

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN
OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Primož HABJAN

**VPLIV ŽLEDOLOMA NA PREŽIVETJE DREVES IN
NASTANEK LESA NA PRIMERU BUKVE IN
SMREKE**

MAGISTRSKO DELO

Magistrski študij – 2. stopnja

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Primož HABJAN

**VPLIV ŽLEDOLOMA NA PREŽIVETJE DREVES IN NASTANEK
LESA NA PRIMERU BUKVE IN SMREKE**

MAGISTRSKO DELO
Magistrski študij – 2. stopnja

**EFFECT OF ICE STORM ON SURVIVAL OF TREES AND WOOD
FORMATION IN EUROPEAN BEECH AND NORWAY SPRUCE**

M. Sc. THESIS
Master study Programmes

Ljubljana, 2016

Magistrsko delo je zaključek študija 2. bolonjske stopnje Gozdarstvo in upravljanje gozdnih ekosistemov na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Terensko delo je bilo opravljeno v Arboretumu Volčji Potok. Laboratorijsko delo je bilo opravljeno na Katedri za tehnologijo lesa na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete.

Komisija za študij 1. in 2. stopnje Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete je dne 23. 4. 2015 sprejela temo in za mentorja imenovala doc. dr. Maksa Merele, za somentorico prof. dr. Katarino Čufar, za recenzenta pa prof. dr. Roberta Brusa.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega dela na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je delo, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identično tiskani verziji.

Primož HABJAN

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du2
DK	811.13+423.3:176.1Fagus sylvatica:174.7Picea abies(043.2)=163.6
KG	bukev/ <i>Fagus sylvatica</i> /smreka/ <i>Picea abies</i> /žledolom/poškodbe krošnje/nastajanje lesa/kambij
KK	
AV	HABJAN, Primož
SA	MERELA, Maks (mentor)/ČUFAR, Katarina (somentorica)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
LI	2016
IN	VPLIV ŽLEDOLOMA NA PREŽIVETJE DREVES IN NASTANEK LESA NA PRIMERU BUKVE IN SMREKE
TD	Magistrsko delo (Magistrski študij – 2. stopnja)
OP	X, 83 str., 4 pregl., 45 sl., 30 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	

Po žledolomu 2014 je v gozdovih ostalo veliko poškodovanih, a živih dreves. Ker znanja o dogajanju v poškodovanih drevesih primanjkuje, smo v Arboretumu Volčji Potok izvedli raziskavo na drevesih, ki so v žledolomu utrpela poškodbo krošnje. Izbrali smo 14 bukev in 12 smrek, jih razvrstili v 4 razrede glede na stopnjo poškodovanosti krošnje (K – nepoškodovana, A – do 50 %, B – med 50 in 75 %, C – več kot 75 % poškodovana krošnja), v dvotedenskih intervalih na njih odvzemali mikroizvrtke z orodjem Trephor in opazovali spremembe v krošnjah. Iz mikroizvrtkov smo pripravili mikroskopske preparate lesa, kambija in skorje in jih analizirali s svetlobnim mikroskopom in sistemom za analizo slike. Poškodovanost krošnje ni vplivala na čas olistanja pri bukvi in pojav mladih poganjkov pri smreki. Bukve so revitalizirale svoje krošnje različno uspešno ne glede na stopnjo poškodbe krošnje. Smreke še niso revitalizirale svojih krošenj. Poškodovane bukke so proizvedle od 20 do 95 %, poškodovane smreke pa 35 % ožje ksilemske branike kot nepoškodovane. Manjši je bil tudi prirastek floema. Produkcija lesa se je v poškodovanih bukvah začela in zaključila prej kot v nepoškodovanih, na drugi strani se je v poškodovanih smrekah začela kasneje in zaključila prej kot v nepoškodovanih. Izmed štirih razredov poškodovanosti so se pri bukvi največje razlike v kambijevi aktivnosti pokazale med razredoma A in B, pri smreki pa med razredoma K in A.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Du2
 DC FDC 811.13+423.3:176.1Fagus sylvatica:174.7Picea abies(043.2)=163.6
 CX European beech/*Fagus sylvatica*/Norway spruce/*Picea abies*/ice
 storm/sleet/crown injury/wood formation/cambium
 CC
 AU HABJAN, Primož
 AA MERELA, Maks (supervisor)/ČUFAR, Katarina (co-advisor)
 PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
 PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Forestry and
 Renewable Forest Resources
 PY 2016
 TI EFFECT OF ICE STORM ON SURVIVAL OF TREES AND WOOD
 FORMATION IN EUROPEAN BEECH AND NORWAY SPRUCE
 DT M. Sc. Thesis (Master Study Programmes)
 NO X, 83 p., 4 tab., 45 fig., 30 ref.
 LA sl
 AL sl/en
 AB

After the severe ice storm of 2014 a high number of damaged trees were not removed from forests. Due to lack of general knowledge about processes occurring in damaged trees, a study involving 14 European beech and 12 Norway spruce trees was conducted in Arboretum Volčji Potok. Trees were categorized by crown injury; injury class K – undamaged, A – damaged less than 50 %, B – damaged between 50 and 75 % or C – damaged more than 75 %. During the 2014 growth season microcores were collected every fortnight using a Trephor tool. Changes in crowns were also observed and noted. Transverse sections of microcores were prepared and observed using light microscopy and a picture analysis system. Crown injury had no effect on leaf unfolding date in beech and young sprouts occurrence in spruce. Success of crown restoration in beech differed from tree to tree regardless of severity of crown injury. No crown restoration was seen in spruce. On average, xylem rings were 20 to 95 % narrower in damaged beech trees and 35 % narrower in damaged spruce trees compared to the undamaged trees. Damaged trees also produced narrower phloem rings. In damaged beech trees xylogenesis started and finished sooner than in undamaged ones. On the other hand xylogenesis started later and finished sooner in damaged spruce trees compared to the undamaged ones. The biggest differences in cambial activity in beech appeared between class A and class B, and in spruce between class K and class A.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	VII
KAZALO SLIK.....	VIII

1	UVOD	11
2	PREGLED OBJAV	13
2.1	SPLOŠNI OPIS BUKVE	13
2.1.1	Les bukve.....	14
2.1.2	Sekundarni floem bukve	15
2.2	SPLOŠNI OPIS SMREKE	15
2.2.1	Les smreke.....	16
2.2.2	Sekundarni floem smreke	18
2.3	NASTAJANJE LESA IN SEKUNDARNEGA FLOEMA	18
2.3.1	Vaskularni kambij in delitev celic.....	18
2.3.1.1	Diferenciacija celice.....	19
2.3.2	Sezonska aktivnost kambija	20
2.3.2.1	Fenologija listov in kambija.....	22
2.3.3	Razmerje med ksilemsko in floemsko braniko	23
2.4	NARAVNE UJME	23
2.4.1	Žled	23
2.4.2	Vremenska situacija ob žledolomu 2014 (povzeto po Sneg, žled ..., 2014).....	25
2.4.3	Obremenitve drevesa zaradi žleda (povzeto po Kotar, 2005).....	26
2.4.3.1	Stabilnost drevesa	26
2.4.3.2	Učinek teže žleda	27
2.4.4	Posledice žledoloma 2014	27
2.4.5	Vpliv poškodb krošnje na preživetje dreves in nastajanje lesa.....	29
3	MATERIAL IN METODE	32
3.1	LOKACIJA IN ZNAČILNOSTI RAZISKOVALNE PLOSKVE	32
3.2	IZBIRA DREVES	32
3.3	ODVZEM MIKROIZVRTKOV	35
3.4	SPREMLJANJE FENOLOGIJE LISTOV IN SPREMEMB V KROŠNJI.....	37
3.5	PRIPRAVA MIKROSKOPSKIH PREPARATOV	37
3.6	MIKROSKOPIRANJE IN OBDELAVA PODATKOV.....	39
4	REZULTATI.....	41
4.1	ODZIV BUKVE NA POŠKODBE	41
4.1.1	Fenologija dreves	41
4.1.2	Revitalizacija krošnje	42
4.1.3	Ksilemska branika.....	44
4.1.3.1	Dinamika nastajanja ksilemske branike	44
4.1.3.2	Končna širina ksilemske branike.....	44
4.1.4	Floemska branika	46
4.1.4.1	Končna širina floemske branike	46
4.1.4.2	Zgradba floemske branike in izostanek kasnega floema	47

4.1.5	Razmerje med širino floemske in ksilemske branike	48
4.1.6	Primerjava širin ksilemskih branik 2014 in 2013	49
4.1.7	Fenologija kambija	50
4.1.7.1	Nastajanje ksilema	50
4.1.7.2	Nastajanje floema	53
4.1.7.3	Kambijeva aktivnost in čas olistanja	54
4.2	ODZIV SMREKE NA POŠKODBE	55
4.2.1	Revitalizacija krošnje	55
4.2.2	Ksilemska branika	55
4.2.2.1	Dinamika nastajanja ksilemske branike	55
4.2.2.2	Končna širina ksilemske branike	56
4.2.3	Floemska branika	59
4.2.3.1	Končna širina floemske branike	59
4.2.4	Razmerje med širino floemske in ksilemske branike	60
4.2.5	Primerjava širin ksilemskih branik 2014 in 2013	61
4.2.6	Fenologija kambija	61
4.2.6.1	Nastajanje ksilema	61
4.2.6.2	Nastajanje floema	63
4.2.6.3	Kambijeva aktivnost in čas pojava mladih poganjkov	64
5	RAZPRAVA	66
5.1	FENOLOGIJA DREVES	66
5.2	REVITALIZACIJA KROŠNJE IN PREŽIVETJE DREVES	66
5.3	KSILEMSKA BRANIKA	67
5.4	FLOEMSKA BRANIKA	68
5.5	RAZMERJE MED ŠIRINO FLOEMSKE IN KSILEMSKE BRANIKE	68
5.6	RAZMERJE MED ŠIRINAMA BRANIK 2014 IN 2013	68
5.7	FENOLOGIJA KAMBIJA	69
5.8	VARIABILNOST ŠIRIN BRANIK PO OBODU	71
5.9	MOŽNOSTI ZA NADALJNJE RAZISKAVE	71
6	SKLEPI	73
7	POVZETEK	75
8	VIRI	79
	ZAHVALA	83

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Pregled posledic večjih naravnih ujm (vir: Naravne ujme ..., 2014).....	23
Preglednica 2: Vzorčna drevesa po razredih poškodovanosti z njihovo starostjo in prsnim premerom.....	33
Preglednica 3: Datumi opravljenih vzorčenj.	35
Preglednica 4: Datumi odvzema izvrtkov, iz katerih smo pripravili preparate.	39

KAZALO SLIK

Slika 1: Prečni, radialni in tangencialni prerez lesa bukve (od leve proti desni).	14
Slika 2: Prečni, radialni in tangencialni prerez smreke (od leve proti desni).	17
Slika 3: Faze diferenciacije celic pri bukvi (levo) in smreki (desno).	20
Slika 4: (a) dormanten in (b) aktiven kambij pri bukvi; (c) dormanten in (d) aktiven kambij pri smreki. Puščica označuje celice kambijeve cone.	21
Slika 5: Vertikalna sondaža nad Ljubljano 2. 2. 2014 zgodaj zjutraj prikazuje izrazit temperaturni obrat. Razvidna je negativna temperatura zraka v nižjih plasteh ozračja in izrazit klin toplega zraka nad njim. Puščice na desni kažejo smer vetra. V nižinah je bilo mirno oz. je pihal rahel vzhodnik, više je pihal veter južnih smeri (vir: Sneg, žled ..., 2014).	25
Slika 6: Gozd na Postojnskem v ledenem oklepu (Foto: Tonček Jerič, vir: Načrt ..., 2014).	28
Slika 7: Žledolom 2014: poškodovanost gozdov po gozdnogospodarskih enotah (vir: Načrt ..., 2014).	29
Slika 8: Skice poškodovanih dreves. (a) poškodovanost krošnje do 50 %; (b) poškodovanost krošnje med 50 in 75 %; (c) poškodovanost krošnje nad 75 % (Shortle in Smith, 2014).	30
Slika 9: Označeno območje znotraj Arboretuma Volčji Potok, kjer smo vzorčili testna drevesa.	32
Slika 10: Primeri dreves po razredih poškodovanosti. (a) bukev razreda A (4. 4. 2014); (b) bukev razreda B (19. 4. 2014); (c) bukev razreda C (4. 4. 2014); (d) smreka razreda A (27. 3. 2014); (e) smreka razreda B (9. 6. 2014); (f) smreka razreda C (9. 6. 2014) (Foto: P. Habjan in M. Merela).	34
Slika 11: Zabijanje Trephorja v deblo (Foto: M. Merela).	36
Slika 12: Mikroizvrtek se ujame v Trephor (Foto: M. Merela).	36
Slika 13: Levo: faza mladih poganjkov pri smreki (vir: Žust, 2015); desno: olistanje pri bukvi (Foto: M. Merela).	37
Slika 14: Levo: mikroizvrtek v parafinskem bloku; desno: rezanje na rotacijskem mikrotomu (Foto: A. Balzano).	38
Slika 15: Levo: odstranjevanje parafina in barvanje preparatov; desno: vklapljanje v Euparal (Foto: P. Habjan).	39
Slika 16: Spremljanje fenologije listov v letu 2014 na primeru bukve št. 1 (razred C). (a) 4. 4. – brsti so še zaprti; (b) 12. 4. – začetek faze olistanja; (c) 21. 6. – vidni so epikormski poganjki; (d) 10. 10. – splošno rumenenje listov še ni nastopilo (Foto: P. Habjan).	41
Slika 17: Vrh drevesa št. 3 (razred B). (a) 10. 5. 2014; (b) 10. 10. 2014 (Foto: P. Habjan)	42
Slika 18: Deblo drevesa št. 10 (razred A). (a) 4. 4. 2014; (b) 18. 7. 2014 (Foto: P. Habjan)	43
Slika 19: Mesto poškodbe na drevesu 6 (razred B) dne 21. 6. 2014. (Foto: P. Habjan)	43
Slika 20: Dinamika nastajanja ksilemske branike po razredih poškodovanosti (bukve). ...	44
Slika 21: Širina ksilemske branike 2014 po razredih poškodovanosti (bukve). Siva črta predstavlja povprečno širino branike na rastišču na Panški reki. Ročaji prikazujejo standardni odklon.	45

Slika 22: Primerjava letnih prirastkov (bukev). Od leve proti desni si sledijo prečni prerezi tipičnih branik iz razreda K (drevo št. 27), A (drevo št. 10), B (drevo št. 3) in C (drevo št. 1). Daljica predstavlja 100 µm.	46
Slika 23: Končna širina floemske branike (bukev). EP – rani floem; LP – kasni floem. Ročaji prikazujejo standardni odklon od povprečja skupne (EP + LP) širine floemske branike v posameznem razredu poškodovanosti.	47
Slika 24: Primerjava nastalih floemskih branik (26. 9. 2014) (EP – rani floem, AP – aksialni parenhim, LP – kasni floem, CC – kambijeva cona). (a) V braniki drevesa št. 2 je viden širok pas kasnega floema. (b) V braniki drevesa št. 6 aksialnega parenhima in kasnega floema ni.	48
Slika 25: Razmerja med floemskimi in ksilemskimi branikami pri preiskovanih bukvah. Razmerja so izračunana iz povprečij vseh dreves v posameznih razredih poškodovanosti.	49
Slika 26: Vrednosti indeksa 14/13 po razredih poškodovanosti (bukev).	50
Slika 27: Začetek nastajanja ksilemskih celic po posameznih razredih poškodovanosti krošnje (bukev). Siva črta predstavlja datum začetka z rastišča na Panški reki. Ročaji prikazujejo standardni odklon.	51
Slika 28: Konec nastajanja ksilemskih celic po posameznih razredih poškodovanosti krošnje (bukev). Siva črta predstavlja zaključek nastajanja ksilema z rastišča na Panški reki. Ročaji prikazujejo standardni odklon.	51
Slika 29: Konec diferenciacije ksilemskih celic po posameznih razredih poškodovanosti krošnje (bukev). Siva črta predstavlja zaključek diferenciacije na rastišču na Panški reki. Ročaji prikazujejo standardni odklon.	52
Slika 30: Obdobje nastajanja lesa po posameznih razredih poškodovanosti krošnje (bukev). Sivo polje predstavlja trajanje nastajanja lesa v drevesih na Panški reki.	53
Slika 31: Začetek nastajanja floemskih branik po posameznih razredih poškodovanosti krošnje (bukev). Ročaji prikazujejo standardni odklon.	53
Slika 32: Začetek nastajanja celic kasnega floema po posameznih razredih poškodovanosti krošnje (bukev). Ročaji prikazujejo standardni odklon.	54
Slika 33: Časovna primerjava olistanja in začetka nastajanja ksilemskih in floemskih branik (bukev). PC – faza postkambialne rasti; EP – rani floem. Ročaji prikazujejo standardni odklon.	55
Slika 34: Dinamika nastajanja ksilemske branike po razredih poškodovanosti (smreka)... ..	56
Slika 35: Širina ksilemske branike po razredih poškodovanosti (smreka). Ročaji prikazujejo standardni odklon.	57
Slika 36: Primerjava prečnih prerezov branik raziskanih smrek. Od leve proti desni si sledijo branike iz razreda K (drevo št. 15), A (drevo št. 21), in B (drevo št. 23). Daljica predstavlja 100 µm.	58
Slika 37: Končna širina floemske branike (smreka). Ročaji prikazujejo standardni odklon.	59
Slika 38: Število celic ranega (EP) in kasnega (LP) floema v floemski braniki ob koncu rastne sezone. Ročaji prikazujejo standardni odklon.	60
Slika 39: Razmerje med širino floemskih in ksilemskih branik pri raziskanih smrekah. Razmerja so izračunana iz povprečij vseh raziskanih dreves v posameznih razredih poškodovanosti.	60
Slika 40: Vrednosti indeksa 14/13 po razredih poškodovanosti (smreka).	61
Slika 41: Začetek nastajanja ksilemskih celic po posameznih razredih poškodovanosti krošnje (smreka). Ročaji prikazujejo standardni odklon.	62

Slika 42: Čas zaključka nastajanja ksilemskih celic po posameznih razredih poškodovanosti krošnje (smreka). Ročaji prikazujejo standardni odklon.	62
Slika 43: Obdobje nastajanja lesa po posameznih razredih poškodovanosti krošnje (smreka).	63
Slika 44: Začetek nastajanja celic kasnega floema po posameznih razredih poškodovanosti krošnje (smreka). Ročaji prikazujejo standardni odklon.	64
Slika 45: Časovna primerjava pojava mladih poganjkov in začetka nastajanja ksilemskih in floemskih branik (smreka). PC – faza postkambialne rasti; EP – rani floem. Ročaji prikazujejo standardni odklon.	65

1 UVOD

Navadna bukev (*Fagus sylvatica* L.) in navadna smreka (*Picea abies* (L.) Karst.) sta najpogostejši in gospodarsko najpomembnejši drevesni vrsti v Sloveniji. Pojavljata se v večini Slovenije, njun les pa je uporaben na veliko področjih. Nastajanje lesa (ksilema) in skorje (floema) pri omenjenih vrstah je bilo v zadnjih letih dobro raziskano (npr. Čufar in sod., 2012b, 2015; Gričar, 2007; Gričar in sod., 2014; Prislan, 2012; Prislan in sod., 2013). Pričujoče raziskave, ki so bile opravljene na zdravih in nepoškodovanih drevesih, so dale odgovore na številna vprašanja o nastajanju ksilema in floema v povezavi z vremenskimi in klimatskimi razmerami. Na drugi strani raziskav o kambijevi aktivnosti v poškodovanih drevesih ni veliko.

