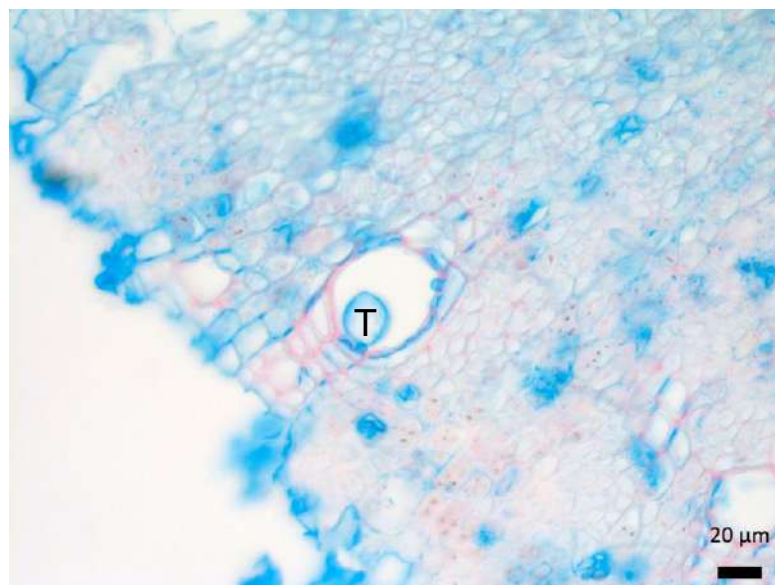
Slika 70: Navadna robinija, 3 mm, L1, floemski trakovi (f) (lastni vir)

V vzorcih z lokacije 1 so bili prisotni prizmatični kristali romboedrične oblike, ki so vidni na sliki 71 kot sivkasti rombi. Pojavljali so se v sekundarnem floemu in periciklu, vendar poredko.



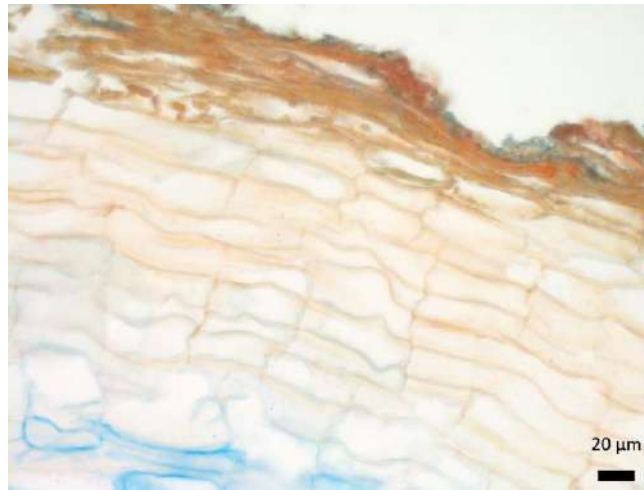
Slika 71: Navadna robinija, 3 mm, L1, kristali prisotni v floemu (lastni vir)

Pri vzorcih z lokacije 1 smo opazili tudi tile, in sicer navadne tile (slika 72).

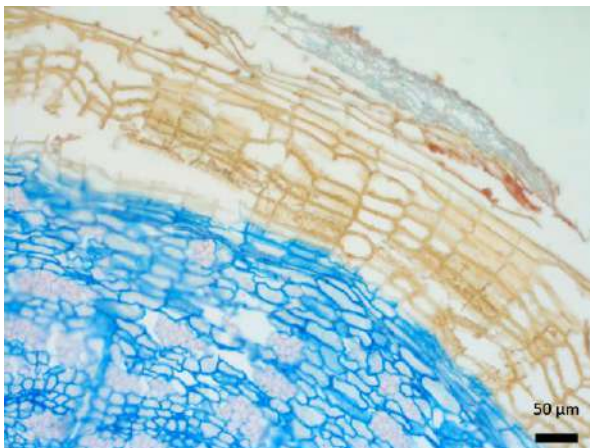


Slika 72: Navadna robinija, 3 mm, L1, navadna tila (T) (lastni vir)

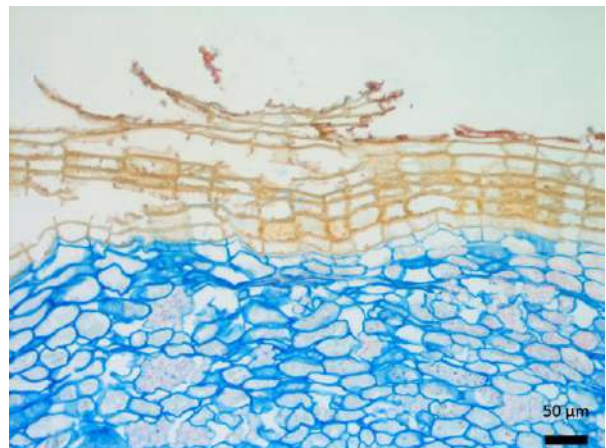
Celice periderma so bile urejene v radialnih stolpcih. Celice v vzorcih z lokacije 2 (slika 74 in 75) se v večini niso razlikovale v velikosti, le nekatere zunanje celice so bile videti daljše od drugih. Celice v vzorcih z lokacije 1 so se razlikovale v velikosti (slika 73). Sredinske plasti celic periderma na vzorcih z lokacije 2 so bile napolnjene z bledo oranžno celično vsebino (sliki 74 in 75). Zunanja plast periderma je bila zelo rahla in posledično pri večini vzorcev oluščena (sliki 76 in 77).



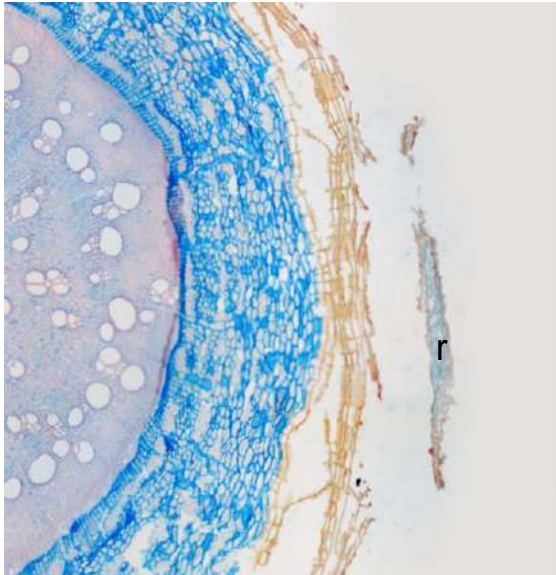
Slika 73: Navadna robinija, 3 mm, L1, periderm (lastni vir)



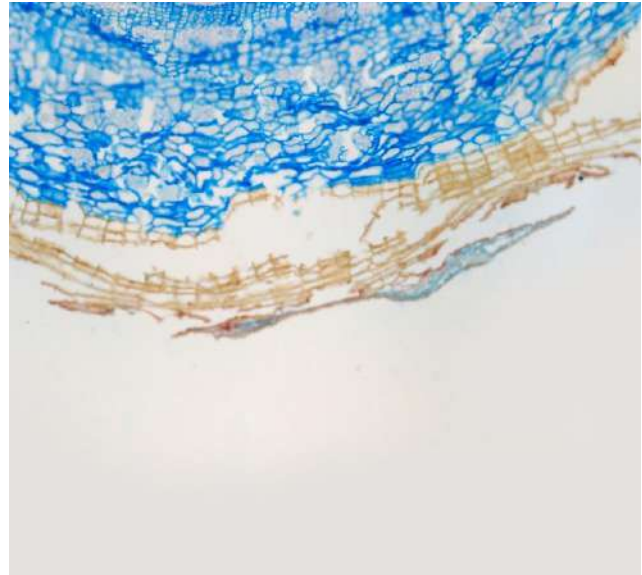
Slika 74: Navadna robinija, 3 mm, L2, periderm (lastni vir)



Slika 75: Navadna robinija, 3 mm, L2, periderm (lastni vir)