Na prehodu iz januarja v februar leta 2014 se je zgodil najobsežnejši do sedaj dokumentiran žledolom na območju Republike Slovenije. Ujma je povzročila ogromno škodo na infrastrukturi, prizadela pa je tudi večino gozdne površine v Sloveniji. Velike količine žledu na drevesih so pustile strahotne posledice v obliki izruvanih in podrtih dreves, odlomljenih ali prelomljenih debel, odlomljenih večjih in manjših vej, odlomljenih vrhovih krošenj itd. Sanacija je bila potrebna na 51 % površine slovenskih gozdov. Količina lesne mase, potrebne poseka, je bila ocenjena na 9,3 milijona m³ (Načrt ..., 2014). Pri izdelavi sanacijskega načrta so ključni podatki, katera drevesa je treba sanirati takoj, katera lahko kasneje in katerih sploh ni treba sanirati. Slednja bodo ostala v gozdovih, vendar ne vemo, kako bodo v prihodnosti priraščala, kakšne kvalitete bo njihov les in ali bodo dolgoročno sploh preživela poškodbo zaradi žledoloma.

Po žledolomu je v gozdovih ostalo ogromno različno poškodovanih dreves. To je bila idealna priložnost za raziskavo na živih, a poškodovanih drevesih. Ker na splošno primanjkuje znanja za napoved dogajanj v takih drevesih, smo v okviru te magistrske naloge opravili raziskavo, s katero bi pojasnili odziv dreves na poškodbo krošnje. Naša dognanja bi lahko bila uporabna pri snovanju prihodnjih načrtov sanacije gozdov. Pri sanaciji je pomembno vedeti, katera drevesa po poškodbi priraščajo nespremenjeno ali malenkost manj in katera priraščajo le toliko, da komaj lahko preživijo. Slednja je potrebno odstraniti, saj zavirajo razvoj gozdov, ne izkoriščajo produkcijske sposobnosti rastišča in

dolgoročno zavirajo prirastek lesne zaloge. Da bi dobili vpogled v odziv dreves, poškodovanih zaradi žleda, smo v rastni sezoni 2014 v Arboretumu Volčji Potok spremljali razvoj in spremembe krošenj ter kambijevo aktivnost 14 navadnih bukev in 12 navadnih smrek z različno stopnjo poškodovanosti krošnje.

Cilji naloge so bili:

- spremljati odziv dreves na poškodbe,
- spremljati kambijevo aktivnost na vseh proučevanih drevesih,
- poiskati zveze med stopnjo poškodovanosti dreves in nastankom lesa.

Hipoteze, ki smo jih postavili, so:

- poškodovana drevesa bodo preživela del rastne sezone,
- majhna poškodovanost krošnje ne vpliva na nastanek lesa,
- različna stopnja poškodovanosti krošnje različno vpliva na nastanek lesa.

2 PREGLED OBJAV

2.1 SPLOŠNI OPIS BUKVE

Navadna bukev (*Fagus sylvatica* L.) je do 40 m visoko listopadno drevo z veliko, zaobljeno krošnjo in razvejanim, srednje globokim srčastim koreninskim sistemom. Najvišje buke na Slovenskem rastejo med Dvorom in Sotesko na pobočjih desnega brega Krke. Dosegajo do 46 m in so med najvišjimi bukvami na svetu. Bukev je enodomna in vetrocvetna vrsta. Deblo je ravno in občasno razvito do vrha krošnje. Skorja je siva in gladka, le pri starejših osebkih je lahko v spodnjem delu debla tudi razpokana. Veje so razmeroma tanke in usmerjene navzgor. Ima značilne podolgovate, s svetlo rjavimi luskolisti pokrite ostro zašiljene brste, ki so na pokončnih poganjkih nameščeni premenjalno sicer pa bolj ali manj dvoredno. Listi so enostavni, podolgovato jajčasti, 6–10 cm dolgi in 3–7 cm široki z valovitim listnim robom (Brus, 2008).

Glede na lesno zalogo je s 32,2 % naša najpogostejša drevesna vrsta. Njen delež v zadnjih desetih letih malenkostno raste (Poročilo Zavoda ..., 2015). Ob smreki je naša gospodarsko najpomembnejša drevesna vrsta (Brus, 2008).

Bukev najraje raste na svežih in vlažnih rastiščih z globokimi in odcednimi tlemi. Ne mara zbitih, plitvih, peščenih, ilovnatih ali močvirnih tal. Raste tako na bazični kot kisli matični podlagi. Ne uspeva na področjih z manj kot 600 mm padavin letno. Za dobro uspevanje potrebuje vsaj pet mesecev vegetacijske dobe (Brus, 2008).

Tvori sestoje z zelo gosto sklenjenimi krošnjami, kar nakazuje na njeno sencozdržnost. V mladosti je desetletja sposobna čakati na svetlobni jašek. Prav sposobnost pomlajevanja v zelo senčnih razmerah ji daje prednost pred drugimi vrstami, ki jih zna tudi izrinjati. Ko dobi dovolj svetlobe, raste razmeroma hitro. Pri nas doživi starosti 200–300 let (Brus, 2008).

V Sloveniji je naravno razširjena povsod razen v nižinah severovzhodne in osrednje Slovenije in na suhih rastiščih na Primorskem. Uspeva od nižin do 1600 m n. v., marsikje tudi do zgornje gozdne meje. Raste predvsem v Alpah, Dinarskem gorovju, Hercinskem

gorovju, Karpatih in po nižinah severne Evrope skoraj do severa Skandinavije, od koder se širi tudi na vzhod (Brus, 2008).

2.1.1 Les bukve

Osnovno tkivo predstavljajo vlakna in opravljajo predvsem mehansko funkcijo, sodelujejo tudi pri prevajanju vode. Traheje (prevodna funkcija) so sestavljene iz trahejnih členov, ki so relativno dolgi in zašiljeni z lestvičastimi ali enostavnimi perforacijami. Traheje so razporejene difuzno, njihove dimenzije in število pa se proti kasnemu lesu manjšajo. Parenhimske celice prevajajo in skladiščijo ogljikove hidrate. Aksialni parenhim je praviloma apotrahealen (ni v stiku s trahejo), razporejen difuzno ali difuzno v agregatih. Trakovi so dveh velikosti: 2–4-redni in nizki ter nad 10-redni in nad 1 mm visoki. Za široke trakove so značilne kolenčaste razširitve ob letnici (Čufar, 2006; Prislan, 2012). Videz bukovega lesa pod mikroskopom je prikazan na Sliki 1.



Slika 1: Prečni, radialni in tangencialni prerez lesa bukve (od leve proti desni).

Bukovina je rdečkastobel trd in gost les s povprečno gostoto v absolutno suhem stanju 680 kg/m^3 . Bukev nima obarvane jedrovine, pogosto ima diskoloriran les, imenovan rdeče srce. Les ima razločne branike s temnejšim kasnim lesom zaradi manjšega deleža trahej v njem. Široki trakovi so na radialnem prerezu vidni kot velika zrcalca, na tangencialnem pa kot rjava vretenca. Bukovina ni posebej dekorativna, je pa izjemno široko uporabna. Zelo se krči, poka in nabreka. Ima nadpovprečne trdnostne lastnosti, je zelo žilava, trdna in malo

elastična. Po parjenju se dobro upogiba. Nezaščiten je podvržen okužbi s škodljivci. Je dobro impregnabilna z izjemo rdečega srca. Železniški pragovi, impregnirani s kreozotnim oljem, dosegajo življenjsko dobo 40 let. Lepo se obdeluje, žeblja, vijači in lepi. Iz nje se lepo lušči in reže furnirje. Brez težav se lakira. Uporablja se v gradbenem mizarstvu, pohištveni industriji, za izdelavo talnih oblog in opažev idr. Je osnovni material za izdelavo oplemenitenih lesnih tvoriv. Do sredine 19. stol. so jo uporabljali skoraj izključno za kurjavo. Iz nje so izdelovali tudi oglje. Raba bukovine v energetske namene ponovno narašča (Čufar, 2006; Čufar in sod., 2012a).

2.1.2 Sekundarni floem bukve

Ob kambiju je nekolabirani floem, ki ga tvorijo nekolabirane sitaste cevi, celice spremljevalke in parenhimske celice radialnih trakov ter aksialnega parenhima. V nekolabiranem floemu ločimo rani in kasni floem, ki ga loči tangencialni pas aksialnega parenhima. Sitaste cevi ranega in kasnega floema so različne. V ranem floemu imajo lumne velike približno 50 μm v premeru, v kasnem floemu pa okoli 30 μm . Širina ranega floema je bolj ali manj konstantna, medtem ko širina kasnega floema precej variira in utegne biti relevanten pokazatelj fiziološkega stanja drevesa (Prislan, 2012; Čufar in sod., 2012b).

Sitaste cevi prevajajo hranilne snovi eno ali dve sezoni, nato odmrejo in kolabirajo. Kolabirani floem predstavlja večino skorje. Trakovi so tako kot v lesu dvo- do štiri- ali več kot desetredni. V kolabiranem delu floema so močno zverženi. V procesu sekundarnih sprememb se stene parenhimskih celic odebelijo in lignificirajo. Iz parenhimskih celic nastanejo sklereide, ki se združujejo v gnezda. Njihovo število narašča proti starejšemu floemu. Široki trakovi sklerificirajo v sklerenhimske čepe. Sklerificirano tkivo daje skorji mehansko trdnost in trdoto, obenem pa predstavlja dilatacijsko tkivo, ki omogoča debelinsko rast stebela z večanjem obsega (Prislan, 2012).

2.2 SPLOŠNI OPIS SMREKE

Navadna smreka (*Picea abies* (L.) Karst.) je do 50 m visoko vednozeleno iglasto drevo s stožčasto krošnjo in plitvim koreninskim sistemom. Je enodomna in vetrocvetna vrsta.

Običajno ima polnolesno deblo z vejami, nanizanimi v vejnih vencih. Skorja je rdečkasta, v mladosti gladka, nato se pojavi lubje, ki odpada v obliki zaobljenih ploščic oz. lusk. Po poganjku ima spiralno razmeščene 1–2,5 cm dolge in do 1 mm široke iglice, ki so v prečnem prerezu rombaste oblike. Zreli storži so rjavkasti, viseči in dolgi 10–16 cm ter debeli 3–4 cm (Brus, 2008).

V lesni zalogi slovenskih gozdov predstavlja 30,9 % in je za bukvijo druga najpogostejša vrsta. V zadnjih letih se njen delež vsako leto zmanjša za približno 0,2 % (Poročilo Zavoda ..., 2015). V preteklosti je bila zaradi hitre in ravne rasti ter kakovostnega lesa zelo priljubljena, zato so jo od druge polovice 19. stoletja močno pospeševali (Brus, 2008).

Ima široko ekološko amplitudo, zato so jo uspešno naselili tudi izven njenih naravnih rastišč. Najraje ima sveža in zračna tla, ne glede na matično podlago. Potrebuje zračno vlago, ne prenese suše in vročine, zato v nižinah uspeva slabo. Tu sneg in žled drevesom lomita vrhove. Dobro uspeva na hladnih rastiščih. Zaradi plitvega koreninskega sistema je predvsem v čistih smrekovih sestojih pogosta žrtev vetroloma. V nižinah in toplejših legah je sencozdržna, v višjih legah, na suhih tleh in v mladosti pa polsvetloljubna. Njena vegetacijska doba lahko znaša tudi samo dva meseca (Brus, 2008).

Je borealno alpska vrsta. Raste v Alpah, Dinarskem gorovju, Hercinskem gorovju in Karpatih. Na severu raste po nižinah in sega vse do severa Skandinavije, na vzhod pa se širi v Rusijo. Pri nas na njenih naravnih rastiščih raste le med 800 in 1800 m n. v. v Alpah in Dinaridih, izjemoma tudi malo pod 800 m v hladnih dolinah predalpskega sveta. Marsikje gradi zgornjo gozdno mejo. Sajena in pospeševana raste po vsej Sloveniji razen na močvirnih in obrečnih predelih ter v suhih predelih Primorske (Brus, 2008).

Pri Ribnici na Pohorju raste najvišja izmerjena navadna smreka na svetu, Sgermova smreka. V juniju 2012 so ji izmerili višino 62,26 m (Monumental trees, 2016).

2.2.1 Les smreke

Do 95 % vsega lesnega tkiva predstavljajo aksialne traheide – mrtve neperforirane celice. Urejene so v radialnih nizih (vse so potomke iste kambijeve inicialke). Na začetku rastne sezone nastajajo traheide z velikimi radialnimi dimenzijami, velikimi lumni in tankimi

stenami (pomembne za prevajanje vode), proti koncu pa nastajajo traheide z manjšimi radialnimi dimenzijami, manjšimi lumni, a debelejšimi stenami (pomembne za mehansko stabilnost). Smolni kanali so prisotni večinoma le v kasnem lesu. Trakovi so enoredni, večredni so le vretenasti trakovi, ki vsebujejo radialni smolni kanal (Gričar, 2007). Videz smrekovega lesa pod mikroskopom je prikazan na Sliki 2.



Slika 2: Prečni, radialni in tangencialni prerez smreke (od leve proti desni).

Smrekovina je mehek in srednje gost les svetlorumene, v starosti tudi rumenkastorjave barve s povprečno gostoto v absolutno suhem stanju 430 kg/m^3 . Ima neobarvano jedrovino. Širine branik zelo variirajo, a jih običajno lahko vidimo s prostim očesom. Smolni kanali so večinoma vidni le z lupo. Pogosto ima smolne žepke. Les je glede na nizko do srednjo gostoto razmeroma elastičen in trden. Suši se brez težav, krčenje je zmerno, ni nagnjena k zvijanju in pokanju. Z lahkoto se obdeluje z ročnimi orodji in strojno. Dobro se obdeluje z laki, se lepi, žeblija in vijači. Nezaščiten je le zmerno odporna proti atmosferilijam in neodporna proti škodljivcem. Kemično je skoraj nereaktivna, saj običajno vsebuje malo ekstraktivov. Rahlo se obarva le ob stiku z železom. Impregnabilnost je zadovoljiva ob uporabi visokega tlaka. Uporabna je v mnoge namene. Najbolj je zaželena v gradbeništvu kot les za konstrukcije in notranjo opremo, za ostrešja in skeletno gradnjo. Uporabljajo jo za izdelavo oken, vrat, ograj, drogov, embalaže in izdelkov v pohištveni industriji. Primerna je za izdelavo lesnih tvoriv, celuloze in papirja (Čufar, 2006).

Posebej cenjena je resonančna smrekovina, ki ima posebne akustične lastnosti in je zato zelo iskana med izdelovalci glasbil. Najboljša resonančna smrekovina v Sloveniji raste na Jelovici, Pokljuki in nad vasjo Draga na Kočevskem (Brus, 2008).

2.2.2 Sekundarni floem smreke

Zgradba skorje smreke je razmeroma preprosta. Prevajalno funkcijo opravljajo žive sitaste celice, ki so urejene v radialnih nizih in tvorijo nekolabiran floem. Po enem ali dveh letih kolabirajo in postanejo del kolabiranega floema. Floemski trakovi so sestavljeni iz parenhimskih in Strassburgerjevih celic. Kolabirani floem sega do najglobljega (najmlajšega) periderma. Lubje ima več peridermov. V floemski braniki ločimo rani in kasni floem, ki ga razmejuje tangencialni pas aksialnega parenhima (Gričar, 2007).

2.3 NASTAJANJE LESA IN SEKUNDARNEGA FLOEMA

2.3.1 Vaskularni kambij in delitev celic

Vaskularni kambij je sekundarni meristem (tvorno tkivo), ki ga najdemo ob straneh poganjkov lesnatih rastlin in omogoča sekundarno debelitev stebela in korenin. Proti strženu proizvaja sekundarni ksilem (les), navzven pa sekundarni floem. Rezultat njegovega delovanja je povečevanje premera debla in debeline skorje. Za območje kambija navadno uporabljamo termin kambijeva cona, ki predstavlja pas kambijevih inicialk in njihovih derivatov (diferencirajočih se celic) (Čufar, 2006).

Celice se delijo v dveh ravninah. V tangencialni ravnini potekajo perikline delitve, ki omogočajo povečevanje premera debla. V radialni ravnini pa potekajo psevdotransverzalne delitve, s katerimi se množi število kambijevih inicialk, s čimer se povečuje se obseg kambija (Čufar, 2006).

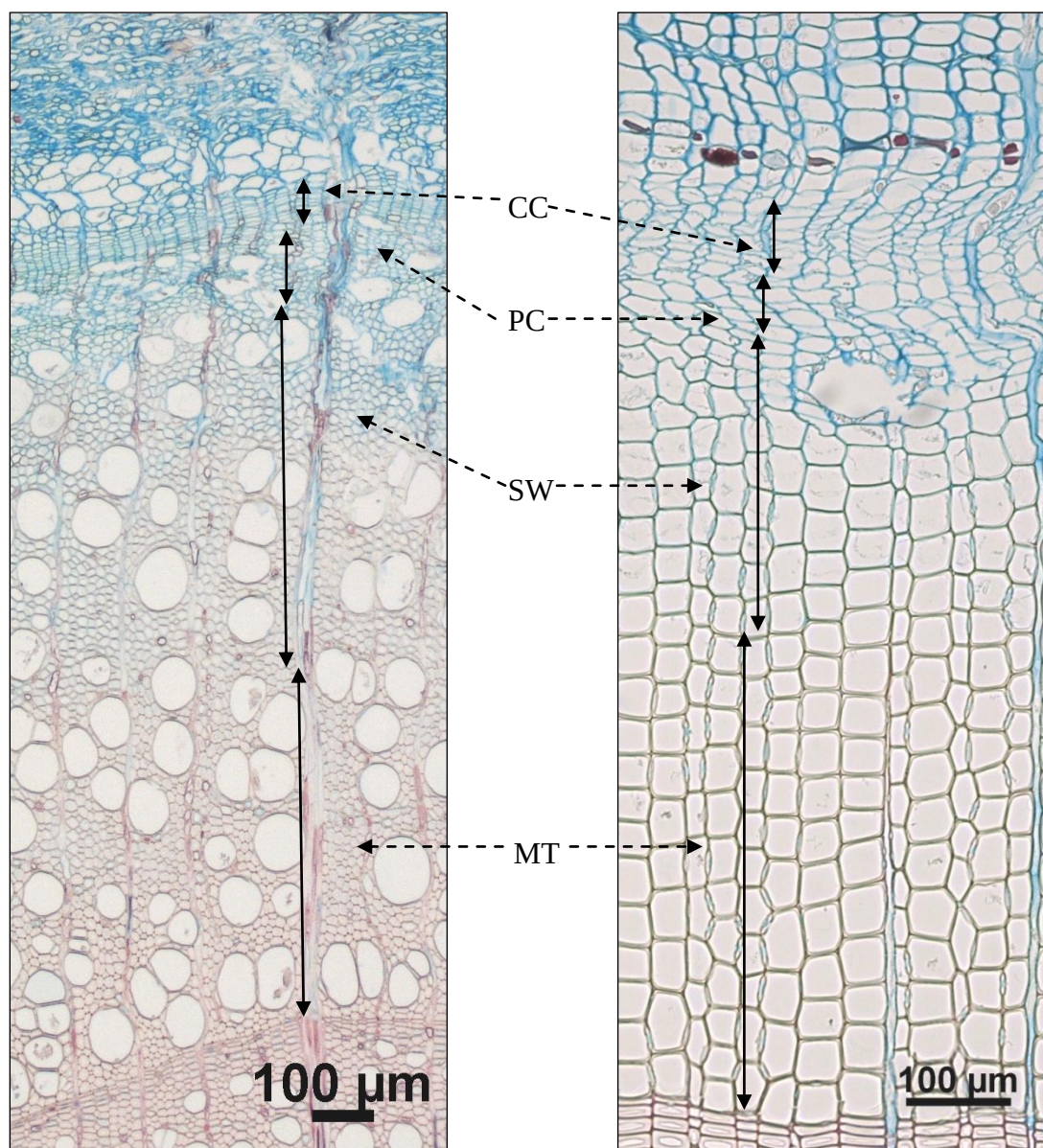
V procesu delitve kambijevih inicialk ločimo tri faze:

- delitev – delitev celičnega jedra in organelov ter oblikovanje nove celične stene,
- determinacijo – odločitev, katera celica bo nastala, in
- diferenciacijo – rast in razvoj celice.

2.3.1.1 Diferenciacija celice

Diferenciacija celice poteka v več fazah (Slika 3) (Gričar, 2007; Prislan in sod., 2009):

- postkambialna rast (PC – postcambial growth) – povečuje se obseg celice (predvsem z rastjo v radialni smeri) in dolžina celice, oblikuje se primarna celična stena;
- debelitev celične stene (SW – secondary wall formation) – na primarno celično steno se odlagajo še druge plasti stene,
- lignifikacija (olesenitev celične stene) – odlaga se lignin,
- programirana celična smrt (MT – mature cells) – citoplazma se razkroji, celica odmre in postane prazna cevka, ki opravlja svojo funkcijo.



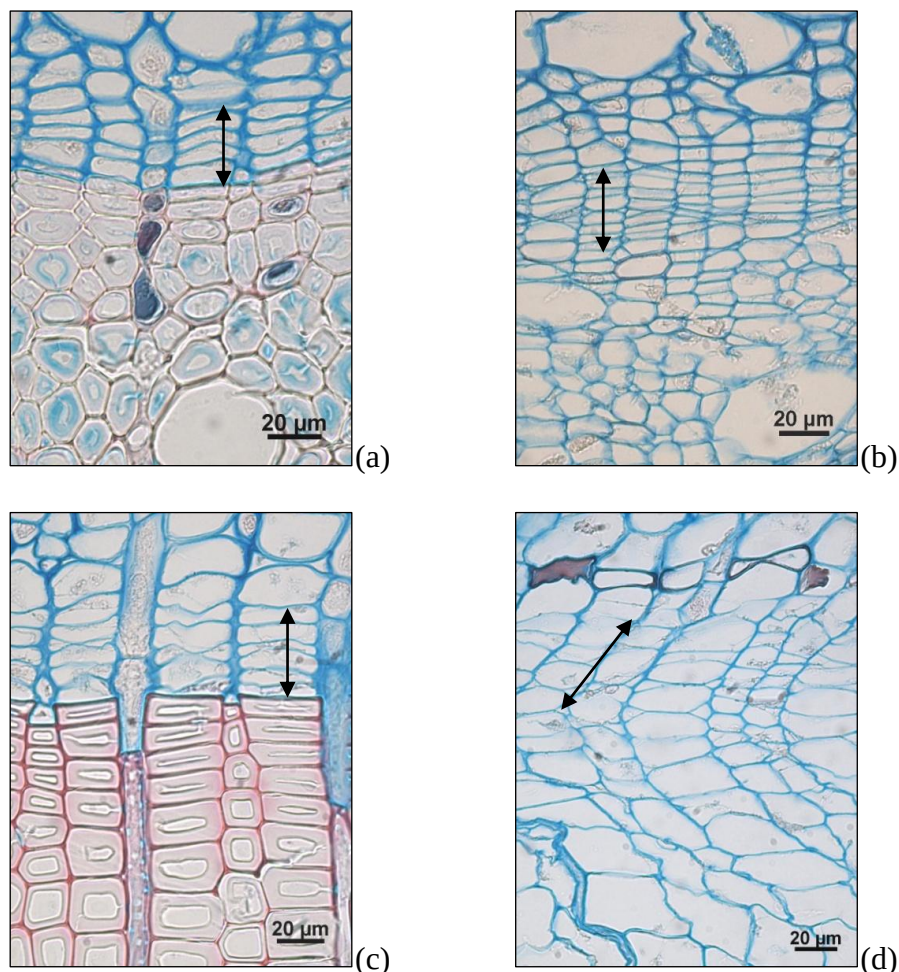
Slika 3: Faze diferenciacije celic pri bukvi (levo) in smreki (desno).

Pri meritvah posameznih faz diferenciacije smo lignifikacijo priključili k fazi razvoja celične stene (SW).

2.3.2 Sezonska aktivnost kambija

V območjih zmernega pasu je za kambij značilno periodično menjavanje aktivnosti in dormance oziroma faze mirovanja. Menjavanje je povezano s toplim in hladnim delom leta ali pa z deževnim in sušnim obdobjem. V naših razmerah je kambij v grobem aktiven od

pomladi do poznega poletja, odvisno od drevesne vrste, rastišča, vremenskih razmer in drevesa samega. V fazi dormance je v kambijevi coni 3–6 celic (Slika 4a in c), največ (nad 10) pa jih je na višku vegetacijske dobe, tj. julija (Slika 4b in d). Število celic v kambijevi coni je odvisno od hitrosti delitve celic in diferenciacije celic ter od drevesne vrste. Na začetku sezone se celice delijo hitreje, kot poteka diferenciacija, zato število kambijevih celic narašča. Proti koncu sezone se delitev celic upočasnjuje, zato se število kambijevih celic zmanjšuje. Običajno kambij proizvede veliko več ksilemskih kot floemskih celic. Če je drevo v stresu, pa je lahko širina ksilemske branike tudi manjša od floemske (Gričar, 2007; Gričar in sod., 2009).



Slika 4: (a) dormanten in (b) aktiven kambij pri bukvi; (c) dormanten in (d) aktiven kambij pri smreki.
Puščica označuje celice kambijeve cone.

2.3.2.1 Fenologija listov in kambija

V zadnjih letih je bilo mnogo raziskav opravljenih na bukvah in smrekah na Panški reki pri Ljubljani in na Menini planini. Panška reka se nahaja blizu Lipoglava na 400 m n. v. in je od naše vzorčne ploskve v Arboretumu Volčji Potok (380 m) oddaljena približno 20 km. Zaradi zelo podobnih vremenskih razmer, nadmorske višine in proizvodnih sposobnosti rastišč smo naše podatke primerjali s podatki, ki so jih v Panški reki pridobili Prislan in sod. (2013) ter Gričar in sod. (2014).

Prislan in sod. (2013) so v letih 2008–2010 spremljali fenološke faze listov in kambijevo aktivnost na šestih kodominantnih bukvah, starih okrog 100 let. Bukve so olistale v intervalu od 10. do 26. aprila. Jesensko rumenenje listov je nastopilo 26 tednov za olistanjem. Začetek kambijeve produkcije ksilemskih celic so zabeležili v prvi polovici aprila. Istočasno so zabeležili formiranje prvih sitastih cevi v floemu. Konec kambijeve produkcije so opazili v avgustu s precejšnjimi razlikami med leti. Produkcija je trajala 17–20 tednov. Po koncu produkcije je diferenciacija celic potekala še dva do štiri tedne. Diferenciacija ksilemske branike je bila končana v prvi polovici septembra.

Gričar in sod. (2014) so med letoma 2009 in 2011 spremljali kambijevo aktivnost na šestih dominantnih in kodominantnih odraslih smrekah. Kambijeva produkcija se je začela v sredini aprila in končala na koncu avgusta. Njeno trajanje je tako znašalo 19–20 tednov.

Poleg podatkov iz zgoraj omenjenih raziskav je bilo opravljeno še več diplomskih oz. magistrskih nalog (npr. Gnidovec, 2013). Raziskave nastajanja lesa pri bukvi in smreki so se nadaljevale tudi v letih 2011–2015 (Čufar in sod., 2015).

Pri analizi začetka nastajanja floemske branike moramo upoštevati, da se lahko ena do dve floemski celici, ki nastaneta ob zaključku vegetacijske dobe, ne diferencirata, pač pa prezimita. Diferenciacija teh celic se začne pred začetkom kambijeve produkcije v prihodnjem letu (Gričar, 2007; Gričar in sod., 2014, 2015). Ko celice opazujemo, je včasih težko ugotoviti, ali gre za novo nastale celice ali za diferencirajoče celice, ki so nastale že ob zaključku predhodne sezone.

2.3.3 Razmerje med ksilemsko in floemsko braniko

Gričar in sod. (2009, 2014) in Prislan (2012) ugotavljajo, da je razmerje med širino ksilemske in floemske branike zelo variabilno. Medtem ko je širina ksilemske branike zelo odvisna od zunanjih vplivov in precej variira med leti, je floemska branika lahko relativno enako široka vsako rastno sezono. Razlog je v tem, da je floemska branika življenjsko pomembna za drevo, saj sitaste cevi in celice po eni ali dveh sezonah že kolabirajo. To pomeni, da drevo mora vsako leto osnovati novo floemsko braniko, ki je zadosti široka, da lahko prevaja produkte fotosinteze na mesta porabe.

2.4 NARAVNE UJME

Med naravne ujme prištevamo veter, sneg, žled, plaz in usad (Jakša in Kolšek 2009). Po poročanju Zavoda za gozdove Slovenije se pogostost naravnih ujm v zadnjih dvajsetih letih povečuje. V tem obdobju je bilo do žledoloma 2014 največ drevja (870.000 m^3) poškodovanega na prehodu iz leta 1996 v 1997 na GGO Kranj, Ljubljana, Kočevje in Novo mesto zaradi žledoloma v kombinaciji s snegolomom. Posledice drugih večjih naravnih ujm so prikazane v Preglednici 1. V kombinaciji z vse višjimi povprečnimi poletnimi temperaturami so posledice naravnih ujm vse večje tudi v sezonah po pojavu ujme zaradi napada sekundarnih škodljivcev, npr. podlubnikov.

Preglednica 1: Pregled posledic večjih naravnih ujm (vir: Naravne ujme ..., 2014).

Poškodovana lesna masa gozda v m^3	Leto	Vzrok poškodb	Območje
680.000	1995/96	Sneg in žled	Predvsem GGO Ljubljana, Kranj, Celje, Nazarje, Maribor
670.000	1980	Žled	Brkini
500.000	2008	Vetrolom	Trnovski gozd, Kamnik, Gornji Grad, GGO Celje in Brežice
500.000	1985	Žled	GGO Kranj
380.000	1975	Žled	Hrušica

2.4.1 Žled

Žled je vremenski pojav, pri katerem se tekoče padavine na poljubni podlagi kopičijo v obliki ledu. Nastane zaradi kombinacije reliefnih in vremenskih razmer ob menjavi

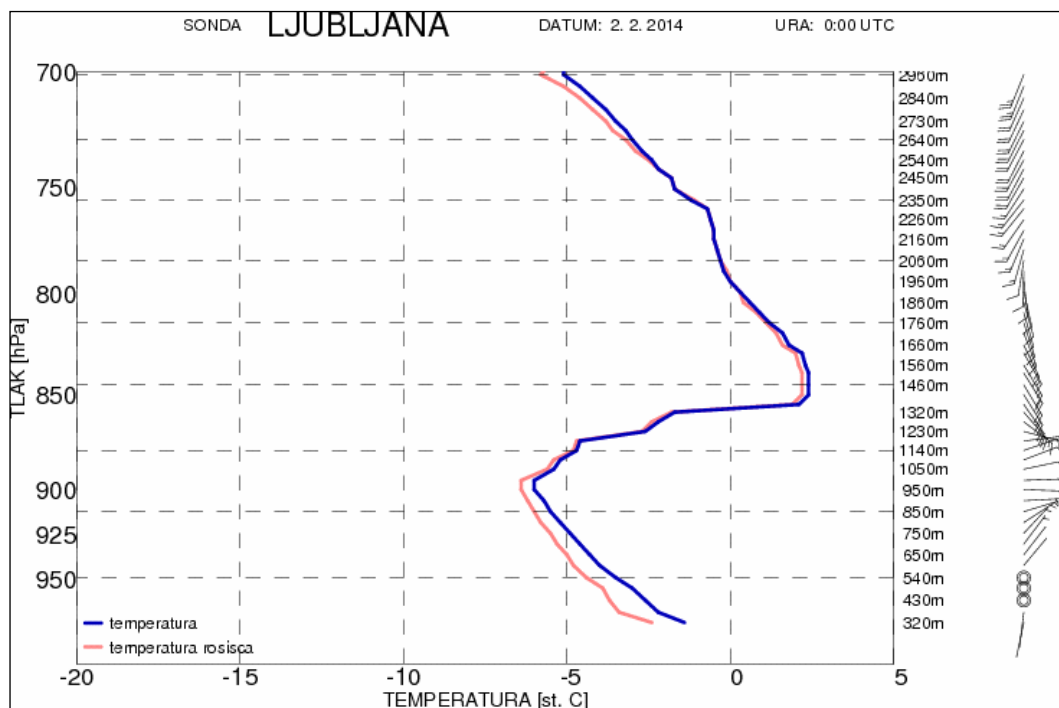
hladnejše zračne mase s toplejšo, kar zagotavlja dovolj vlage v zraku za nastanek padavin. Žled nastane ob zelo specifični kombinaciji intenzivnosti padavin, časovne in krajeve pojavnosti padavin ter temperature zraka. Sprememba temperature zraka za stopinjo Celzija lahko odloča med dežjem, sneženjem ali dežjem, ki se spreminja v žled. Razmere, ko vsi potrebni dejavniki nastopijo hkrati, običajno ne trajajo dolgo. Samo v izjemnih primerih lahko žledenje traja več dni. Takrat objekti, na katerih se nabira plast ledu, začnejo pod težo ledu popuščati, se upogibati, pokati in rušiti. Največjo škodo pri tem utrpijo drevje ter električne in telefonske napeljave (Sinjur in sod., 2014).