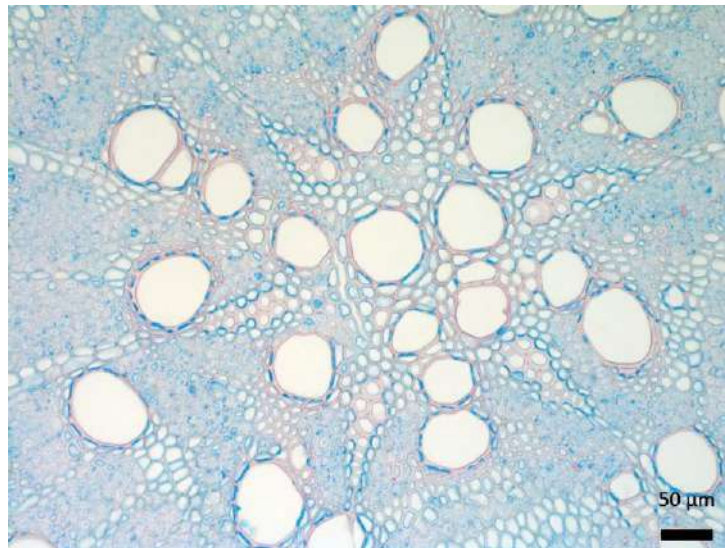
Slika 76: Navadna robinija, 3 mm, L2, zunanja plast periderma (r) (lastni vir)



Slika 77: Navadna robinija, 3 mm, L2, zunanja plast periderma (r) (lastni vir)

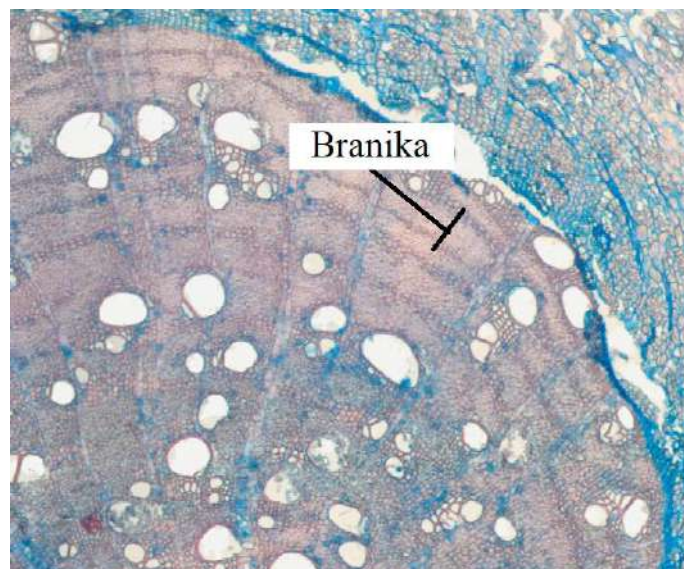
4.3. Vzorci debeline 5 mm

Pri vzorcih debeline 5 mm je skorja obsegala okoli $\frac{1}{4}$ do $\frac{1}{5}$ premera korenine. Primarni ksilem je imel pri vseh vzorcih heksarhno obliko (slika 78).



Slika 78: Navadna robinija, 5 mm, L3, primarni ksilem heksarhne oblike (lastni vir)

Branike so bile na vzorcih tega premera najbolj razvidne (slika 79). Les na tem premeru korenine je bil venčasto porozen (slika 79).

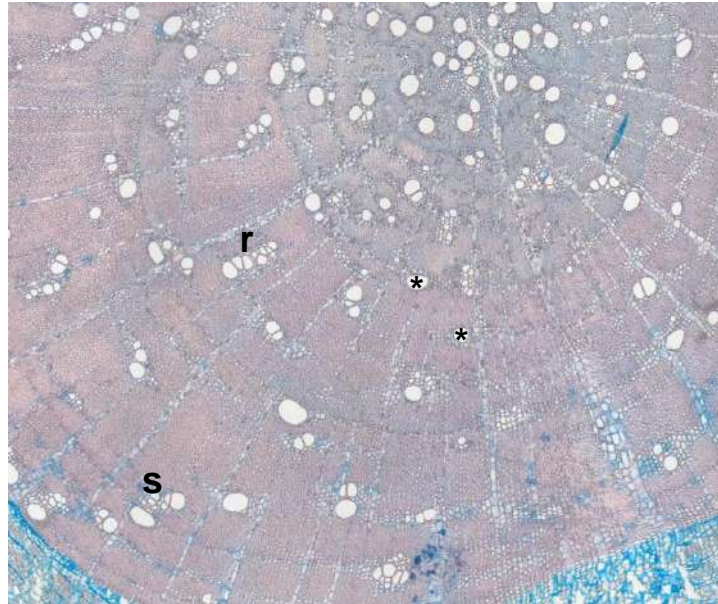


Slika 79: Navadna robinija, 5mm, L3, branika (lastni vir)



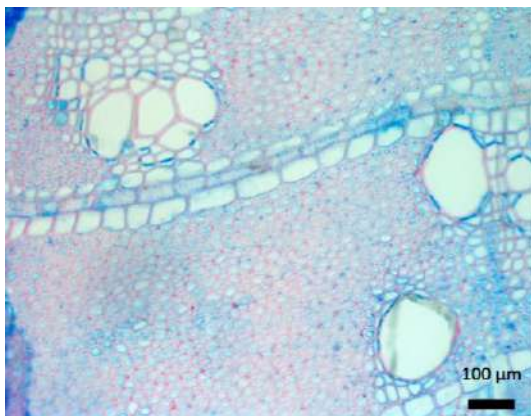
Slika 80: Navadna robinija, 5 mm, L1, venčasto porozen les korenine (lastni vir)

Traheje so se v večini primerov pojavljale posamično (slika 81, *), deloma pa tudi v skupinah po 2-6 (slika 81). Prisotni so tako radialni večkratniki (r), kot skupki (s) (slika 81). Nekateri stolpci trahej so orientirani tudi diagonalno (slika 81).

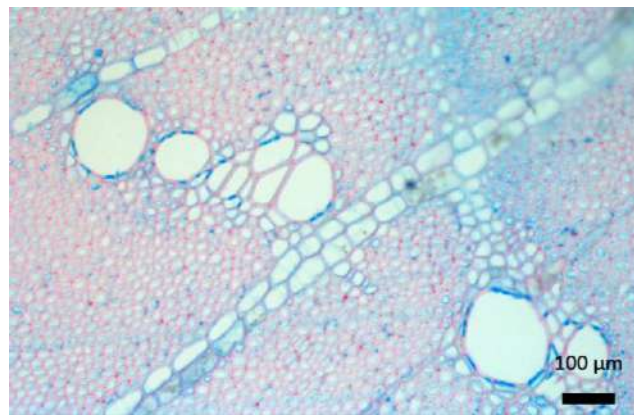


Slika 81: Navadna robinija, 5 mm, L1, traheje; skupki (s), radialni stolpci (r) (lastni vir)

Aksialni parenhim smo opazili večinoma ob trahejah (paratrahealno) (sliki 82 in 83).

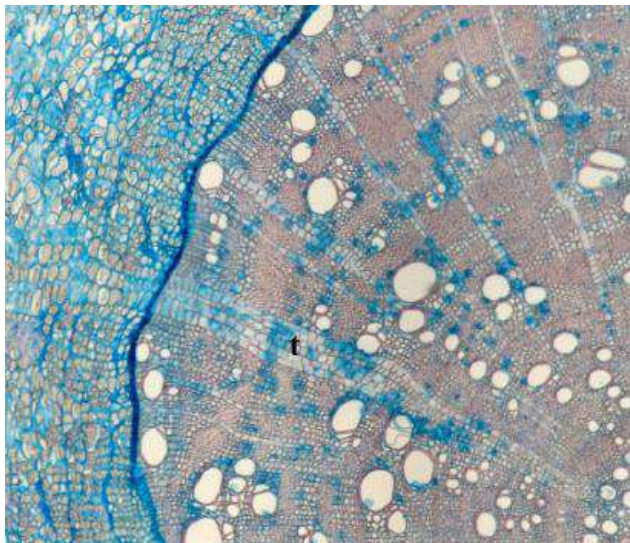


Slika 82: Navadna robinija, 5 mm, L1, paratrahealen aksialni parenhim (lastni vir)

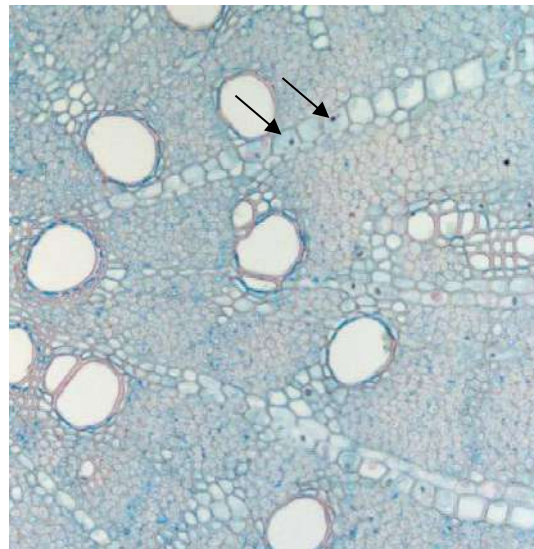


Slika 83: Navadna robinija, 5 mm, L1, paratrahealen aksialni parenhim (lastni vir)

Tudi na teh vzorcih so bili ksilemski trakovi večinoma uniseriatni, multiseriatni pa so obsegali 2-6 celic v širino (slika 84). V nekaterih trakovih so bila prisotna škrobna zrnca (slika 85).

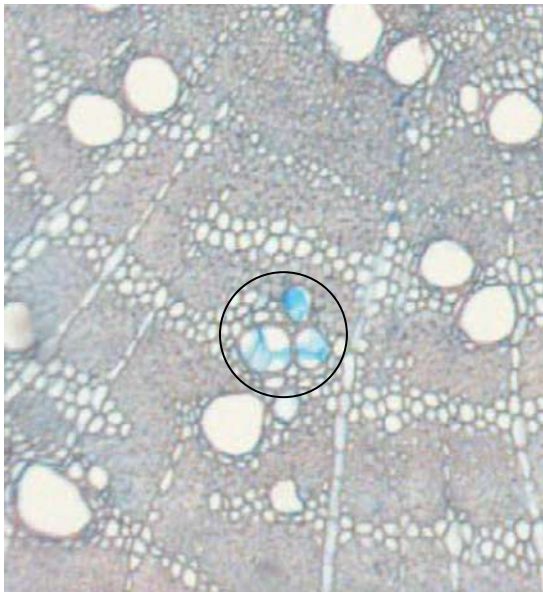


Slika 84: Navadna robinija, 5 mm, L3, multiseriatni ksilemski trakovi (lastni vir)

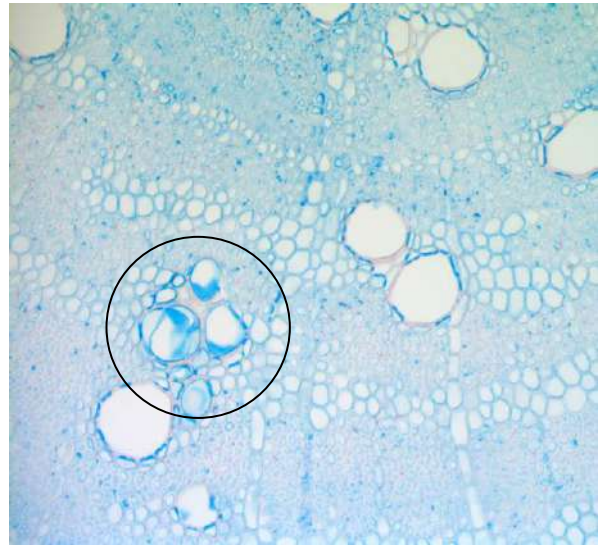


Slika 85: Navadna robinija, 5 mm, škrobna zrna v ksilemskih trakovih (lastni vir)

V vzorcih z lokacije 3 so bile v trahejah prisotne navadne tile (sliki 86 in 87).

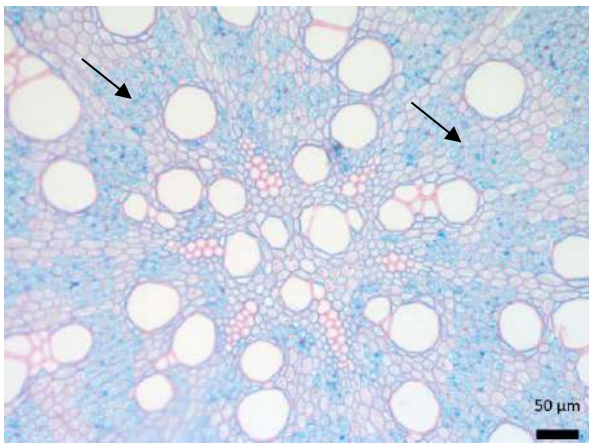


Slika 86: Navadna robinija, 5 mm, L3, tile

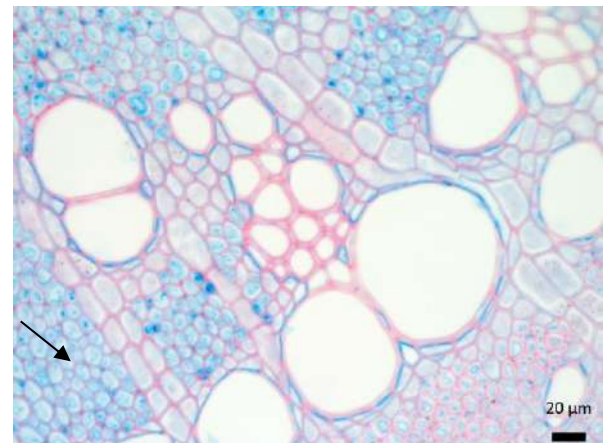


Slika 87: Navadna robinija, 5 mm, L3, tile

V sekundarnem ksilemu smo zaznali veliko želatinoznih vlaken z modrikasto vsebino (sliki 88 in 89).

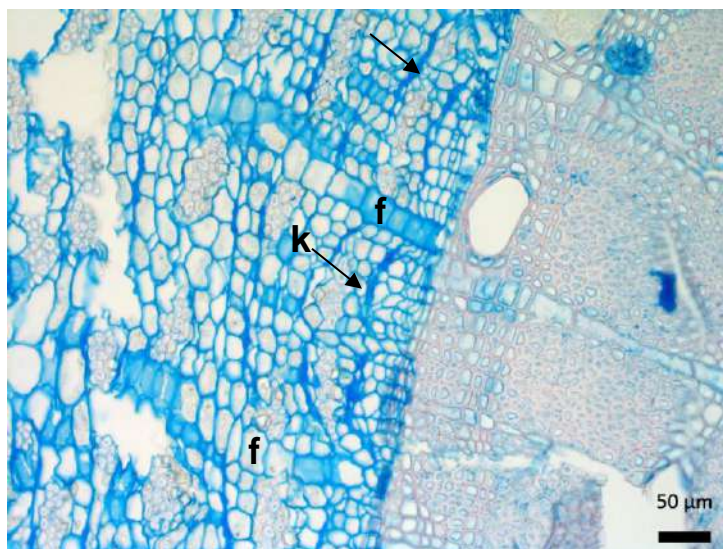


Slika 88: Navadna robinija, L2, želatinozna vlakna (lastni vir)



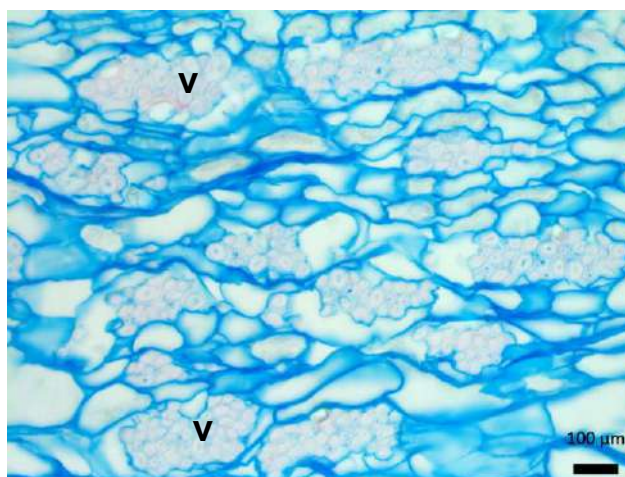
Slika 89: Navadna robinija, L2, želatinozna vlakna (lastni vir)

Kjer je bil floem ohranjen, smo opazili, da so starejše celice kolabirale (slika 90), kar pomeni, da so se sesedle oziroma stisnile. V floemu so bili razvidni tudi floemski trakovi (slika 90), na nekaterih vzorcih z lokacije 3 so bile vidne tudi manjše dilatacije in povečane in/ali namnožene celice (slika 90) .