Poročilo o stanju okolja 2002 (2003) navaja, da se v Sloveniji žled, ki povzroča veliko gospodarsko škodo, pojavlja približno vsakih 50 let. Najpogosteje se pojavlja v jugozahodni Sloveniji – na visokem krasu in njegovem obrobju ter v kotlinah, kjer se zadržuje hladen zrak. Debelina plasti žleda, ki povzroča veliko škodo, presega pet centimetrov (Naravne ..., 2006).

V Sloveniji se lahko ugodne razmere za pojav žleda vzpostavijo na dva načina. Pri prvem v višinah doteka toplejši in vlažen zrak, v spodnjih plasteh pa se zadržuje hladnejši zrak. To se zgodi ob jasnih in mirnih nočeh, ko se v kotlinah in dolinah zaradi radiacijskega ohlajanja nabere veliko mrzlega zraka, ki ga toplejši zrak, ki doteka, brez izdatne pomoči vetra ne more izpodriniti. Pri drugem načinu pa nad naše kraje z vzhodnim ali severovzhodnim zračnim tokom v nižjih slojih doteka hladen zrak, v višjih slojih pa istočasno doteka toplejši in vlažen zrak iznad Sredozemlja z jugozahodnim tokom. Tak scenarij se je dogajal tudi v obsežnem žledolomu februarja 2014 (Sinjur in sod., 2014).

Oba scenarija privedeta k temperaturnemu obratu, ki pa sam po sebi še ni razlog za nastanek žleda. Potrebne so še padavine. Te nastanejo, ko se tople in vlažne zračne mase na poti iznad Sredozemlja nad notranjost Slovenije dvignejo prek dinarske pregrade. Hkrati se težji hladnejši zrak pod njim v nasprotni smeri spušča proti morju. Topel vlažen zrak se mora zato poleg višine orografske pregrade dvigniti še za debelino plasti težjega hladnega zraka. Ob tem hitrem dvigu toplega zraka nastanejo izdatne padavine, zato se žled v Sloveniji največkrat pojavi prav na območju dinarske pregrade (Sinjur in sod., 2014).

2.4.2 Vremenska situacija ob žledolomu 2014 (povzeto po Sneg, žled ..., 2014)



Slika 5: Vertikalna sondaža nad Ljubljano 2. 2. 2014 zgodaj zjutraj prikazuje izrazit temperaturni obrat. Razvidna je negativna temperatura zraka v nižjih plasteh ozračja in izrazit klin toplega zraka nad njim. Puščice na desni kažejo smer vetra. V nižinah je bilo mirno oz. je pihal rahel vzhodnik, višje je pihal veter južnih smeri (vir: Sneg, žled ..., 2014).

Med 26. in 30. januarjem 2014 se je temperatura zraka gibala okoli ničle. 30. januarja je v višinah (med 1200 in 1900 m n. v.) z jugozahodnikom iznad severne Afrike prek Sredozemlja začel dotekati toplejši zrak, v prizemni plasti zraka pa se je temperatura ponekod spustila tudi do -5 stopinj Celzija, saj je iznad Panonske nižine dotekal hladen zrak. Temperaturni obrat je trajal od 30. januarja do 4. februarja (Slika 5 prikazuje stanje 2. 2. 2014). 5. februarja je ponekod v prizemni plasti zapihal jugozahodnik in dvignil temperaturo nad ledišče. Do 7. februarja je prepihal vse nižine, s čimer se je stalil ves žled.

Temperatura med 1200 in 1900 m n. v. je bila v tem obdobju pogosto nad 0°C . Snežne padavine so se na poti skozi toplejšo plast spremenile v dež. Kapljice so se v hladnejši prizemni plasti zraka podhladile (njihova temperatura je padla pod 0°C) in ob stiku s tlemi zmrznile. Žled je nastajal povsod v notranjosti Slovenije pod 1100 m n. v., na Primorskem pa le ponekod v višjih legah.

30. in 31. januarja je žled začel nastajati v višjih legah Primorske, v notranjosti je še snežilo. V noči na 1. februar se je po nižinah shladilo do -5°C , toplejši zrak v višinah pa se je razširil nad vso Slovenijo. Po vsej državi je pričel nastajati žled. Najmanj ga je bilo na vzhodu, kjer je bilo padavin le nekaj mm, največ pa v Zgornjem Posočju, kjer je zapadlo do 100 mm. Drugod je zapadlo od 30–50 mm padavin. Do 3. februarja je v večjem delu države zapadlo še 10 – 50 mm, od tega je večina zamrznila v žled. Na najbolj prizadetih območjih je debelina žleda narasla na 9 cm. 4. in 5. februarja je bilo še nekaj padavin, predvsem na dinarski pregradi in v Alpah – tam je še nastajal žled, po nižinah pa se je 5. februarja žled že začel taliti.

2.4.3 Obremenitve drevesa zaradi žleda (povzeto po Kotar, 2005)

2.4.3.1 Stabilnost drevesa

Drevo si lahko predstavljamo kot elastično, na dnu vpeto konzolo, na katero zaradi lastne teže in oblike ter zunanjih dejavnikov delujejo upogibne, uklonske in torzijske obremenitve. Dejavnike, ki vplivajo na stabilnost drevesa, razvrščamo v štiri skupine.

Prva skupina so fiziološke značilnosti drevesa: dimenzijsko razmerje (višina : prsni premer), oblika debla, oblika in dimenzije krošnje, kot, pod katerim so veje vrasle v deblo, in trdnost lesa.

Druga skupina so okoljski dejavniki, kot so gostota in zgradba sestoja, socialni položaj drevesa ipd. Stojnost dreves v sestoji je večja kot stojnost osamelih dreves, saj se krošnje sosednjih dreves medsebojno podpirajo. Podprto drevo ima 40–50 % večjo nosilnost kot osamelo drevo.

Tretja skupina so tla in zakoreninjenost drevesa. Ti so pomembni predvsem z vidika dovzetnosti drevesa za izruvanje koreninskega pleteža z zemljino vred ali trganje korenin zaradi upogibnih obremenitev na drevo.

Četrta skupina so vremenski dejavniki. V povezavi z zakoreninjenostjo na stabilnost vpliva deževje, ki povzroči, da so korenine slabše povezane s tlemi. Veter, sneg in žled pa povzročajo upogibne (najpogostejše nastanejo ob vetru, občasno pa tudi zaradi

ekscentričnosti krošnje) in uklonske (nastanejo zaradi teže snega in žleda) obremenitve na drevo.

2.4.3.2 Učinek teže žleda

Pri obremenitvi drevesa zaradi teže žleda so kritične uklonske obremenitve drevesa. Upogibne obremenitve, ki se pojavijo pri ekscentričnosti krošnje do 20 % in nagnjenosti drevesa do 10 %, niso kritične. Šele ko so 2–5-krat večje kot uklonske, so za drevo enako obremenjujoče kot uklonske. Deblo zaradi svoje velike dolžine, lastne teže, visokega debelinskega razmerja in teže krošnje težko prenese še dodatno težo. Ko so kritične obremenitve presežene, se odlomijo veje ali večji del krošnje, se drevo upogne, prelomi ali odlomi ali izruva skupaj s koreninami.

Na drevo zelo redko delujejo le uklonske obremenitve, saj že majhna nagnjenost debla in ekscentričnost krošnje prispevata k pojavu upogibnih in torzijskih obremenitev. Zaradi slednjih se kritična obremenitev (mejna obremenitev, ki jo drevo še prenese) zmanjša za 6–35 %.

Pri smreki je mejno dimenzijsko razmerje, ki ločuje stabilna drevesa od nestabilnih, 85. Na primer 30 m visoko drevo s prsnim premerom 30 cm je že precej nestabilno ($30 \text{ m} / 0,3 \text{ m} = 100$). Žled z jakostjo 20 kg/m^2 pri takih drevesih povzroči katastrofo. Dimenzijsko razmerje je največje v letvenjaki in drogovnjaki, nato pa se zmanjšuje. Drevje z nižjim debelinskim razmerjem prenese žled jakosti 50 kg/m^2 in več.

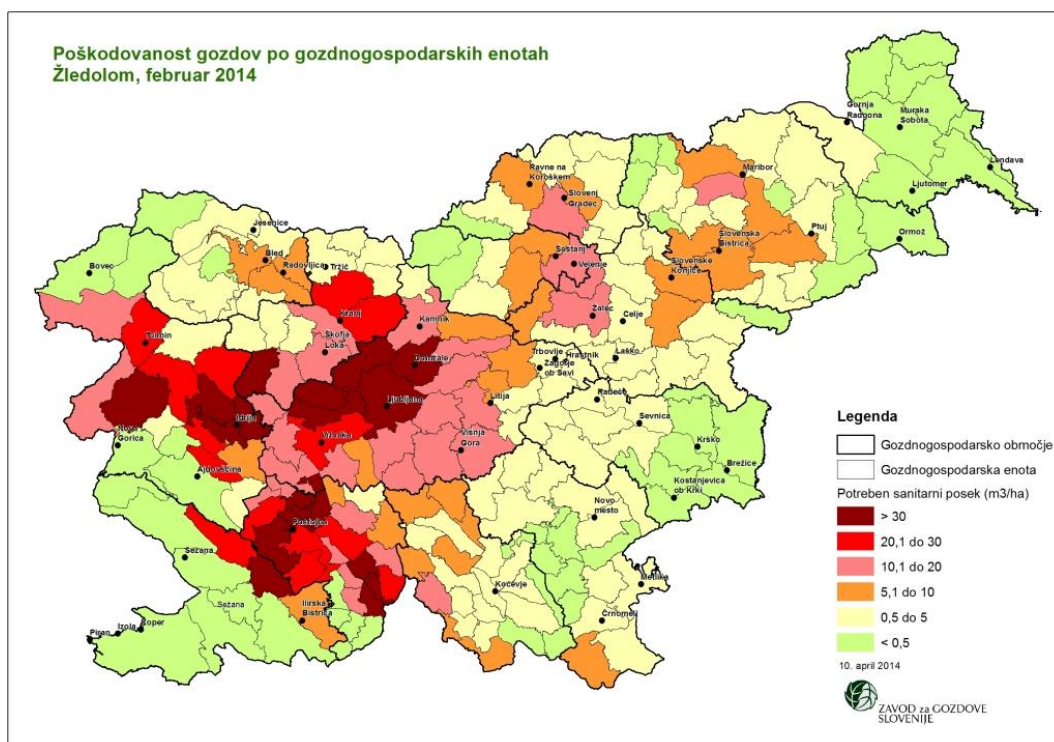
2.4.4 Posledice žledoloma 2014

Najhujše posledice je žledolom povzročil na vzhodnem delu dinarske pregrade (na območju med Travljansko goro, Snežnikom, Postojno, Logatcem in Vojskim). Tu je bilo veliko padavin in večdnevno obdobje hladnega zraka. Še več padavin je padlo na zahodnem delu dinarske pregrade, vendar je temperatura tam večkrat prešla ledišče, kar je nastali žled sproti talilo. Največjo škodo so utrpeli gozdovi (Slika 6). Poškodovana je bila tudi infrastruktura, predvsem elektroenergetsko omrežje in gozdne ceste (Sinjur in sod., 2014).



Slika 6: Gozd na Postojnskem v ledenem oklepu (Foto: Tonček Jerič, vir: Načrt ..., 2014).

Škodo so utrpeli gozdovi po vsej Sloveniji razen na Primorskem do nadmorske višine 500 m, v subpanonski regiji ter gozdovi nad 1200 m. Najbolj so bili poškodovani na dinarski pregradi, na jugozahodnem robu Ljubljanske kotline in na Idrijsko-Cerkljanskem med 300 in 900 m n. v. Poškodovana so bila drevesa vseh razvojnih faz, največjo škodo pa so utrpeli enomerni enovrstni sestoji drogovnjaka. Največ poškodb so utrpela drevesa na gozdnem robu in ob linijskih objektih zaradi asimetričnosti krošenj ter na pobočnih legah, kjer so zaradi razmočenosti tal padala celotna drevesa (Načrt ..., 2014).



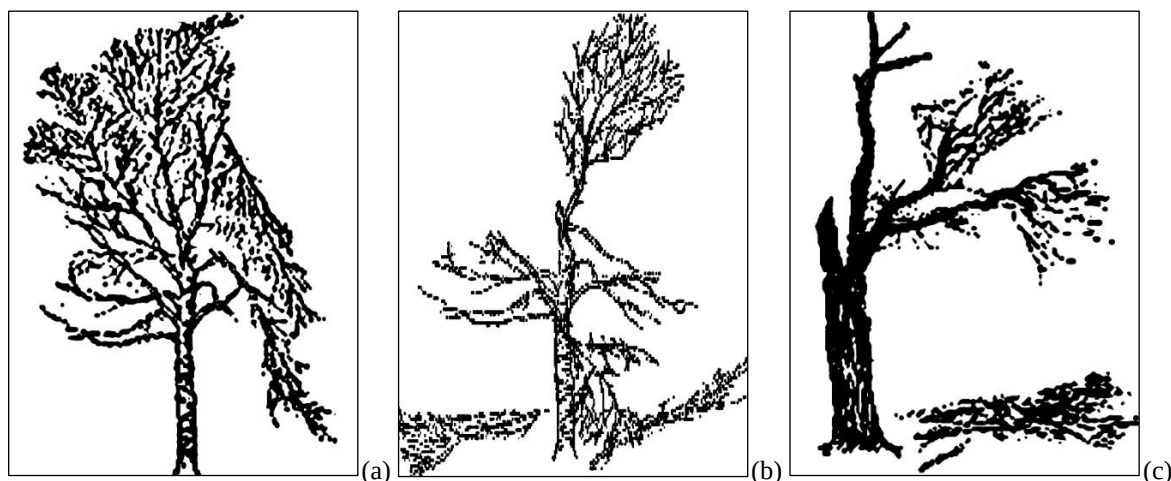
Slika 7: Žledolom 2014: poškodovanost gozdov po gozdnogospodarskih enotah (vir: Načrt ..., 2014).

Skupna lesna masa poškodovanih dreves za posek je na ravni Slovenije znašala 9,3 milijona m³, od tega 66 % listavcev in 34 % iglavcev. Sem spadajo izravana, odlomljena, prelomljena, močno nagnjena drevesa in drevesa z močno poškodovanimi krošnjami (več kot tretjina poškodovane krošnje pri iglavcih in 60 % oziroma 80 % pri listavcih). Razporeditev potrebnega sanitarnega poseka po gozdnogospodarskih enotah je razvidna iz Slike 7. Največ poškodovane lesne mase je bilo v gozdnogospodarskih območjih (GGO) Ljubljana (2,4 mio m³), GGO Postojna (2,1 mio m³), GGO Tolmin (1,8 mio m³) in GGO Kranj (1,0 mio m³). Škoda v gozdovih in na gozdnih cestah je bila ocenjena na 214 milijonov evrov (Načrt ..., 2014).

2.4.5 Vpliv poškodb krošnje na preživetje dreves in nastajanje lesa

Shortle in sod. (2003) so izvedli študijo na drevesih s poškodovano krošnjo po žledolomu januarja 1998 na severovzhodu ZDA, ki je zajel površino 100.000 km². Na šestih vzorčnih ploskvah so izbrali 400 dreves petih ameriških listavcev (sladkorni javor (*Acer saccharum* Marsh.), rdeči javor (*Acer rubrum* L.), rumena breza (*Betula alleghaniensis* Britt.), papirna breza (*Betula papyrifera* Marsh.) in ameriški jesen (*Fraxinus americana* L.)) in jih

razvrstili v tri razrede poškodovanosti krošnje: A (do 50 %) (Slika 8a), B (od 50 do 75 %) (Slika 8b) in C (nad 75 %) (Slika 8c). V letih 1999–2001 so vizualno spremljali preživetje dreves. Tri leta po žledolomu so na prsni višini vzeli izvrtke dolžine 5 cm in premera 12 mm. Primerjali so povprečno širino zadnjih treh branik (1998–2000) s povprečno širino desetih branik pred žledolomom (1988–1997).



Slika 8: Skice poškodovanih dreves. (a) poškodovanost krošnje do 50 %; (b) poškodovanost krošnje med 50 in 75 %; (c) poškodovanost krošnje nad 75 % (Shortle in Smith, 2014).

Štiri leta po žledolomu so preživela vsa drevesa sladkornega javorja, rdečega javorja in ameriškega jesena. V razredu A rumene breze so preživela vsa drevesa, v razredu B 95 %, v razredu C pa 94 %. V razredu A papirne breze so preživela vsa drevesa, v razredu B 74 % dreves, v razredu C pa 38 %. Po poseku odmrlih dreves so avtorji na koreninah opazili prisotnost glive iz rodu *Armillaria*, ki je bila, sodeč po razvoju in obsegu, po mnenju avtorjev prisotna že pred žledolomom.

Drevesa vseh vrst v razredu A niso pokazala zmanjšane debelinske rasti v treh letih po žledolomu. V razredu B se je debelinska rast najmanj zmanjšala pri ameriškem jesenu (za 22 %), največ pa pri papirni brezi (70 %). Rumena breza in sladkorni ter rdeči javor so imeli za 24 do 40 % zmanjšano rast. Tudi v razredu C se je debelinska rast najmanj zmanjšala pri ameriškem jesenu (9 %), največ pri papirni brezi in rdečem javorju (oba 70 %). Rumena breza in sladkorni javor sta imela 48 % in 50 % zmanjšano debelinsko rast.

Avtorji povezujejo stopnjo preživetja in ohranjanja debelinske rasti s sposobnostjo obnavljanja krošnje. Navajajo, da je krošnje najbolj bujno obnovil ameriški jesen, najslabše

pa papirna breza. Prav tako ugotavljajo, da je zdravstveno stanje drevesa pred žledolomom velikega pomena, saj so z glivami okužene papirne breze pokazale najmanjšo odpornost proti žledolomu. Ocenjujejo, da je verjetnost preživetja dreves v razredih B in C precejšnja, vendar pa bodo predvsem drevesa razreda C priraščala počasneje in bila manj odporna proti poškodbam in okužbam.