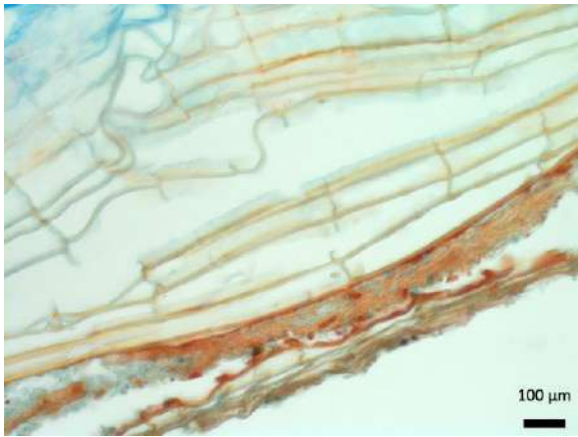
Slika 90: Navadna robinija, 5 mm, L3, floemski trakovi (f), kolabirane floemske celice (puščica, k) (lastni vir)

V vzorcih z vseh lokacij so bila v skorji prisotna vlakna v skupkih (v) (slika 91) ter večje število romboedričnih kristalov.

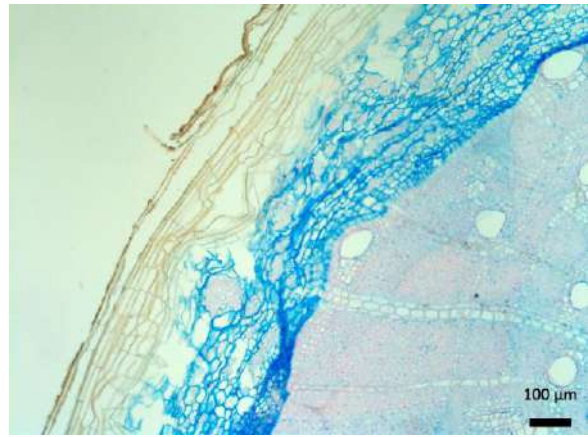


Slika 91: Navadna robinija, 5 mm, L3, vlakna v skupkih (v) (lastni vir)

Celice periderma so bile urejene v radialnih stolpcih, predvsem zunanje celice so bile daljše od notranjih, kar je najverjetneje posledica pretrganja radialnih sten (slika 92 in 93). Zunanje plasti so se oluščile, pri tistih, ki pa so se ohranile, je vidno, da so celice napolnjene z oranžno vsebino (slika 92).



Slika 92: Navadna robinija, 5 mm, L3, vlakna v skupkih (v) (lastni vir)



Slika 93: Navadna robinija, 5 mm, L3, periderm (lastni vir)

5. DISKUSIJA

V naši nalogi smo opazovali prečne prereze korenin robinije treh različnih debelin s treh različnih lokacij z namenom opisa anatomskih struktur. Že takoj ob začetku opazovanja pod mikroskopom smo v vseh primerih opazili, da so preparati blede obarvani, v nekaterih primerih pa se deli tkiva sploh niso obarvali. Ob mikroskopiranju preparatov korenin smo ugotovili tudi, da smo imeli med njimi pomotoma tudi vzorec neznane drevesne vrste na lokaciji 3. Ker se je preparat slednje zelo dobro obarval (Slika v prilogi), menimo, da so bili vzrok za slabo obarvanje preparatov navadne robinije sekundarni metaboliti, ki so značilni za les te vrste (Bartha, Csiszar in Zsigmond, 2008). Ob ponovitvi bi bilo potrebno uporabiti drugo barvilo oz. prilagoditi tehniko barvanja preparatov, da bi izboljšali vidnost koreninskih struktur. Da smo slike preparatov kljub temu lahko analizirali in prikazali v tej raziskovalni nalogi, smo jih naknadno prilagajali s programsko opremo ZEN. Poleg slabega barvanja smo opazili tudi mehanske poškodbe preparatov; v večini primerov se je skorja korenine pretrgala ali zmečkala, raztrganine smo opazili tudi v sekundarnem ksilemu. Do raztrganin je prišlo med postopkom rezanja. Opazili smo tudi, da se vzorci neznane vrste niso mečkali ali trgali, kot je bilo to pri vzorcih navadne robinije. Trganje sekundarnega ksilema je verjetno posledica prisotnosti velike količine želatinoznih (tenzijskih) vlaken, ki imajo veliko natezno trdnost. Pojavljajo se predvsem v vejah, mladih drevesih, koreninah in deblu dreves, ki rastejo na pobočjih. Značilnost tenzijskih vlaken je prisotnost "želatinastega" sloja (G-sloj), ki je sestavljen iz celuloznih mikrofibril. Pojavlja se na notranji strani celične stene, torej na strani lumna (Connors 2001, Kastelic, 2008). Do trganje skorje pri vzorcih robinije je lahko prišlo tudi zaradi prisotnosti kristalov. Kristali so namreč iz kalcijevega oksalata, ki je trda snov, medtem, ko imajo okoliške celice skorje zelo tanko celično steno.

Na preparatih navadne robinije smo zaznali prisotnost tako primarnih kot sekundarnih tkiv že pri vzorcih korenin premera 1 mm, kar nas je presenetilo, mislili smo namreč, da pri tako drobnih koreninah sekundarna rast še ne bo razvidna. Ta rezultat je primerljiv z ugotovitvami za nekatere druge drevesne vrste, kot so bukev, hrast, črni topol, veliki jesen, itd. (Mrak in Gričar, 2016). Pri koreninah premera 1 mm smo tako opazili na zunanji strani že razvitega periderma ostanke korteksa in epidermisa s koreninskimi laski. Te strukture se s sekundarno debelitvijo korenine pretrgajo in oluščijo (Dickison, 2008). Pri koreninah debelin 3 in 5 mm sta bila od primarnih tkiv ohranjena samo še primarni ksilem in pericikel. Primarni ksilem je

bil v večini primerov dobro razviden, in sicer pentarhne ali heksarhne oblike. Pri koreninah premera 1 mm branik, til in kristalov še nismo opazili, prav tako ni bil razviden vzorec poroznosti, opazili pa smo zametke trakov. Branike so bile nerazločne tudi pri vzorcih premera 3 mm, deloma razločne pa pri vzorcih premera 5 mm. Slabša razločnost branik, ter pojavljanje izklinjenih branik je značilno za korenine (Mrak in Gričar; 2016). Traheje na začetku sekundarne rasti (1 mm) niso razporejene v specifičnih vzorcih, kasneje (vzorci premera 3 in 5 mm) se začnejo oblikovati v radialne večkratnike in skupke, v katerih smo našli tudi do 10 trahej. Tyle so prisotne pri vzorcih premera 3 in 5 mm. Pri vzorcih 5 mm je bilo v eni traheji prisotnih več til, v vzorcih 3 mm je bila vidna posamezna tila v eni traheji. Ksilemski trakovi se med vzorci 3 mm in 5 mm razlikujejo po širini. Pri vzorcih 5 mm se pogosteje pojavljajo širši trakovi in obsegajo tudi do 6 celic v širino, torej so širši od tistih prisotnih v vzorcih 3 mm, kjer smo zasledili trakove široke največ tri celice. Kristali so v bili pri obeh premerih (3 in 5 mm) romboedrične oblike, pri vzorcih 3 mm jih je prisotnih nekoliko manj in so bili tudi manjši.

S tem, ko smo v raziskavo vključili korenine z različnih lokacij, smo zajeli tudi variabilnost, ki je posledica različnih rastiščnih razmer. Tako smo na lokaciji 1 pri koreninah premera 1 mm zasledili ostanke korteksa in koreninskih laskov, na lokaciji 2 pa te strukture niso bile več prisotne. Pri vzorcih z lokacije 2 smo opazili tudi večje število škrobnih zrn. Prisotnost škrobnih zrn je posledica dejstva, da so bile korenine nabrane v jesenskem času. Pred obdobjem mirovanja so količine škrobnih zrn v koreninah največje, saj rastline na ta način shranijo ogljikove hidrate za ponovno uporabo v spomladanskem času (Von Fircks in Sennerby-Forsse 1998). Sklereide smo zasledili le na lokaciji 2 v 3 mm vzorcih in še v tem primeru je bil prisoten samo en skupek, zato sklepamo, da v splošnem v koreninah robinije niso pogoste.

Kot tipične anatomske lastnosti lesa v deblu Schoch idr. (2004) navajajo venčasto porozen les, posamične traheje v ranem lesu ter traheje v skupkih v kasnem lesu, zelo pogoste tile ter multiseriatne trakove, ki merijo 3 do 4 celice v širino ter paratrahealni aksialni parenhim. Te lastnosti so bile v koreninah debelin do 5 mm, ki smo jih opazovali mi, samo deloma enake. Vzorec poroznosti lesa/sekundarnega ksilema ni bil jasno izražen, šele pri 5 mm debelih koreninah je bil razviden venčasto porozen vzorec. Težko je bilo razlikovati med trahejami ranega in kasnega lesa, pri koreninah debeline 3 mm je bilo vidno postopno zmanjševanje

premera trahej od ranega proti kasnemu lesu, medtem ko so bile pri koreninah debeline 5 mm bolj izrazite le traheje ranega lesa, v kasnem lesu pa je bilo trahej zelo malo. Tule v koreninah niso tako pogoste, kot to navajajo za les debla, verjetno zaradi razloga, da gre za tanjše korenine, ki večinoma v celoti služijo prevajanju vode s topljenci in zato še niso zaprte s tilami. V koreninah so prevladovali uniseriatni trakovi, medtem ko so za les debla značilni multiseriatni trakovi. Tako kot navajajo za les debla, smo tudi v koreninah opazili paratrahealni aksialni parenhim. Richter in Dallwitz (2000) navajata za les debla tudi prisotnost prizmatičnih kristalov, in sicer v celicah aksialnega parenhima in trakovih. Mi v celicah sekundarnega ksilema kristalov nismo opazili, bili pa so prisotni v skorji. Za bolj natančno opazovanje kristalov bi morali preparate opazovati pod polarizacijsko svetlobo, tako da ne izključujemo, da bi lahko bili prisotni tudi v sekundarnem ksilemu korenin.

6. DRUŽBENA ODGOVORNOST

Poznavanje anatomije podzemnih delov rastlin je močno zaostalo v primerjavi z nadzemnimi deli, saj so ti deli skriti v tleh in je vzorčenje neprimerljivo težje kot v primeru nadzemnih delov. Raziskave, kot smo jo predstavili mi, prispevajo k splošnim znanjem o lastnostih posameznih rastlinskih vrst. Poznavanje anatomskih lastnosti korenin nam omogoča, da prepoznamo korenine določene rastlinske vrste, kar je pomembno z različnih vidikov. V primeru robinije, ki je invazivna vrsta, lahko zaznavamo prisotnost korenin v tleh po postopkih odstranjevanja in s tem ocenjujemo njihovo uspešnost. Korenine se širijo več metrov stran od dreves, tudi izven obsega krošenj in lahko povzročajo škodo na infrastrukturi (razni podzemni vodi, tlakovane površine) in objektih kulturne dediščine. V teh primerih poškodb ne povzroča nujno drevo, ki je lokacijsko najbližje objektu. Na podlagi korenin je možno ugotoviti, kateri drevesni vrsti pripadajo korenine, ki povzročajo poškodbe. Najbolj zanesljiv in najcenejši način je atomska identifikacija. Ker je večina korenin v tleh drobnih, je poznavanje anatomije le-teh še posebej pomembno. V gozdnih ekosistemih pogosto pri raziskavah talnih vzorcev naletimo na preplet drobnih korenin različnih vrst. Običajno se osredotočamo samo na eno od vrst, ki jo moramo pravilno identificirati, kar je najhitreje možno s pomočjo klasičnih metod, kot sta morfologija in anatomija. Raziskave okoljskih vplivov, kot npr. suše, pomanjkanja hranil, vpliva onesnažil, morajo zajemati vse dele rastlin, če želimo zajeti čim bolj celosten vidik. Zaradi okoljskih

vplivov lahko pride do anatomskih sprememb, ki vplivajo npr. na preskrbo z vodo ter občutljivost na zmrzal ali sušo.

7. ZAKLJUČEK

Cilj naše raziskovalne naloge je bil opisati anatomske in morfološke strukture na prečnem prerezu korenin navadne robinije. Usmerili smo se na korenine, tanjše od 5 mm, ki jih je v tleh največ.

Naša hipoteza pravi, da se anatomske strukture med različnimi debelinami korenin razlikujejo. Glede na pridobljene rezultate, kjer lahko vidimo veliko raznolikost struktur med koreninami različnega premera, lahko hipotezo tudi potrdimo.

Barvanje vzorcev z safraninom in astra blue zaradi sekundarnih metabolitov ni bilo zelo uspešno, zato bi ob ponovitvi uporabili drugačno barvilo, da bi bile strukture boljše vidne. Predlagamo nadaljnje raziskave akcesornih snovi v navadni robiniji.

8. VIRI

8.1. Viri gradiva

Agusti, J., idr. (2011). Strigolactone signaling is required for auxin-dependent stimulation of secondary growth in plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 108: 20242–20247. Dostopno na:

https://www.researchgate.net/publication/292511173_Strigolactone_signaling_is_required_for_auxin-dependent_stimulation_of_secondary_growth_in_plants

Altamura M. M., idr. (2001). Development of the vascular system in the inflorescence stem of *Arabidopsis*. *New Phytologist* 151: 381–389. Dostopno na: [https://doi.org/10.1016/S0074-7696\(02\)20007-8](https://doi.org/10.1016/S0074-7696(02)20007-8).

Bačič, T., Brus, R., Sladek, P., Strgulc Krajšek, S. (2018). Informativni list za invazivne tujerodne vrste rastlin v projektu Aplause. Robinija (*Robinia pseudoacacia*). Dostopno na: <https://www.ljubljana.si/assets/Uploads/robinia-pseudacacia2.pdf> [Dostop: 5. 2. 2023]

Balducci, L., idr. (2015). Compensatory mechanisms mitigate the effect of warming and drought on wood formation. Dostopno na:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/pce.12689>

Bardgett, D. R., van der Putten W. H. (2014). Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*. Dostopno na: [10.1038/nature13855](https://doi.org/10.1038/nature13855)

Bartha, D., Csiszár, Á., Zsigmond, V. (2008). Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). Dostopno na:

https://www.researchgate.net/publication/273770091_Black_locust_Robinia_pseudoacacia_L

Bastos L. C., idr. (2016). Unravelling roots of lianas: a case study in Sapindaceae, *Annals of Botany*, Volume 118, Issue 4, October 2016, Pages 733–746. Dostopno na :

<https://doi.org/10.1093/aob/mcw091>

Batool, U. (2017). Structure, Development & Function of Periderm. Dostopno na:

<https://www.slideshare.net/FatimaRamay/structure-development-function-of-periderm>

Begum, S., Rahman, H., Nakaba, S. idr. (2018). Climate change and the regulation of wood formation in trees by temperature. *Springer Nature*, February 2018, *Trees* 32(1):1-13.