3 MATERIAL IN METODE

3.1 LOKACIJA IN ZNAČILNOSTI RAZISKOVALNE PLOSKVE

Obsežen žledolom leta 2014 ni prizanesel niti gozdnim sestojem znotraj Arboretuma Volčji Potok. V dogovoru z upravniki in operativnim gozdarjem parka smo določili okvirno raziskovalno območje, kjer smo nato izbrali primerna drevesa za našo raziskavo. Vzorčna drevesa najdemo na vrhu in na vzhodnem pobočju vzpetine v severnem delu parka (Slika 9). Vsa drevesa so del gozda bukve in rebrenjače (*Blechno-Fagetum*). Naklon pobočja se giblje med 5 in 15°. Skalovitosti ni. Nadmorska višina vzorčnega rastišča je 380 m.



Slika 9: Označeno območje znotraj Arboretuma Volčji Potok, kjer smo vzorčili testna drevesa.

3.2 IZBIRA DREVES

Za raziskavo smo izbrali najpogostejši drevesni vrsti v Sloveniji glede na lesno zalogo; navadno bukev (*Fagus sylvatica* L.) in navadno smreko (*Picea abies* (L.) Karst.). Ti dve vrsti predstavljata večinski delež tudi v sestoji, kjer smo opravili raziskavo. Drevesa smo izbrali po metodi iz članka avtorjev Smith in Shortle (2003). Glede na delež odlomljenih vej v krošnji smo jih uvrstili v štiri razrede poškodovanosti:

- razred K: drevesa brez poškodb po žledolomu, t.i. kontrolni razred,
- razred A: poškodovane je do 50 % krošnje (Slika 10a in d),
- razred B: poškodovane je med 50 in 75 % krošnje (Slika 10b in e),
- razred C: poškodovane je več kot 75 % krošnje (Slika 10c in f).

V raziskavo smo vključili 26 dreves (Preglednica 2), ki smo jim določili zaporedne številke in jih označili s permanentnim sprejem. Drevesa smo izbrali tako, da so bili vsi štirje razredi čim bolj enakomerno zastopani. Bolj smo bili pozorni na primernost drevesa glede na njegovo poškodbo, kot na njegovo starost ali dimenzije, zato so v raziskavo vključena drevesa različnih starosti in dimenzij. Glede na socialni status po Kraftovi klasifikaciji (Kotar, 2005) so vsa izbrana drevesa vladajoča in sovladajoča.

V juniju 2014 so v Arboretumu Volčji Potok izvajali sanitarno sečnjo po februarjem žledolomu. Najeti izvajalci gozdarskih del so po pomoti posekali pet naših vzorčnih dreves (v Preglednici 2 označeni z *), in sicer tri v prvem tednu, dve pa v drugem ali tretjem tednu junija. Od takrat naprej smo bili primorani nadaljevati raziskavo na 21 drevesih.

Preglednica 2: Vzorčna drevesa po razredih poškodovanosti z njihovo starostjo in prsnim premerom

Razred	Bukev				Smreka		
	Zap. št. drevesa	Starost (leta)	Prsni premer (cm)		Zap. št. drevesa	Starost (leta)	Prsni premer (cm)
K	2	NA	35		14	55	34
	7	154	39		15	37	33
	27	130	55		26	(110)	55
A	4	51	42		18	35	26
	9	119	34		20	(130)	55
	10	57	38		21	(130)	55
	11	57	30				
B	3	42	25		16	48	29
	6	125	40		17	36	25
	12	51	31		23	(110)	36
C	1	39	39		19*	NA	50
	5	53	23		24*	NA	45
	8*	NA	30		25*	NA	40
	13*	NA	30				

*-drevesa, ki so bila posekana med raziskavo in zato nimamo podatka o njihovi starosti



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Slika 10: Primeri dreves po razredih poškodovanosti. (a) bukev razreda A (4. 4. 2014); (b) bukev razreda B (19. 4. 2014); (c) bukev razreda C (4. 4. 2014); (d) smreka razreda A (27. 3. 2014); (e) smreka razreda B (9. 6. 2014); (f) smreka razreda C (9. 6. 2014) (Foto: P. Habjan in M. Merela).

Starost in premer dreves smo določili z izvrtki, odvzetimi s Presslerjevim svedrom. Pri drevesih 26, 20, 21 in 23 točne starosti nismo mogli določiti, ker izvrtki ni vseboval stržena. Starost le teh smo ocenili glede na rastno dinamiko, razvidno iz izvrtka, njihove ocene starosti so v Preglednici 2 zapisane v oklepajih. Drevesom, ki so bila posekana (označena z *), smo premere določili na podlagi naših fotografij.

3.3 ODVZEM MIKROIZVRTKOV

Vzorčenja so si sledila, kot je prikazano v Preglednici 3. Na začetku rastne sezone smo vzorčili vsak teden, da bi ujeli časovne razlike v reaktivaciji kambija pri posameznih drevesih. Nato smo interval povečali na dva tedna, s čimer smo še vedno dovolj podrobno spremljali potek nastanka in diferenciacije celic in obenem časovno in stroškovno racionalizirali raziskavo.

Preglednica 3: Datumi opravljenih vzorčenj.

Zap. št. vzorčenja	Datum		Zap. št. vzorčenja	Datum
1	27. 3. 2014		10	5. 7. 2014
2	4. 4. 2014		11	18. 7. 2014
3	12. 4. 2014		12	2. 8. 2014
4	19. 4. 2014		13	18. 8. 2014
5	26. 4. 2014		14	30. 8. 2014
6	10. 5. 2014		15	13. 9. 2014
7	24. 5. 2014		16	26. 9. 2014
8	9. 6. 2014		17	10. 10. 2014
9	21. 6. 2014			

Odvzem vzorcev smo izvajali z orodjem Trephor (Rossi in sod., 2006). Trephor je specialno orodje, ki dosega kompromis med minimalno potrebno količino lesa za analizo in minimalnim posegom v drevo. Prvo vzorčenje smo izvedli na prsni višini. Po potrebi smo na smrekah z debelo skorjo z dletom odstranili nekaj zunanjih plasti lubja. Trephor smo nastavili pravokotno na vzdolžno os in tangento debla, ga zabili v deblo (Slika 11), nato pa z rahlim rotacijskim gibom iztrgali mikroizvrtki iz debla (Slika 12). Iz Trephorja smo izvrtki spravili v označeno histoceto, to pa v plastenko z raztopino FEA. FEA (raztopina formalina, etanola in očetne kisline) povzroči hitro celično smrt in hkrati

prepreči kolabiranje celic. Izvrtke smo po enem tednu vzeli iz FEA in jih dali v 70 % etanol do izdelave preparatov.



Slika 11: Zabijanje Trephorja v deblo (Foto: M. Merela).



Slika 12: Mikroizvrtek se ujame v Trephor (Foto: M. Merela).

Ob vsakem vzorčenju smo jemali po dva izvrtka (približno tri centimetre narazen), ker izvrtki zaradi tankih primarnih sten kambijevih celic in celic postkambialne rasti včasih deloma razpadejo med skladiščenjem, transportom ali vklapljanjem v parafin (Rossi in sod., 2006). Naslednja izvrtka smo odvzeli približno tri centimetre od prejšnjega mesta odvzema, s čimer smo se izognili odvzemu deformiranih tkiv in tkiv, kjer potekajo postravmatski (poranitveni) procesi. Ti so prisotni kot aktivni obrambni odziv drevesa na mehanske poškodbe, med katere spada tudi odvzem vzorca z orodjem Trephor.

Na vseh drevesih smo začeli vzorčiti na istem delu drevesa glede na smer neba in tlorisno gledano nadaljevali v obratni smeri urinega kazalca. S tem smo izničili vpliv smeri neba na kambijevo aktivnost vsaj pri prvih nekaj vzorčenjih. Zaradi različnih premerov dreves in raznih nepravilnosti na deblu (veje, grče, poškodbe), ki smo se jim morali izogniti, se pri vzorcih kasnejših datumov ne moremo več zanašati na isto lego po obodu glede na smer neba. Učinka smeri neba v tej raziskavi nismo posebej obravnavali, zato ga prištevamo k variabilnosti po obodu.

3.4 SPREMLJANJE FENOLOGIJE LISTOV IN SPREMEMB V KROŠNJI

Ob vzorčenju smo spremljali tudi fenološki razvoj listov. Beležili smo vse opazne spremembe, npr.: kdaj so drevesa olistala, koliko novih adventivnih in epikormskih poganjkov so pognala, ali se krošnja ali zgolj posamezne veje sušijo ipd. Pri bukvi smo za datum olistanja določili dan, ko so bili listi na vsaj treh mestih na drevesu razviti do te mere, da so bili reprezentativni za opazovano drevesno vrsto (Koch in sod., 2016) (Slika 13 desno). Pri smreki fazo olistanja nadomešča faza pojava mladih poganjkov (Žust, 2015) (Slika 13 levo). Ob vsakem odvzemu izvrtkov smo drevesa tudi podrobno fotografirali.

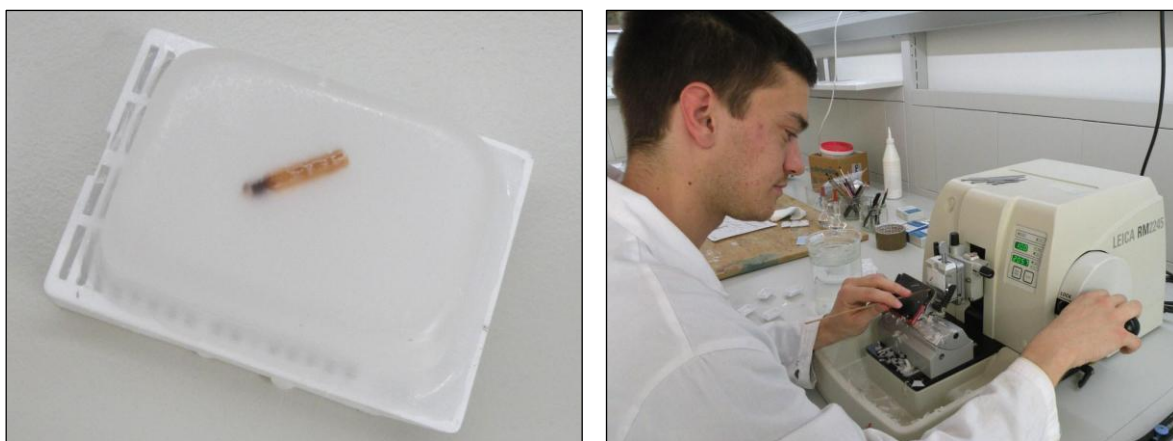


Slika 13: Levo: faza mladih poganjkov pri smreki (vir: Žust, 2015); desno: olistanje pri bukvi (Foto: M. Merela).

3.5 PRIPRAVA MIKROSKOPSKIH PREPARATOV

Vzorke smo obdelali in analizirali v laboratoriju Katedre za tehnologijo lesa na Oddelku za lesarstvo. Vse izvrtke smo pred obdelavo natančno pregledali, označili prečni prerez,

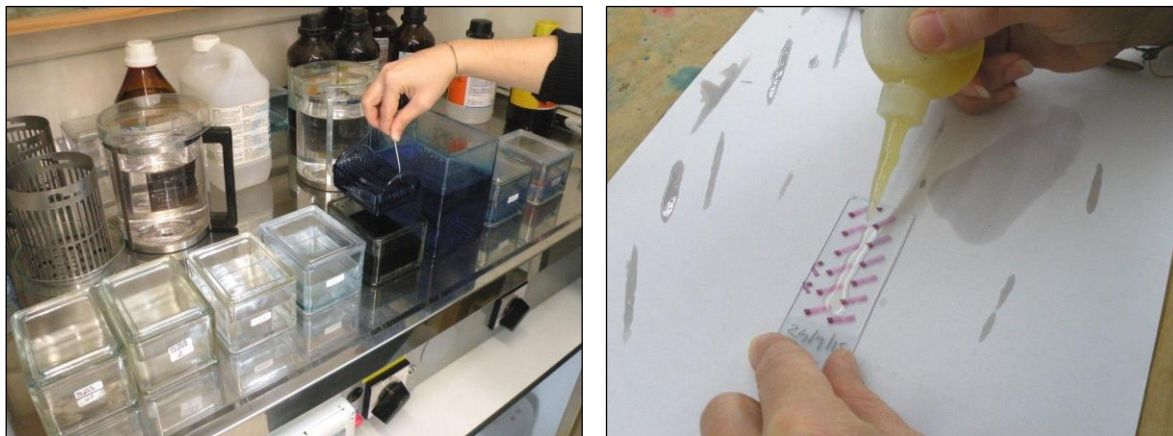
izmed dveh izbrali vizualno kvalitetnejšega, daljše smo skrajšali in jih nato v označeni histoceti dali v postopek prepariranja v tkivnem infiltratorju (Leica TP 1020-1). V infiltratorju so se tkiva najprej dehidrirala v etanolni vrsti (70 %, 90 %, 95 % in 100 %) in zatem preparirala v Ultraclear-u ter na koncu prepojila s parafinom, raztopljenem pri temperaturi 65 °C. Izvrtek (z označenim prečnim prerezom navzgor) smo nato s parafinskim dispenzerjem (Leica EG 1120) vklopili v parafinski blok (Slika 14 levo).



Slika 14: Levo: mikroizvrtek v parafinskem bloku; desno: rezanje na rotacijskem mikrotomu (Foto: A. Balzano).

Izvrtek v strjenem parafinskem bloku smo rezali na rotacijskem mikrotomu (Leica RM 2245) (Slika 14 desno). Pred rezanjem smo z ostrim rezilom porezali robove odvečnega parafina in na mikrotomu porezali odvečen parafin in periferni del izvrtka (prirežovanje - angl. trimming). Do začetka rezanja smo tako pripravljene vzorce shranili v vodi pri sobni temperaturi. Rezali smo rezine debeline 10 mikrometrov. Več rezin izvrtka smo v vodni kopeli položili na objektno steklo, premazano z adhezivnim sredstvom – albuminom (Bio-Optica 05-B04002). Tako pripravljene vzorce smo nato dali v sušilnik na 70 °C za 30 minut, da so se rezine lesa pritrdile na objektno steklo. Ko so se vzorci ohladili na sobno temperaturo, smo jih dvakrat po 15 minut namočili v Ultraclear, nato še dvakrat po 15 minut v 99 % etanol, s čimer smo raztopili in izprali ves parafin s stekla. Sledilo je barvanje v mešanici barvil safranin rdeče in astra modro (Van der Werf in sod., 2007) za 30 minut (Slika 15 levo). Na koncu smo vzorce izprali v vodi, temeljito dehidrirali v 99 % etanolu in vklopili v vklopni medij Euparal (Chroma, 3C-239) (Slika 15 desno). Rezine

lesa smo pokrili s krovnim steklom in jih za 24 ur obtežili z 200 gramskimi kovinskimi utežmi.



Slika 15: Levo: odstranjevanje parafina in barvanje preparatov; desno: vklapljanje v Euparal (Foto: P. Habjan).

Zaradi velikega števila vzorčenj iz nekaj mikroizvrtkov nismo pripravili preparatov, ampak smo jih pustili shranjene v etanolu za morebitno naknadno dopolnjevanje podatkov o kambijevi aktivnosti. Iz katerih vzorčenj smo pripravili preparate, je razvidno v Preglednici 4.

Preglednica 4: Datumi odvzema izvrtkov, iz katerih smo pripravili preparate.

27. 3. 2014		9. 6. 2014
4. 4. 2014		5. 7. 2014
12. 4. 2014		2. 8. 2014
19. 4. 2014		30. 8. 2014
10. 5. 2014		26. 9. 2014

3.6 MIKROSKOPIRANJE IN OBDELAVA PODATKOV

Preparate smo analizirali na raziskovalnem svetlobnem mikroskopu Nikon (Eclipse E800) s svetlo poljsko tehniko in s polarizirano svetlobo. Fotomikrografijo smo opravili z digitalno kamero Nikon Ds-Fi1 z računalniško podporo programa NIS Elements BR. Za analizo zgradbe lesa, ter štetje in merjenje tkiv na preparatih smo prav tako uporabili programsko opremo NIS Elements BR 3.0.

Na preparatih bukve smo opazovali širino kambijeve cone in število kambijevih celic (CC). Na floemski strani smo opazovali širino in število celic ranega (EP) in kasnega floema (LP). Na ksilemski strani smo opazovali širino pasu celic v fazi postkambialne rasti (PC), pasu celic v fazi razvoja sekundarne celične stene (SW) in pasu zrelih celic (MT).

Na preparatih smreke smo opazovali število kambijevih celic. Na floemski strani smo opazovali število celic ranega in kasnega floema ter celic aksialnega parenhima (AP). Na ksilemski strani smo opazovali število celic v fazi postkambialne rasti, celic v fazi razvoja sekundarne celične stene in število zrelih celic. Izmerili smo tudi trenutno širino ksilemske branike (XR).

Vse meritve in štetja smo opravili vzdolž treh radialnih nizov, iz katerih smo izračunali povprečno vrednost. Na vseh analiziranih preparatih smo zabeležili tudi širino predhodne ksilemske branike (prirastek sezone 2013).

Vse podatke smo analizirali in grafično prikazali s programsko opremo Microsoft Excel. Vsi podatki meritev so bili dodani v bazo podatkov Katedre za tehnologijo lesa.

4 REZULTATI

4.1 ODZIV BUKVE NA POŠKODBE

4.1.1 Fenologija dreves



Slika 16: Spremljanje fenologije listov v letu 2014 na primeru bukve št. 1 (razred C). (a) 4. 4. – brsti so še zaprti; (b) 12. 4. – začetek faze olistanja; (c) 21. 6. – vidni so epikormski poganjki; (d) 10. 10. – splošno rumenenje listov še ni nastopilo (Foto: P. Habjan).

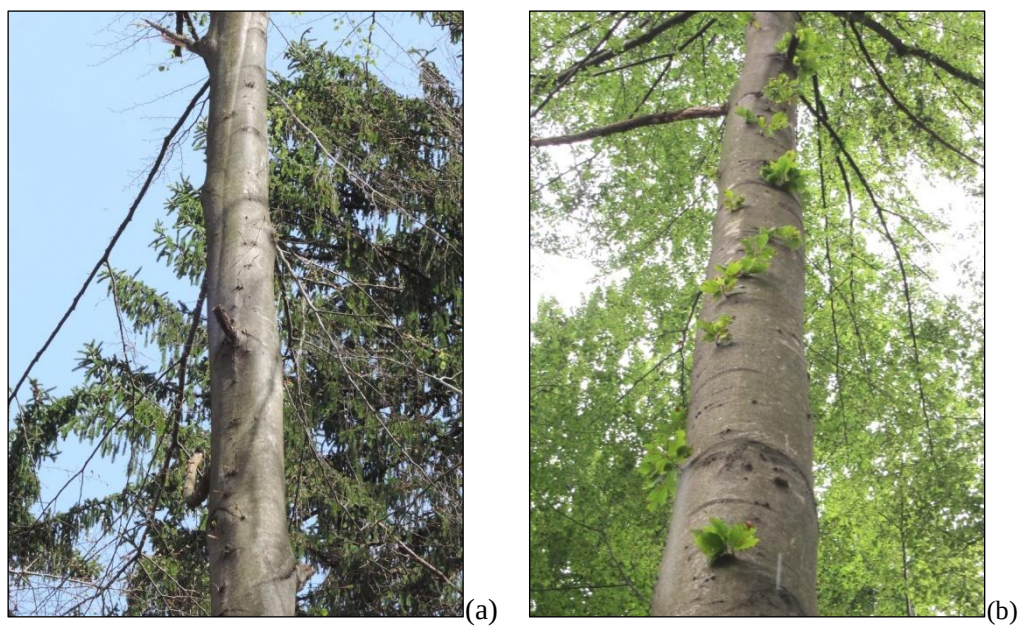
Pri vseh drevesih smo spremljali fenološke faze. Posebno pozornost smo namenili fazi olistanja (pri smreki fazi pojava mladih poganjkov), saj nam v kombinaciji s fenologijo kambija pove, kateri procesi se na začetku rastne sezone odvijajo v drevesu. Med posameznimi drevesi z različno poškodovano krošnjo nismo opazili razlik v pojavu različnih fenoloških faz. Prav vse raziskovane bukve so olistale in se do konca raziskave (10. 10. 2014) še niso posušile. Kot primer spremljanja fenologije listov na Sliki 16 prikazujemo razvoj krošnje na eni izmed najbolj poškodovanih bukev (drevo št. 1).

4.1.2 Revitalizacija krošnje

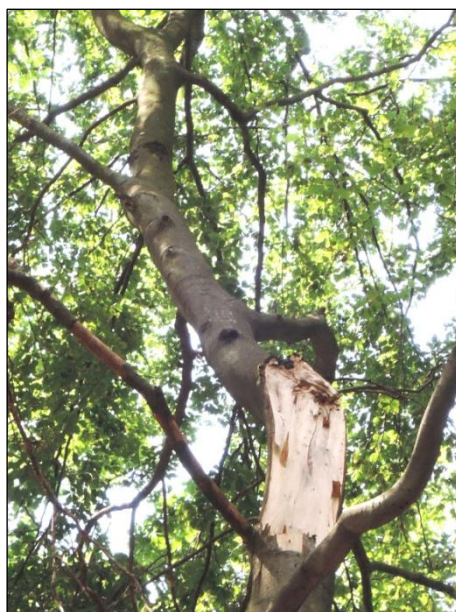
Drevesa so se na poškodbe krošnje odzvala zelo različno. Določena drevesa so pognala številne adventivne (Slika 17) in epikormske poganjke (Slika 18), medtem ko druga nobenega (Slika 19). Do takih razlik je prišlo tudi med drevesi v istem razredu poškodovanosti.



Slika 17: Vrh drevesa št. 3 (razred B). (a) 10. 5. 2014; (b) 10. 10. 2014 (Foto: P. Habjan)



Slika 18: Deblo drevesa št. 10 (razred A). (a) 4. 4. 2014; (b) 18. 7. 2014 (Foto: P. Habjan)

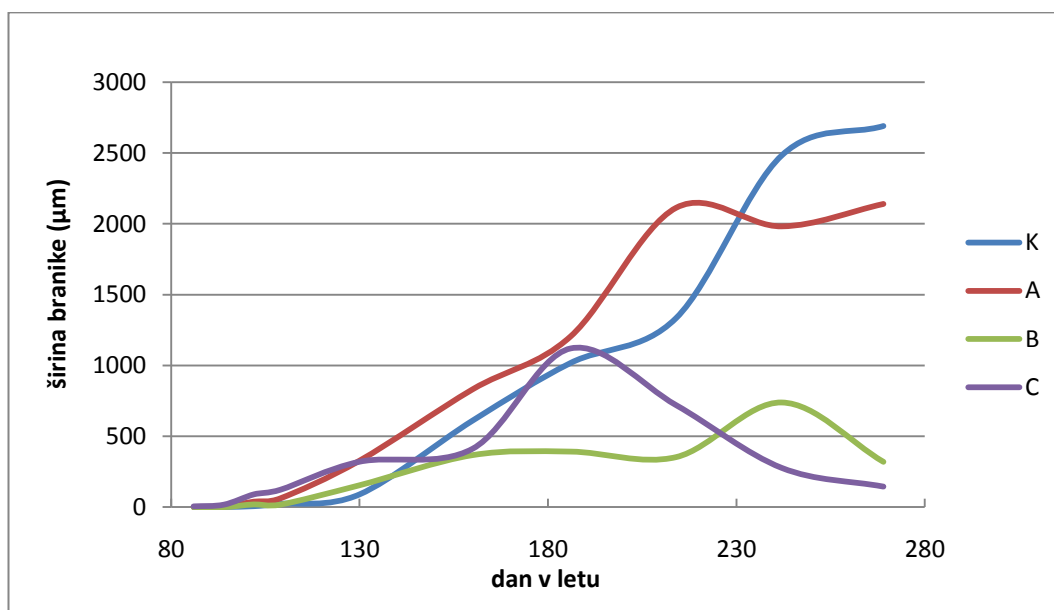


Slika 19: Mesto poškodbe na drevesu 6 (razred B) dne 21. 6. 2014. (Foto: P. Habjan)

4.1.3 Ksilemska branika

4.1.3.1 Dinamika nastajanja ksilemske branike

Meritve so razkrile, da je bila dinamika nastajanja ksilemske branike v kontrolnih drevesih in drevesih razreda A zelo podobna. Enako velja tudi za branike dreves razredov B in C. Pri 130. dnevu v letu smo opazili, da so bile širine branik vseh razredov poškodovanih dreves že večje kot širina branike kontrolnega razreda. Kasneje je priraščanje dreves iz najbolj poškodovanih razredov B in C pojenjalo, priraščanje dreves razreda A pa je bilo primerljivo priraščanju nepoškodovanih dreves (Slika 20). Do navidez negativnega prirastka (npr. krivulja C) je prišlo zaradi variabilnosti širine branike po obodu debla (Slika 20).



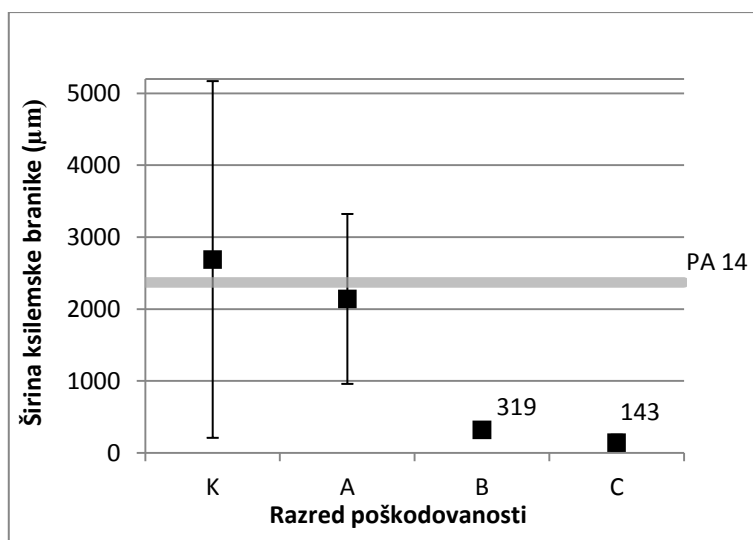
Slika 20: Dinamika nastajanja ksilemske branike po razredih poškodovanosti (bukev).

4.1.3.2 Končna širina ksilemske branike

Največja povprečna širina branik je bila izmerjena pri drevesih razreda K ($2689,9 \pm 2480,2$ µm; povprečna širina branike $\pm$ standardni odklon), nekoliko ožja ($2141,0 \pm 1181,1$ µm) je nastala v razredu A. Drevesa razredov B ($319,4 \pm 90,8$ µm) in C ($143,3 \pm 110,3$ µm) pa so imela precej manjše povprečne širine branik (Slika 21 in Slika 22). Vsa drevesa, tudi

najbolj poškodovana, so proizvedla ksilemsko braniko, iz česar lahko sklepamo, da so preživela rastno sezono 2014.

Meritve smo primerjali z meritvami na drevesih na vzporednem rastišču (Panška reka), kjer so v istem letu drevesa v povprečju proizvedla $2368,8 \pm 952,2 \mu\text{m}$ široke branike (Slika 21). Ugotovili smo, da je prirastek na Panški reki primerljiv s prirastkom nepoškodovanih in najmanj poškodovanih dreves (razred K in A).



Slika 21: Širina ksilemske branike 2014 po razredih poškodovanosti (bukev). Siva črta predstavlja povprečno širino branike na rastišču na Panški reki. Ročaji prikazujejo standardni odklon.

Slika 22 prikazuje anatomsko zgradbo buke na prečnem prerezu. Lepo je vidna primerjava širin letnega prirastka pri nepoškodovanih kontrolnih in različno poškodovanih drevesih. Tako kot je razvidno s slike so tudi meritve in obdelava podatkov pokazali, da je bil prirastek največji pri nepoškodovanih kontrolnih drevesih in najmanjši pri najbolj poškodovanih drevesih.



Slika 22: Primerjava letnih prirastkov (bukve). Od leve proti desni si sledijo prečni prerezi tipičnih branik iz razreda K (drevo št. 27), A (drevo št. 10), B (drevo št. 3) in C (drevo št. 1). Daljica predstavlja 100 μm .

4.1.4 Floemska branika

4.1.4.1 Končna širina floemske branike

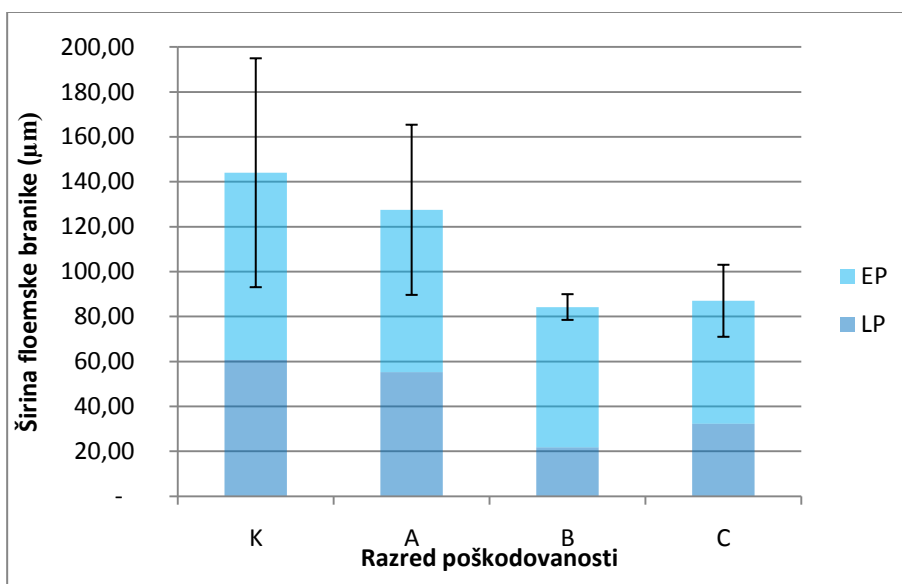
Raziskava je vključevala tudi primerjavo širin floemskih branik. Najširšo floemsko braniko so proizvedla nepoškodovana drevesa (razred K) ($144,0 \pm 50,9 \mu\text{m}$), sledijo drevesa razreda A ($127,5 \pm 37,9 \mu\text{m}$), drevesa razreda B ($84,2 \pm 5,7 \mu\text{m}$) in drevesa razreda C ($87,0$

$\pm 16,0 \mu\text{m}$) (Slika 23). Vsa preiskovana drevesa so proizvedla floemsko braniko, ki je preživetveno še pomembnejša od ksilemske.

Največ ranega floema (EP) so proizvedla drevesa razreda K ($83,3 \pm 27,1 \mu\text{m}$), sledijo drevesa razreda A ($72,3 \pm 18,6 \mu\text{m}$), drevesa razreda B ($62,4 \pm 20,2 \mu\text{m}$) in drevesa razreda C ($54,7 \pm 21,2 \mu\text{m}$) (Slika 23).

Največ kasnega floema (LP) so proizvedla drevesa razreda K ($60,7 \pm 35,1 \mu\text{m}$), sledijo drevesa razreda A ($55,3 \pm 22,2 \mu\text{m}$), drevesa razreda C ($32,3 \pm 5,2 \mu\text{m}$) in drevesa razreda B ($21,8 \pm 18,9 \mu\text{m}$) (Slika 23).

Rezultati meritev so prikazani na skupnem diagramu (Slika 23), ki razkrije podobnost med nepoškodovanimi drevesi in drevesi razreda A ter podobnost med drevesi B in C razreda.

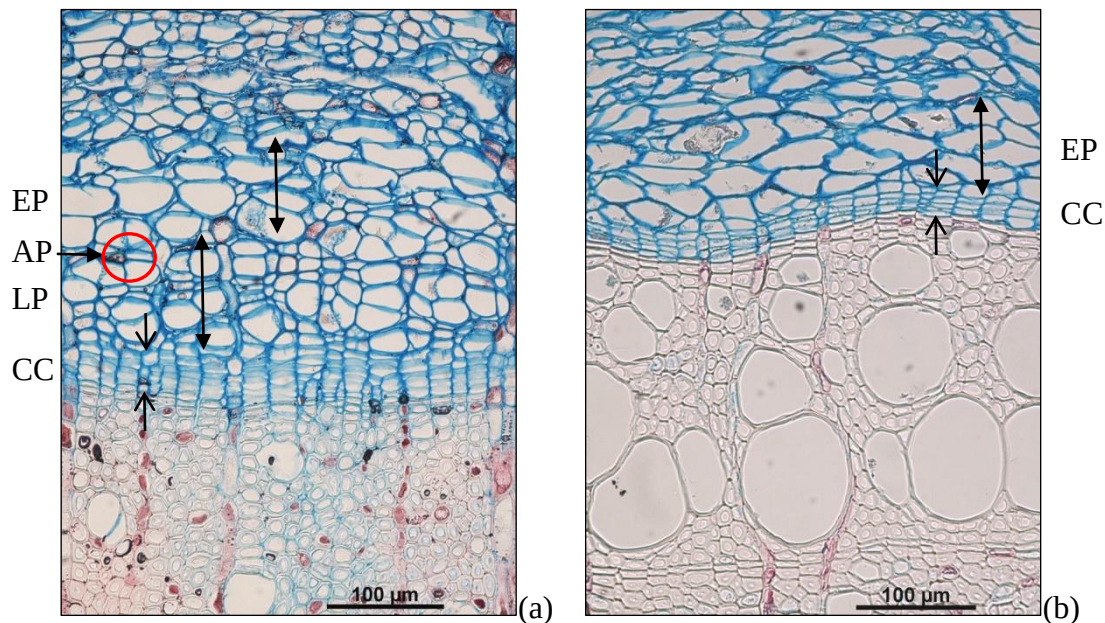


Slika 23: Končna širina floemske branike (bukev). EP – rani floem; LP – kasni floem. Ročaji prikazujejo standardni odklon od povprečja skupne (EP + LP) širine floemske branike v posameznem razredu poškodovanosti.

4.1.4.2 Zgradba floemske branike in izostanek kasnega floema

Floemsko braniko pri bukvi sestavlja nekaj sitastih cevi ranega floema (EP) in nato še sitaste cevi kasnega floema (LP), med katerimi so tudi celice aksialnega parenhima (AP) (Slika 24a). Pri enem od raziskovanih dreves (drevo št. 6 iz razreda B) kasni floem sploh ni

nastal (Slika 24b), saj smo pri preiskavi zabeležili le sitaste cevi ranega floema. Aksialni parenhim in sitaste cevi kasnega floema do zaključka kambijeve aktivnosti niso nastale.