Dostopno na: <https://doi.org/10.1007/s00468-017-1587-6> [Dostop: 12. 2. 2023]

Belušič, G., Dolenc Koce, J., idr. (2019). Učbenik za biologijo v gimnazijah in srednjih strokovnih šolah. Ljubljana: Mladinska knjiga Založba

- Bobič Červek, Ž., Marinšek, A. (2020). Tujerodne drevesne vrste: ROBINIJA. Dostopno na: <https://en.gozdis.si/novice/tujerodne-drevesne-vrste-robinija/> [Dostop: 26. 1. 2023]
- Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2022). Meristem. Encyclopedia Britannica. Dostopno na: <https://www.britannica.com/science/meristem> [Dostop:]
- Brus, R., Drevesne vrste na Slovenskem. (2004). Ljubljana: Mladinska knjiga Založba.
- Cailloux, M. (1972). Metabolism and the absorption of water by root hairs. Canadian Journal of Botany. Dostopno na: <https://doi.org/10.1139/b72-069>
- Carrillo-López, A., Yahia, E. M. (2019). Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables. Pages 113-130. Dostopno na: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00006-3> [Dostop:]
- Carlquist, S. (1988). Comparative wood anatomy. Berlin, Nemčija. Springer-Verlag.
- Casimiro, I., idr. (2003). Dissecting Arabidopsis lateral root development. Dostopno na: [10.1016/S1360-1385\(03\)00051-7](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(03)00051-7)
- Connors, T. E., (2001). Wood: Ultrastructure. Pages 9751-9759. Dostopno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B008043152601771X> [Dostop:]
- Crang, R., Lyons-Sobaski, S., Wise, R. (2018). Periderm. In Plant Anatomy. Springer, Cham. Dostopno na: https://doi.org/10.1007/978-3-319-77315-5_16 [Dostop:]
- Dermastia, M. (2007). Pogled v rastline. Ljubljana: Nacionalni inštitut za biologijo
- Dickinson WC. (2008). Integrative plant anatomy. San Diego: Academic Press. Dostopno na: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374725-0>
- Dickison WC. 2008. Integrative plant anatomy. San Diego: Academic Press.
- Du, Y., Scheres, B. (2018). Lateral root formation and the multiple roles of auxin. Journal of Experimental Botany, Vol. 69, No. 2 pp. 155–167, 2018. Dostopno na: <https://doi.org/10.1093/jxb/erx223>
- Dubrovsky, J. G., Rost, T. L. (2003). ROOT DEVELOPMENT | Lateral Root Initiation. Dostopno na: <https://doi.org/10.1016/B0-12-227050-9/00042-9>
- Dubrovsky, J., Laskowski, M. (2016). Lateral Root Initiation. Dostopno na: https://www.researchgate.net/publication/323706166_Lateral_Root_Initiation

Evert RF, Eichhorn SE. (2006). *Esau's plant anatomy: Meristems, cells, and tissues of the plant body—their structure, function and development*, 3. izdaja. Hoboken: John Wiley & Sons. Dostopno na:

https://www.researchgate.net/profile/Arvind_Singh56/post/What_will_be_the_fundamental_books_and_publications_for_understanding_plant_anatomy/attachment/59d633a379197b80779914ef/AS:375610472976384@1466563923231/download/2.pdf

Esau K. (1965). *Vascular differentiation in plants*. New York: Holt, Rinehart and Winston.

Esau K. (1973). Ultrastructure of Secretory Cells in the Phloem of *Mimosa Pudica* L. *Annals of Botany*, vol. 38, no. 154, 1974, pp. 159–64. Dostopno na:

<https://www.jstor.org/stable/42752212>

Ford Denison, R., Toby Kiers, E. (2004). Lifestyle alternatives for rhizobia: mutualism, parasitism, and forgoing symbiosis, *FEMS Microbiology Letters*, Volume 237, Issue 2, August 2004, Strani 187–193, <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2004.tb09695> [Dostop:]

Franceschi VR, Nakata PA. (2005). Calcium oxalate in plants: formation and function. *Annual Review of Plant Biology* 56: 41–71. Dostopno na:

[10.1146/annurev.arplant.56.032604.144106](https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144106)

Gričar J., Čufar K. 2008. Seasonal dynamics of phloem and xylem formation in silver fir and Norway spruce as affected by drought. *Russian Journal of Plant Physiology*, 55, 4: 538–543. Dostopno na: <https://doi.org/10.1134/S102144370804016X>

Grierson, Claire & Schiefelbein, John. (2002). *Root Hairs*. The Arabidopsis book / American Society of Plant Biologists. Dostopno na:

https://www.researchgate.net/publication/221803910_Root_Hairs

Huntley, J. C. (1990) *Robinia pseudoacacia* L. Black locust. In: Burns RM, Honkala BH (tech coords) *Silvics of North America*, volume 2, hardwoods. Agriculture handbook no. 654. Forest Service, United States Department of Agriculture, Washington. Dostopno na:

Itoh, S., Barber, S.A. (1983). A numerical solution of whole plant nutrient uptake for soil-root systems with root hairs. *Plant Soil* 70, 403–413 . Dostopno na:

<https://doi.org/10.1007/BF02374895>

Kastelic, M., (2008). Sorpcijske in difuzijske karakteristike tenzijskega lesa. Diplomsko delo. Dostopno na: http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/vs_kastelic_miha.pdf

Kermavnar, J. (2015). Sestojne padavine v izbranih urbanih gozdovih Ljubljane. Magistrsko delo. Dostopno na: http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/gozdarstvo/mdb_kermavnar_janez.pdf

Kozlowski, T. T., Pallardy, S. G. (1997). Physiology of Woody Plants. Dostopno na: <https://www.sumins.hr/~carbon/Kozlowski.pdf> [Dostop: 6. 2. 2023]

Kraner, T., (2016). Pomlajevanje robinije (*Robinia pseudoacacia* L.) na različnih mikrorastiščih po žledolomu na Rožniku. Diplomsko delo. Dostopno na: [http://parkivolirozniksisenskihrib.si/uploads/files/Pomlajevanje-robinije-na-razlicnih-mikrorastiscih-po-zledolomu-na-Rozniku-\(Kraner-2016\)_dd.pdf](http://parkivolirozniksisenskihrib.si/uploads/files/Pomlajevanje-robinije-na-razlicnih-mikrorastiscih-po-zledolomu-na-Rozniku-(Kraner-2016)_dd.pdf) [Dostop: 14. 1. 2023]

Kranjčič, B. (2001). Razvojna in funkcionalna morfoloģija z anatomijo. (3. izd.). Maribor: Fakulteta za kmetijstvo

Kong, D., idr. (2019). Nonlinearity of root trait relationships and the root economics spectrum. Nature Communications 10: 2203. Dostopno na: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10245-6>

Kumari, N. (2020). Topic: Plant tissue system II., Lecture No. 22. Dostopno na: <https://marwaricollege.ac.in/study-material/1992335711Lecture%20No.%2022.pdf> [Dostop: 4. 2. 2023]

Kutnar, L., Kobler, A. (2013). Sedanje stanje razširjenosti robinije (*Robinia pseudoacacia* L.) v Sloveniji in napovedi za prihodnost. Acta silvae et ligni. Številka 102. Str. 21-30. Dostopno na: <http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:doc-C7GCP8YM> [Dostop: 12. 1. 2023]

Kutnar, L., Pisek, R. (2013). Tujerodne in invazivne drevesne vrste v gozdovih Slovenije. Gozdarski vestnik, letnik 71, številka 9. Dostopno na: <https://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:doc-VUHZJ8DM> [Dostop: 15. 1. 2023]

Larson PR. (1994). The vascular cambium: development and structure. Berlin: Springer. Dostopno na: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-78466-8>

Ma, Z., idr. (2018). Evolutionary history resolves global organization of root functional traits. Nature 555: 94–96. Dostopno na: https://pure.manchester.ac.uk/ws/portalfiles/portal/64871336/Final_Accepted_Version_31397_9_1_art_file_2890205_yypv0t_convrt.pdf

Mahbubur Rahman, A. H. M., Ismot Ara Parvin, M. (2013). Study of Medicinal Uses on Fabaceae Family at Rajshahi, Bangladesh. *Research in Plant Sciences*, 2014, Vol. 2, No. 1, 6-8. Dostopno na: <http://pubs.sciepub.com/plant/2/1/2/> [Dostop: 26. 1. 2023]

Marinšek, A., Bindewald, A., Kraxner, F., La Porta, N., Meisel, P., Stojnić, S., Coccozza, C., Lapin K. (2022). Management of non-native tree species in urban areas of the Alpine space. 177 p. Dostopno na: https://okolje.maribor.si/data/user_upload/Gospodarjenje_s_tujerodnimi_drevesnimi_vrstami_v_urbanem_prostoru.pdf [Dostop: 6. 2. 2023]

McCormack M.L., idr. (2015). Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes. *New Phytologist*. Dostopno na: [10.1111/nph.13363](https://doi.org/10.1111/nph.13363)

Michelot - Antalík, A., idr. (2012). Differing growth responses to climatic variations and soil water deficits of *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris* in a temperate forest. *Forest Ecology and Management*. Dostopno na: [10.1016/j.foreco.2011.10.024](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.10.024)

Mickel, J. T., Gifford, E. M., Wagner, W. H. (2021). Lower vascular plant. *Encyclopedia Britannica*. Dostopno na: <https://www.britannica.com/plant/lower-vascular-plant> [Dostop: 6. 2. 2023]

Mrak, T., Gričar, J. (2016). Atlas of woody plants: Morphology and Anatomy with Special Emphasis on Fine Roots. Dostopno na: <http://eprints.gozdis.si/1666/> [Dostop: 13. 1. 2023]

Murphy, T. M., Rost, T. L., Barbour, M. G. (2015). Chapter 7: The root system. <https://labs.plb.ucdavis.edu/courses/bis/1c/text/Chapter7nf.pdf> [Dostop: 6. 2. 2023]

New Phytologist, New Phytologist editors (2019). Are calcium oxalate crystals a dynamic calcium store in plants?. 223: 1707–1711. Dostopno na: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/37197/2/Are%20calcium%20oxalate%20crystals%20a%20dynamic%20calcium%20store%20in%20plants.pdf> [Dostop: 14. 1. 2023]

Petauer, T. (1993). *Leksikon rastlinskih bogastev*. Tehniška založba Slovenije.

Prislan, P., idr. (2018). Intra-annual dynamics of phloem formation and ultrastructural changes in sieve tubes in *Fagus sylvatica*. *Tree Physiology*. Dostopno na: [10.1093/treephys/tpy102](https://doi.org/10.1093/treephys/tpy102)

Pongrac P, idr. (2018). Cadmium associates with oxalate in calcium oxalate crystals and competes with calcium for translocation to stems in the cadmium bioindicator *Gomphrena claussenii*. *Metallomics* 10: 1576. Dostopno na: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2018/mt/c8mt00149a>

Prislan, P., Martinez del Castillo, E., idr. (2022). Sample preparation protocol for wood and phloem formation analyses. *Dendrochronologia*. Volume 73. Dostopno na: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2022.125959>

Reece, B. J., idr. (2020). *Campbell biology*.

Rovira, A.D., 1979. Biology of the soil root interface. In: Harley, J.L., Russell, R.S. (Eds.), *The Soil Root Interface*. Academic Press, London, pp. 145–160.

Rewald B., Meinen C., Trockenbrodt M., Ephrath J.E., Rachmilevitch S., 2012. Root taxa identification in plant mixtures - current techniques and future challenges. *Plant and Soil*, 359: 165-182. Dostopno na: https://www.researchgate.net/publication/221709959_Root_taxa_identification_in_plant_mixtures_-_Current_techniques_and_future_challenges

Richter, H.G., and Schmitt, U. (1987). Unusual Crystal Formations in the Secondary Xylem of *Cosmocalyx Spectabilis* Standl. (Rubiaceae). *IAWA Journal* 8, 4, 323-329, Available From: Brill <https://doi.org/10.1163/22941932-90000449> [Dostop:]

Schoch W., Heller I., Schweingruber F.H., Kienast F. (2004): *Wood anatomy of central European Species*. Dostopno na: www.woodanatomy.ch [Dostop:]

Smetana O, Makila R, Lyu M, idr. 2019. High levels of auxin signaling define the stem-cell organizer of the vascular cambium. *Nature* 565: 485–489. Dostopno na: https://www.researchgate.net/publication/330260458_High_levels_of_auxin_signalling_define_the_stem-cell_organizer_of_the_vascular_cambium

Smrekar A., Erhartič B., Šmid Hribar M. (2011). *Krajinski park Tivoli, Rožnik in Šišenski Hrib*, *Georitem* 16,. Dostopno na: https://books.google.si/books?id=d7zIVO9ICO8C&printsec=frontcover&hl=sl&source=gbs_atb#v=onepage&q&f=false [Dostop: 1. 1. 2023]

Strock F. C. in Lynch P. J. (2020). Root secondary growth: an unexplored component of soil resource acquisition. *Annals of Botany*. Dostopno na: 10.1093/aob/mcaa068, available online at www.academic.oup.com/aob

Stone K. R. (2009). *Robinia pseudoacacia*. V: Fire Effects Information System. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory. Dostopno na: <http://www.fs.fed.us/database/feis/> [Dostop:]

Tree dictionary (2008). Woody Stem / Woody Root. Dostopno na: http://www.treedictionary.com/DICT2003/tree_pruning/stem_root/index.html

Tooulakou G, idr. (2016). Alarm photosynthesis: calcium oxalate crystals as an internal CO₂ source in plants. *Plant Physiology* 171: 2577–2585. Dostopno na: [10.1104/pp.16.00111](https://doi.org/10.1104/pp.16.00111)

Torelli, N. (2002). Robinija (*Robinia pseudoacacia* L.) in njen les. *Les (Ljubljana) letnik* 54. številka 1/2, str. 6-10. Dostopno na: <http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:DOC-0YQVM6TV> [Dostop: 15. 1. 2023]

University of Florida (2015). Tree biology - Axial parenchyma. Dostopno na: <https://hort.ifas.ufl.edu/woody/compartments-axial.shtml> [Dostop: 9. 2. 2023]

University of Florida, University of Kentucky, and Texas A&M University (2020). Sclereids. Dostopno na: <https://propg.ifas.ufl.edu/01-biology/02-cell-types/09-celltypes-sclereids.html>

Von Fircks Y, Sennerby-Forsse L. (1998) Seasonal fluctuations of starch in root and stem tissues of coppiced *Salix viminalis* plants grown under two nitrogen regimes. *Tree Physiol.* 18(4):243-249. doi: 10.1093/treephys/18.4.243. PMID: 12651378.

Wheeler, E. A., Baas, P., Gasson, P. E. (1989). IAWA list of microscopic features for hardwood identification. . *IAWA Bulletin n.s.* 10 (3): 219–332. Dostopno na: <https://www.iawa-website.org/uploads/soft/Abstracts/IAWA%20list%20of%20microscopic%20features%20for%20hardwood%20identification.pdf> [Dostop: 3. 2. 2023]

Williams, M. (2019). Review. The development of the periderm: the final frontier between a plant and its environment (COPB). In *Plant Science Research Weekly*, October 25, 2019. Dostopno na: <https://plantae.org/review-the-development-of-the-periderm-the-final-frontier-between-a-plant-and-its-environment-copb/> [Dostop: 29. 1. 2023]

Wimalasekera, R., Scherer, G. F. E. (2022). Nitric Oxide in Plant Biology: An Ancient Molecule with Emerging Roles, chapter 13: Nitric oxide (NO) and lateral root development in

plants under stress, pages: 319-329. Dostopno na: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818797-5.00003-0>

Wraber M. 1951b: Tuje drevesne vrste v naših gozdovih. Gozdarski vestnik, 9: 94-103

ZEISS. ZEISS Axio Imager 2 for Materials Research Open Microscope System for Automated Material Analysis. Dostopno na: <https://www.zeiss.com/microscopy/en/products/light-microscopes/widefield-microscopes/axio-imager-2-for-materials.html> [Dostop: 29. 1. 2023]

8.2 Viri slik

Atlas of plant and animal histology. (2022). Anatomske strukture primarnega ksilema. Dostopno na povezavi: <https://mmegias.webs.uvigo.es/02-english/2-organos-v/imagenes/raices-arcas.png>

Brady, D. J. idr.. Absorpcijska cona korenine, poraščena s koreninskimi lasko. Dostopno na povezavi: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1469-8137.1993.tb03765.x> (stran 4)

CITOTEST Scientific. Centrifugirka (15 mL). Dostopno na povezavi: <https://5irorwxhppnirik.leadongcdn.cn/cloud/lqBprKioRiiSlomimqlqi/15mllixinguan-putong.jpg>

E-učbeniki. Rastni vršiček korenine. Dostopno na povezavi: https://eucbeniki.sio.si/nar6/1549/0310_delitev_celic_rastni_vrsicek3.jpg

Fisher Scientific. Centrifugirka (50 mL). Dostopno na povezavi: https://assets.fishersci.com/TFS-Assets/CCG/Brand/product-images/GID_900000000888535_inspec_3.jpg-650.jpg