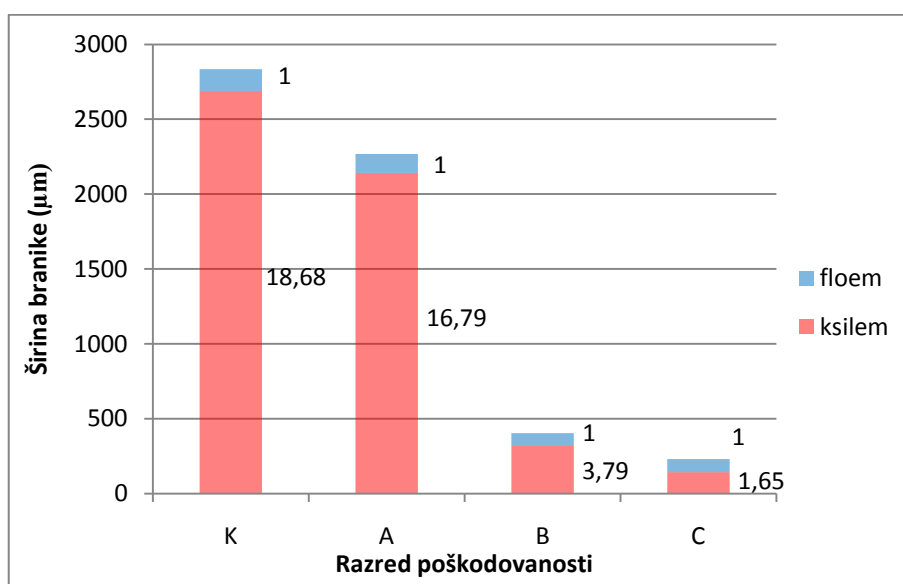


Slika 24: Primerjava nastalih floemskih branik (26. 9. 2014) (EP – rani floem, AP – aksialni parenhim, LP – kasni floem, CC – kambijeve cona). (a) V braniki drevesa št. 2 je viden širok pas kasnega floema. (b) V braniki drevesa št. 6 aksialnega parenhima in kasnega floema ni.

4.1.5 Razmerje med širino floemske in ksilemske branike

S pridobljenimi podatki (povprečnimi širinami floemskih in ksilemskih branik) smo izračunali razmerja širin obeh branik po razredih poškodovanosti.

Pri bukvi je največje razmerje v kontrolnem (K) razredu (1 : 18,68 – floemska branika : ksilemska branika), sledi razred A (1 : 16,79) in nato razred B (1 : 3,79). Izrazito najmanjše razmerje velja za najbolj poškodovana drevesa (razred C) (1 : 1,65) (Slika 25).

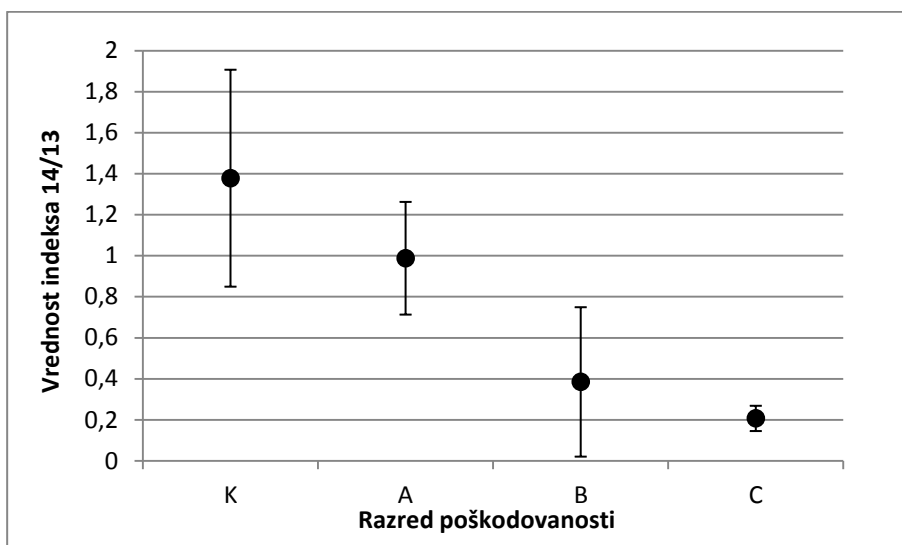


Slika 25: Razmerja med floemskimi in ksilemskimi branikami pri preiskovanih bukvah. Razmerja so izračunana iz povprečij vseh dreves v posameznih razredih poškodovanosti.

4.1.6 Primerjava širin ksilemskih branik 2014 in 2013

Kot pokazatelj vpliva poškodbe krošnje smo izračunali tudi razmerje širin branik, nastalih v letu 2014, in širin predhodnih branik, nastalih v letu 2013. To razmerje smo poimenovali indeks 14/13.

Pri bukvi je indeks 14/13 največji v razredu K in znaša $1,38 \pm 0,53$. Sledi razred A ($0,99 \pm 0,27$). Veliko manjša sta indeksa razredov B ($0,39 \pm 0,36$) in C ($0,21 \pm 0,06$) (Slika 26).

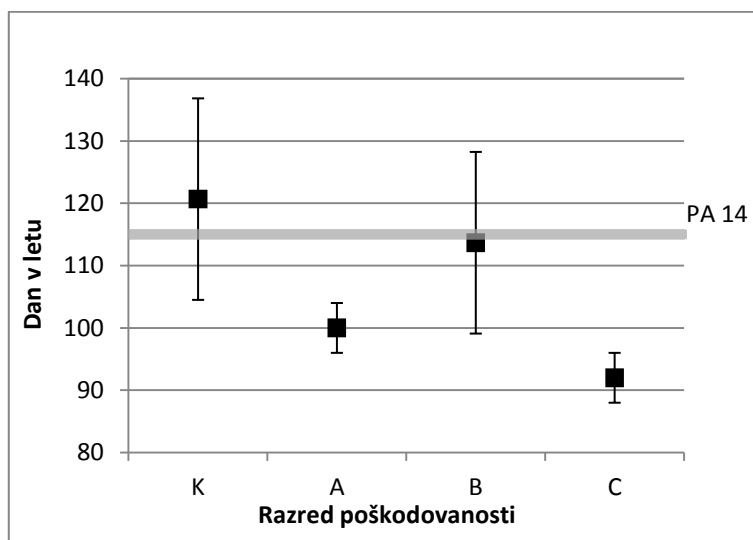


Slika 26: Vrednosti indeksa 14/13 po razredih poškodovanosti (bukve).

4.1.7 Fenologija kambija

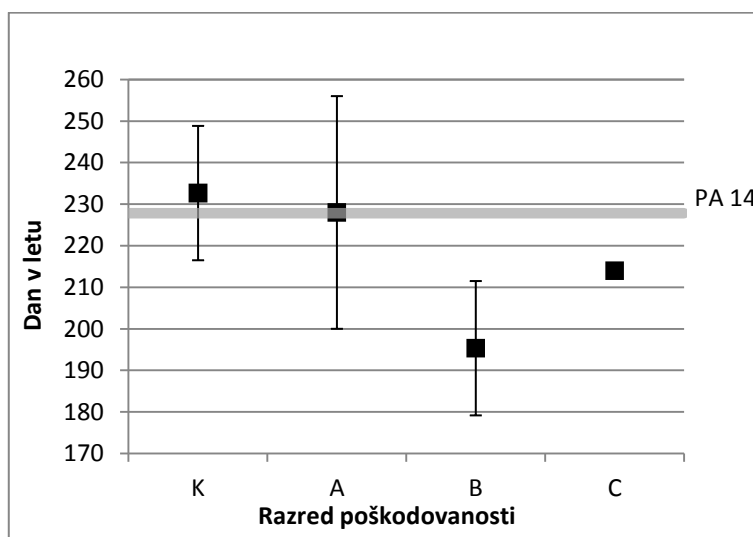
4.1.7.1 Nastajanje ksilema

Pri nastanku lesa oz. ksilema smo na vseh vzorčnih drevesih posameznih kategorij poškodovanosti najprej raziskali začetek kambijeve aktivnosti na strani ksilema. Produkcija ksilemskih celic se je v vseh razredih poškodovanih dreves začela prej kot v kontrolnem razredu. Najprej se je začela v razredu C ($92,0 \pm 4,0$; povprečje zaporednega dne v letu $\pm$ standardni odklon), sledi razred A ($100,0 \pm 4,0$), razred B ($113,7 \pm 14,6$), najkasneje pa se je začela v kontrolnem razredu ($120,7 \pm 16,2$) (Slika 27). Rezultate smo primerjali s podatki, pridobljenimi z vzporednega rastišča (Panška reka) v isti rastni sezoni.



Slika 27: Začetek nastajanja ksilemskih celic po posameznih razredih poškodovanosti krošnje (bukev). Siva črta predstavlja datum začetka z rastišča na Panški reki. Ročaji prikazujejo standardni odklon.

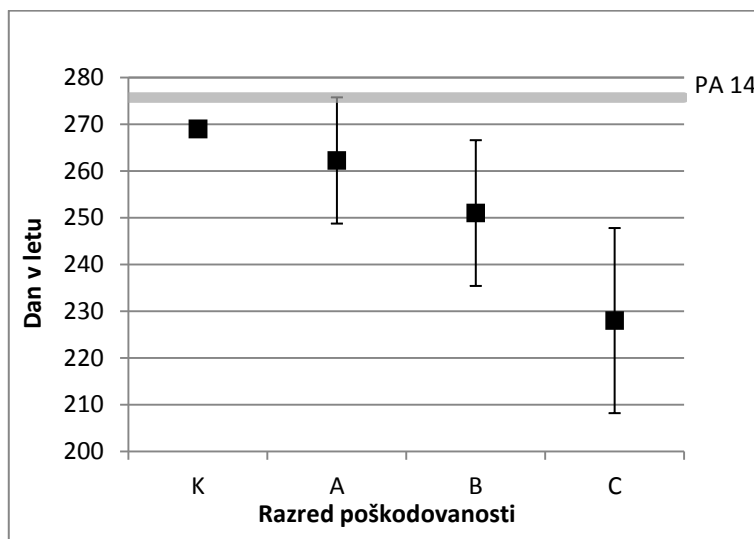
Konec produkcije ksilemskih celic je v vseh razredih poškodovanih dreves nastopil prej kot v kontrolnem razredu. Najprej je nastopil v razredu B ($195,3 \pm 16,2$), sledi razred C ($214,0 \pm 0,0$), razred A ($228,0 \pm 28,0$), najkasneje pa se je produkcija ksilema zaključila v kontrolnem razredu ($232,7 \pm 16,2$) (Slika 28).



Slika 28: Konec nastajanja ksilemskih celic po posameznih razredih poškodovanosti krošnje (bukev). Siva črta predstavlja zaključek nastajanja ksilema z rastišča na Panški reki. Ročaji prikazujejo standardni odklon.

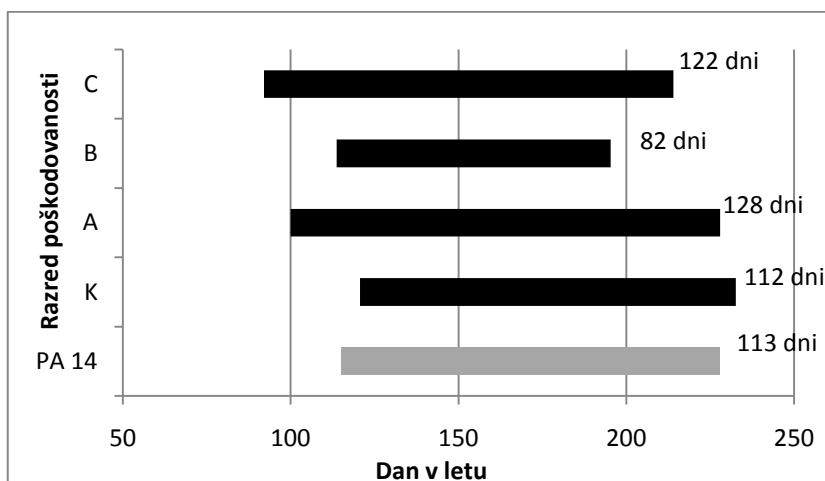
Raziskali smo tudi konec diferenciacije ksilemskih celic, ki je v vseh razredih poškodovanih dreves nastopil prej kot v kontrolnem razredu. Diferenciacija se je najprej

zaključila v drevesih najbolj poškodovanega razreda C ($228,0 \pm 19,8$), sledita razred B ($251,0 \pm 15,6$) in razred A ($262,3 \pm 13,5$). Diferenciacija se je najkasneje zaključila v kontrolnem razredu ($269,0 \pm 0,0$), kar je bilo tudi primerljivo s zaključkom diferenciacije dreves buke na vzporednem rastišču Panška reka (Slika 29).



Slika 29: Konec diferenciacije ksilemskih celic po posameznih razredih poškodovanosti krošnje (bukev). Siva črta predstavlja zaključek diferenciacije na rastišču na Panški reki. Ročaji prikazujejo standardni odklon.

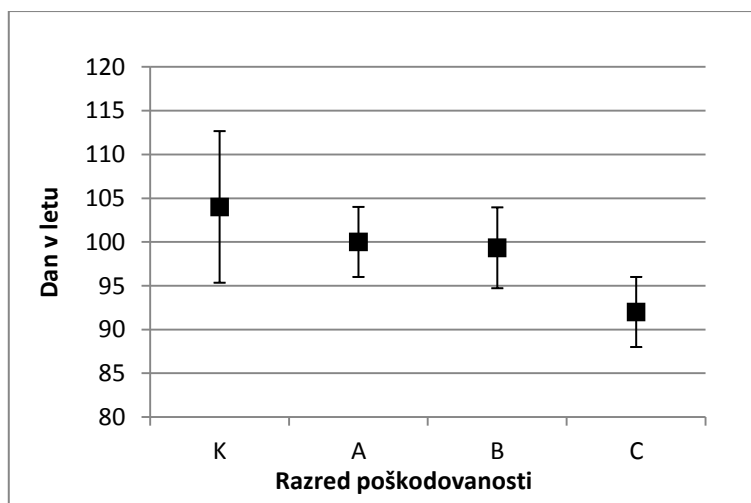
Na osnovi vseh pridobljenih podatkov smo preverili še dolžino trajanja kambijeve aktivnosti. Najmanj časa je kambij proizvajal ksilemske celice v drevesih razreda B ($81,7 \pm 24,6$; število dni $\pm$ stand. odklon), sledi kontrolni razred ($112,0 \pm 28,0$), nato razred C ($120,0 \pm 0,0$) in razred A ($128,0 \pm 29,6$). Na Panški reki je ksilem v povprečju nastajal 112,8 dni, kar je ponovno najbolj primerljivo z razredom nepoškodovanih bukev (Slika 30).



Slika 30: Obdobje nastajanja lesa po posameznih razredih poškodovanosti krošnje (bukev). Sivo polje predstavlja trajanje nastajanja lesa v drevesih na Panški reki.

4.1.7.2 Nastajanje floema

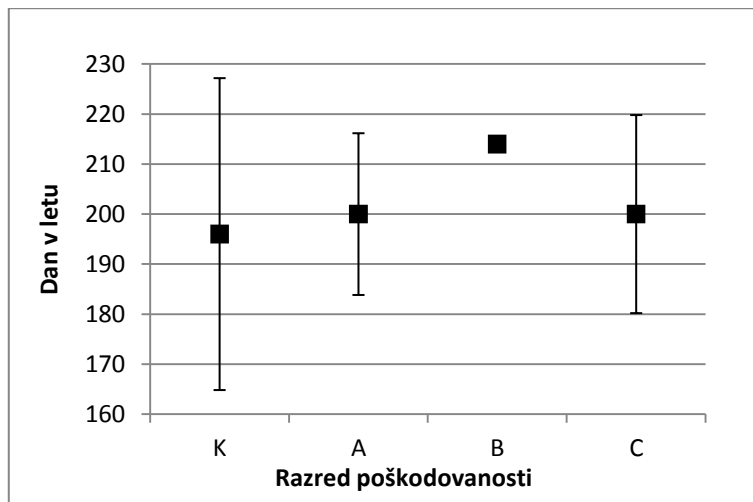
Kambijevo aktivnost smo spremljali tudi na strani skorje oz. floema. Kambij je najprej začel proizvajati floem v drevesih najbolj poškodovanega razreda C (dan v letu $92,0 \pm 4,0$), sledita razred B ($99,3 \pm 4,6$) in razred A ($100,0 \pm 4,0$). Najkasneje je floem začel nastajati v nepoškodovanih kontrolnih drevesih razreda K ($104,0 \pm 8,7$) (Slika 31).



Slika 31: Začetek nastajanja floemskih branik po posameznih razredih poškodovanosti krošnje (bukev). Ročaji prikazujejo standardni odklon.

Kljub najkasnejšemu začetku nastajanja floema se je prehod iz ranega v kasni floem (pojav aksialnega parenhima – primer Slika 24a) najprej pojavil pri drevesih razreda K (dan v letu

196,0 ± 31,2). Sledita razred A (200,0 ± 16,2) in razred C (200,0 ± 19,8). Nazadnje je kasni floem začel nastajati v razredu B (214,0 ± 0,0) (Slika 32).