IAWA Hardwood Feature List. Izključno posamične traheje. Dostopno na povezavi: <https://insidewood.lib.ncsu.edu/files/insidewood/IAWA.F1.12.pdf> (stran 19)

IAWA Hardwood Feature List. Traheje v dendritičnem vzorcu. Dostopno na povezavi: <https://insidewood.lib.ncsu.edu/files/insidewood/IAWA.F1.12.pdf> (stran 17)

IAWA Hardwood Feature List. Traheje v diagonalnih vzorcih. Dostopno na povezavi: <https://insidewood.lib.ncsu.edu/files/insidewood/IAWA.F1.12.pdf> (stran 15)

IAWA Hardwood Feature List. Traheje v radialnih pasovih. Dostopno na povezavi: <https://insidewood.lib.ncsu.edu/files/insidewood/IAWA.F1.12.pdf> (stran 15)

IAWA Hardwood Feature List. Traheje v radialnih večkratnikih. Dostopno na povezavi: <https://insidewood.lib.ncsu.edu/files/insidewood/IAWA.F1.12.pdf> (stran 21)

IAWA Hardwood Feature List. Traheje v skupkih. Dostopno na povezavi: <https://insidewood.lib.ncsu.edu/files/insidewood/IAWA.F1.12.pdf> (stran 22)

IAWA Hardwood Feature List. Traheje v tangencialnih pasovih (1). Dostopno na povezavi: <https://insidewood.lib.ncsu.edu/files/insidewood/IAWA.F1.12.pdf> (stran 13)

IAWA Hardwood Feature List. Traheje v tangencialnih pasovih (2). Dostopno na povezavi: <https://insidewood.lib.ncsu.edu/files/insidewood/IAWA.F1.12.pdf> (stran 13)

IAWA List of microscopic features for hardwood identification with an Appendix on non-anatomical information. Sklerotizirane tile. Dostopno na povezavi: <https://www.iawa-website.org/uploads/soft/Abstracts/IAWA%20list%20of%20microscopic%20features%20for%20hardwood%20identification.pdf> (stran 44)

IAWA List of microscopic features for hardwood identification with an Appendix on non-anatomical information. Tile. Dostopno na povezavi: <https://www.iawa-website.org/uploads/soft/Abstracts/IAWA%20list%20of%20microscopic%20features%20for%20hardwood%20identification.pdf> (stran 44)

John Bebbington. (2012). Flickr. Prodiranje koreninskega laska skozi primarno skorjo korenine. Dostopno na povezavi: <https://www.flickr.com/photos/71183136@N08/6947183226>

Kamniška Bistrica: Zelena os regije. Listi navadne robinije. Dostopno na povezavi: http://www.zelena-os.si/images/gallery/tujerodne_d.jpg

Kraner, T.. Naravni areal robinije (*Robinia pseudoacacia* L.). Dostopno na povezavi: http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/gozdarstvo/vs1_kraner_teja.pdf (stran 20)

Kutnar, L., Kobler, A.. Prikaz deleža (nivoja) invazivne robinije po gospodarskih območjih ZGS glede na podatke iz leta 2011. Dostopno na povezavi: <https://core.ac.uk/download/pdf/84442647.pdf> (stran 5)

Life habitats Temenica. Plodovi in seme navadne robinije. Dostopno na povezavi: <https://www.lifehabitats.com/cache/d326d23494823ebe/17f68ab3123eb523/robinja%20%28r340x566%29.jpg>

Ljubljana.si. Brsti med dvema trnoma. Dostopno na povezavi: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRdNQ8CIZiKIU4vTG5pyZzwn5J4IsiJVArmg&usqp=CAU>

MDPI. Nastanek stranske korenine. Dostopno na povezavi: https://www.mdpi.com/ijms/ijms-20-00486/article_deploy/html/images/ijms-20-00486-g001.png

MegaShop. Kljunasto merilo. Dostopno na povezavi: https://asset.conrad.com/media10/isa/160267/c1/-/sl/1297541_BB_00_FB/elektronsko-pomicno-merilo-kunzer-7ems01.jpg?ey=280&ex=280&y=280&x=280&align=center

Miamioh education. Floemski trakovi. Dostopno na povezavi: https://www.cas.miamioh.edu/~meicenrd/anatomy/Ch9_Transport/secphloemphot0019.jpg

Microscopy of Nature. Prizmatični kristali (levo) in stiloidi (desno). Dostopno na povezavi: <https://microscopyofnature.com/sites/default/files/2021-10/Prismas-styloiden-Tradescantia-zebrina.jpg>

Morrow M. (2022). Sekundarna rast. Dostopno na povezavi: https://bio.libretexts.org/@api/deki/files/27388/Pinus_root.jpg?revision=2&size=bestfit&width=970&height=729

Mrak T. in Gričar J. (2016). Gozdarski inštitut Slovenije. Aksialni parenhim razporejen difuzno (• pike) in marginalno (* zvezdice). Dostopno na povezavi: <http://eprints.gozdis.si/1666/>

Mrak T. in Gričar J. (2016). Gozdarski inštitut Slovenije. Aksialni parenhim razporejen marginalno (*zvezdice). Dostopno na povezavi: <http://eprints.gozdis.si/1666/>

Mrak T. in Gričar J. (2016). Gozdarski inštitut Slovenije. Skorja navadne robinije. Dostopno na povezavi: <https://en.gozdis.si/novice/tujerodne-drevesne-vrste-robinija/> (v PDF datoteki)

Prasanna. (2021). Learn instas. Sekundarna rast korenine. Dostopno na povezavi: <https://www.learninsta.com/secondary-growth-in-dicot-root/>

Reece, B. J., idr. Zgradba korenine v prečnem prerezu. Dostopno na povezavi: <https://encrypted->

tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTIY4XGaUndjqeq261TUswWmnkPzpu2Jia3T3JeFpBhLi-Zp3e3

ResearchGate. Ksilemske in floemske cevi. Dostopno na povezavi:

<https://i0.wp.com/ibbio.pbworks.com/f/translocation%20of%20sucrose.jpg?zoom=2>

ResearchGate. Plumula in radikula kalčka. Dostopno na povezavi:

https://www.researchgate.net/figure/Diagram-depicting-the-parts-of-groundnut-oilseed_fig2_312643227

Sarthaks eConnect. Primarna skorja, omejena z rizodermom in endodermom. Dostopno na povezavi: https://www.sarthaks.com/?qa=blob&qa_blobid=17772597533392736352

SlidePlayer. Korenina in njeni deli. Dostopno na povezavi:

<https://image.slidesharecdn.com/28lecturepresentation-160426132346/85/biology-in-focus-chapter-28-82-320.jpg?cb=1666620023>

Strock in Lunch (2020). Bitany One. Sekundarna rast korenine. Dostopno na povezavi:

<https://i0.wp.com/botany.one/wp-content/uploads/2020/04/Strock-and-Lunch.-2020.jpg?fit=702%2C856&ssl=1>

Wikipedia. Cvetovi navadne robinije. Dostopno na povezavi:

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/86/Robina9146.JPG/240px-Robina9146.JPG>

Wikipedia. Les navadne robinije v prečnem prerezu. Dostopno na povezavi:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fc/Robinia_pseudoacacia_coupe_MHNT.jpg/220px-Robinia_pseudoacacia_coupe_MHNT.jpg

Williams M. (2019). American Society of Plant Biologists. Sestava periderma. Dostopno na povezavi: <https://plantaef.org/wp-content/uploads/2019/10/periderm.jpg>

University of Florida. Sklereide. Dostopno na povezavi: <https://progp.ifas.ufl.edu/images/01-biology/02-cell-types/celltypesclereids/image1.jpg>

WordPress. Venčasto porozen les (levo), pol venčasto porozen les (sredina), raztreseno porozen les (desno). Dostopno na povezavi:

<https://workingbyhand.files.wordpress.com/2017/06/poreseg4.jpg>

Zeiss. Mikroskop Zeiss Axio Imager Z2. Dostopno na povezavi: https://www.microshop.zeiss.com/data/image/shop-catalog-system/group_10217.jpg

9. PRILOGE

Mikrofotografije napačno nabranega vzorca navadne robinije.