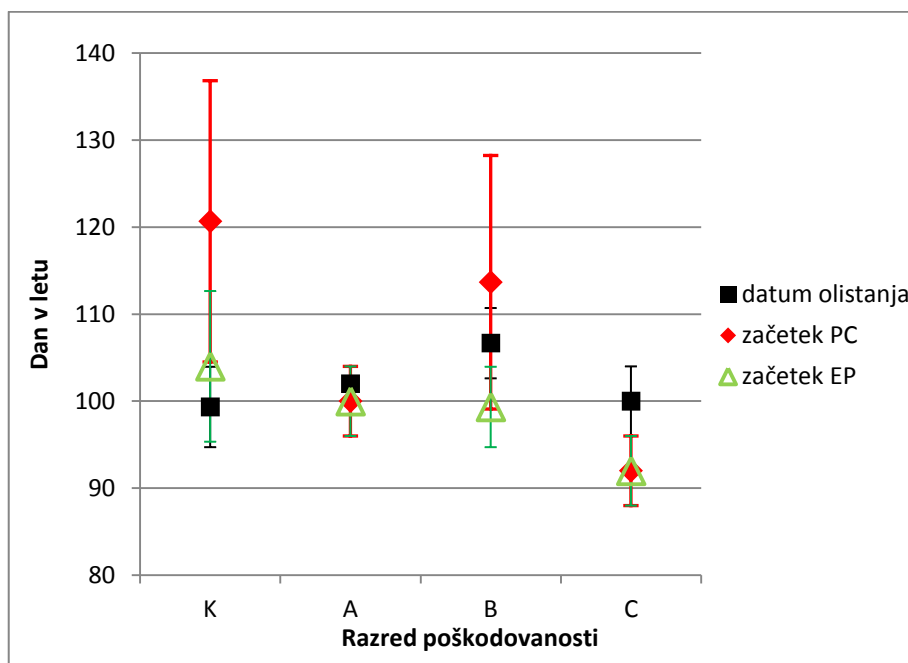


Slika 32: Začetek nastajanja celic kasnega floema po posameznih razredih poškodovanosti krošnje (bukev). Ročaji prikazujejo standardni odklon.

4.1.7.3 Kambijeve aktivnost in čas olistanja

Primerjali smo tudi kambijevo aktivnost (začetek postkambialne rasti in ranega floema) s časom olistanja. V povprečju so najprej olistala drevesa razreda K (dan v letu 99,3 ± 4,6), neposredno za njimi drevesa razreda C (100,0 ± 4,0), nato drevesa razreda A (102,0 ± 0,0), nazadnje pa še drevesa razreda B (106,7 ± 4,0) (Slika 33).

Pri vseh poškodovanih drevesih je floemska branika začela nastajati že pred olistanjem, drugače pa je bilo pri nepoškodovanih kontrolnih drevesih. Pri najbolj poškodovanih drevesih (razred C) se je pred olistanjem začela tudi že ksilogeneza (nastanek ksilema), medtem ko se je v razredu A začela ob približno istem času kot olistanje. V razredih K in B je ksilem začel nastajati en ali dva tedna po olistanju (Slika 33).



Slika 33: Časovna primerjava olistanja in začetka nastajanja ksilemskih in floemskih branik (bukev). PC – faza postkambialne rasti; EP – rani floem. Ročaji prikazujejo standardni odklon.

4.2 ODZIV SMREKE NA POŠKODBE

4.2.1 Revitalizacija krošnje

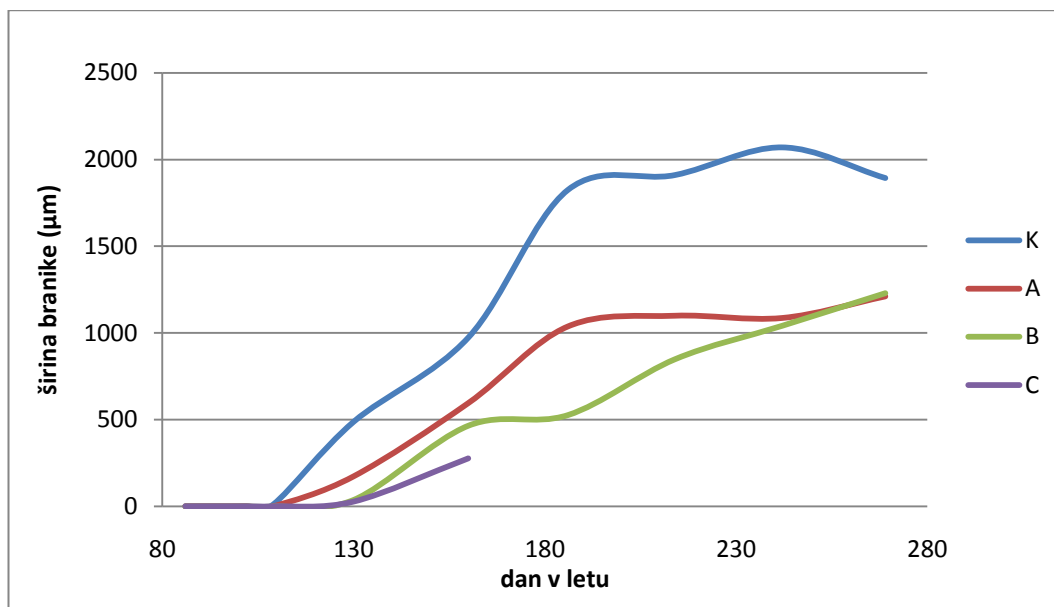
Pri smreki v času opazovanja na nobenem drevesu nismo opazili nikakršnih teženj po obnavljanju krošnje. Prav tako do konca raziskave (10. 10. 2014) nismo opazili, da bi katera izmed opazovanih smrek odmrlo.

4.2.2 Ksilemska branika

4.2.2.1 Dinamika nastajanja ksilemske branike

Spremljanje povprečnih širin branik pri smreki nam je pokazalo, da so bile branike ves čas najširše v nepoškodovanih drevesih, tj. drevesih razreda K. Drevesa razreda K in razreda A so največji delež priraščanja opravila že do začetka julija (186. dan v letu), medtem ko so drevesa v razredu B priraščala nekoliko počasneje in bolj konstantno skozi celotno sezono. Kljub različni dinamiki sta si širini branik dreves razredov A in B na koncu sezone zelo

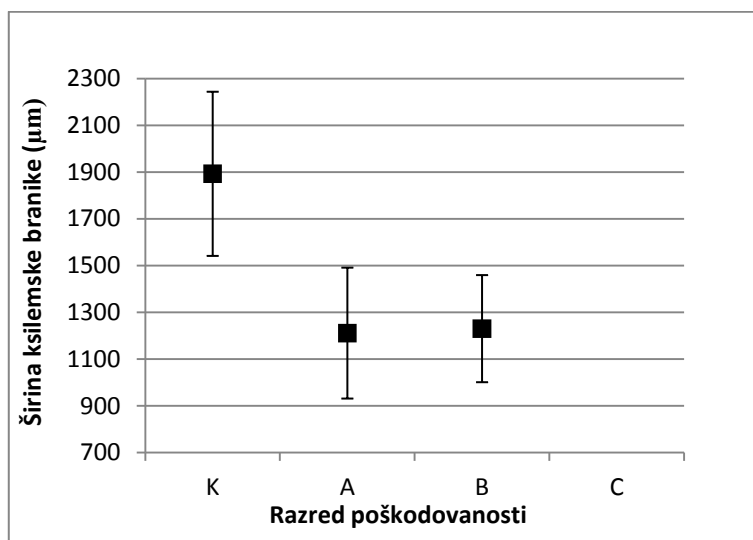
podobni (Slika 34). Do poseka dreves razreda C (160. dan v letu) smo pri le teh spremljali najpočasnejšo rast širine branik.



Slika 34: Dinamika nastajanja ksilemske branike po razredih poškodovanosti (smreka).

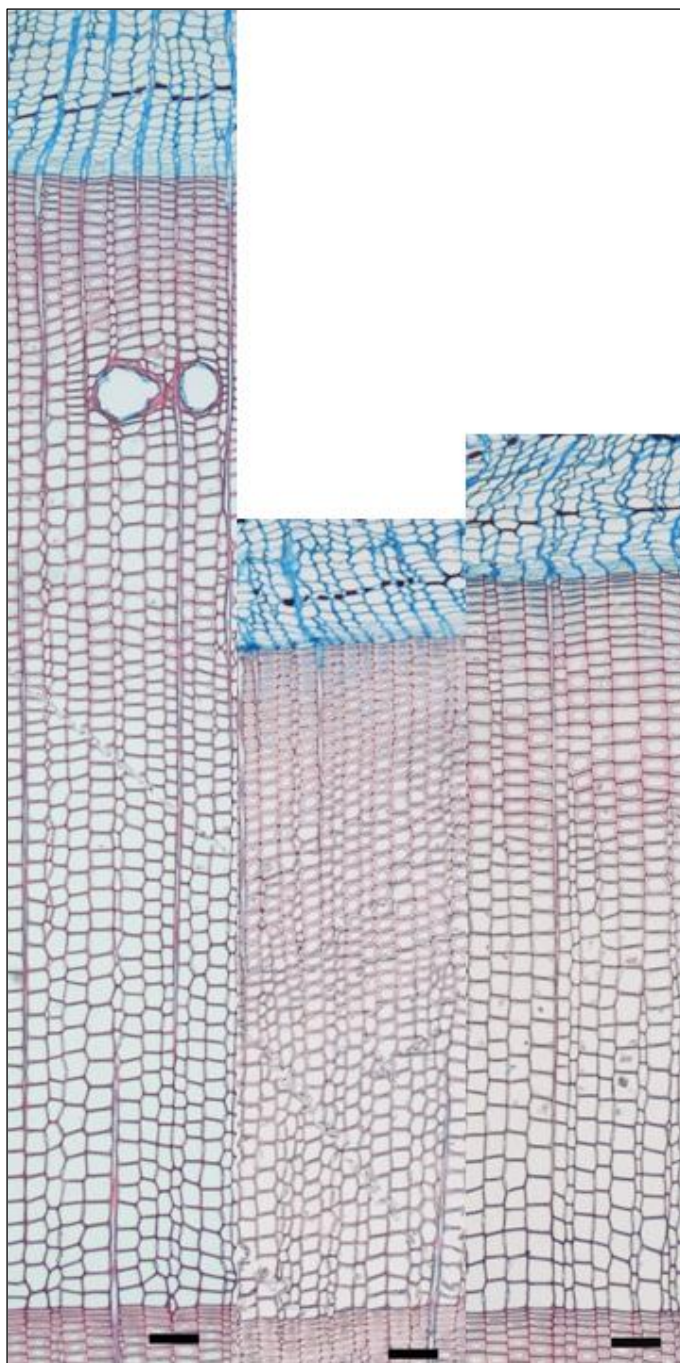
4.2.2.2 Končna širina ksilemske branike

Enako kot pri drevesih bukve je najširša povprečna branika razreda nastala v nepoškodovanih drevesih razreda K ($1892,7 \pm 351,2 \mu\text{m}$). Občutno ožji vendar približno enaki braniki sta nastali v razredih A ($1211,2 \pm 280,0 \mu\text{m}$) in B ($1230,3 \pm 229,2 \mu\text{m}$) (Slika 35 in Slika 36). Vse smreke so, ne glede na stopnjo poškodovanosti krošnje, proizvedle ksilemsko braniko in preživele.



Slika 35: Širina ksilemske branike po razredih poškodovanosti (smreka). Ročaji prikazujejo standardni odklon.

Na sliki (Slika 36) je prikazana anatomija smreke na prečnem prerezu. Primerjava razkrije zgradbo branik, nastalih v letu 2014 po žledolomu. Najširše branike so nastale v drevesih kontrolnega razreda K.

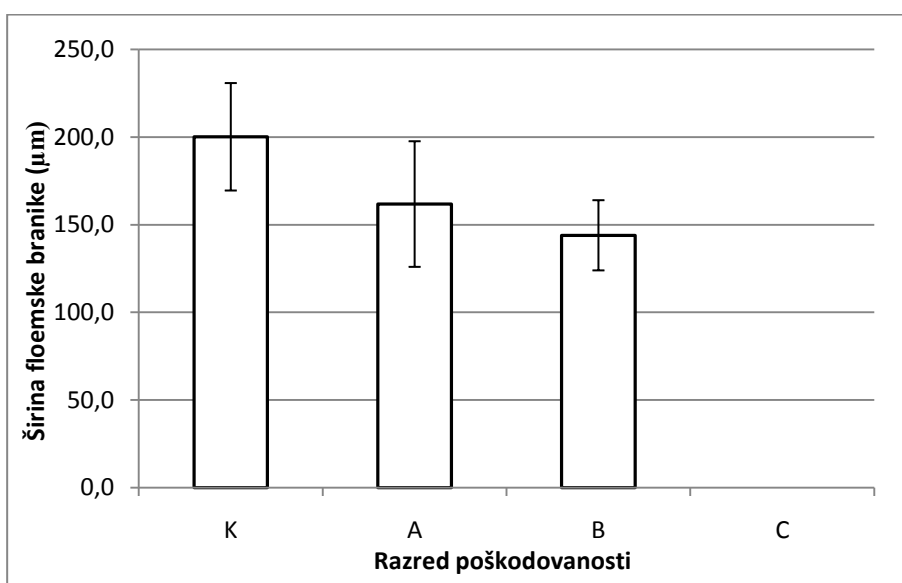


Slika 36: Primerjava prečnih prerezov branik raziskanih smrek. Od leve proti desni si sledijo branike iz razreda K (drevo št. 15), A (drevo št. 21), in B (drevo št. 23). Daljica predstavlja 100 μm .

4.2.3 Floemska branika

4.2.3.1 Končna širina floemske branike

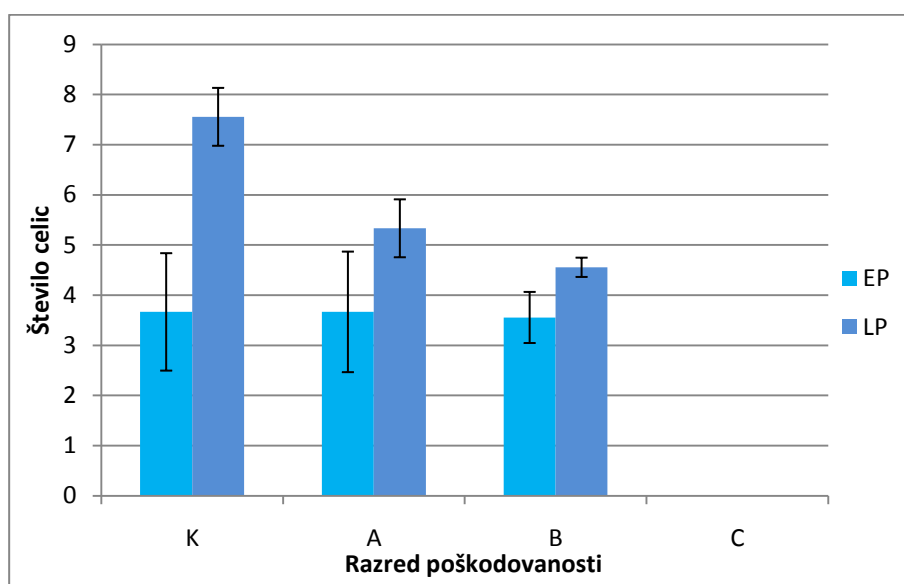
Podrobna analiza floemske branike je tudi pri smreki omogočila primerjavo širin floemskih branik. Najširše floemske branike so proizvedla drevesa razreda K ($200,2 \pm 30,6 \mu\text{m}$), nekoliko ožje drevesa razreda A ($161,8 \pm 35,9 \mu\text{m}$) in najožje drevesa razreda B ($144,0 \pm 20,0 \mu\text{m}$) (Slika 37).



Slika 37: Končna širina floemske branike (smreka). Ročaji prikazujejo standardni odklon.

Število celic ranega floema je bilo podobno pri vseh raziskanih drevesih. Drevesa razreda K in A so proizvedla $3,7 \pm 0,6$ celic ranega floema, drevesa razreda B pa $3,6 \pm 0,2$ celic (Slika 38).

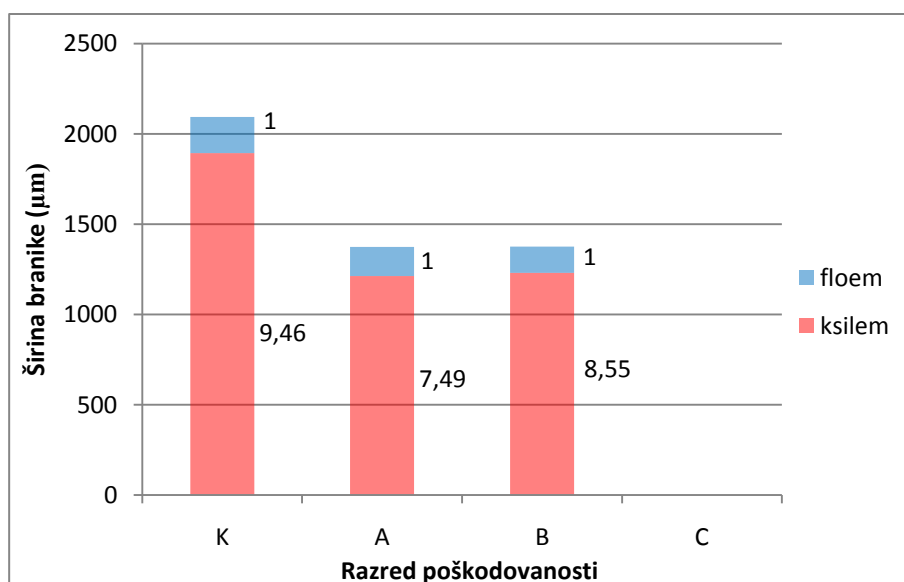
Bistvene razlike med različno poškodovanimi drevesi so se pojavile v drugem delu rastne sezone in sicer v nastajanju kasnega floema, kjer so nepoškodovana drevesa (razred K) proizvedla $7,6 \pm 1,2$ celic kasnega floema, drevesa razreda A $5,3 \pm 1,2$ celic, drevesa razreda B pa $4,6 \pm 0,5$ celic (Slika 38). Izkazalo se je, da se z naraščanjem poškodovanosti dreves delež kasnega floema zmanjšuje. Vseeno pa so proizvedene floemske branike tudi najbolj poškodovanim smrekam zagotovile preživetje vsaj prve rastne sezone po žledolomu.



Slika 38: Število celic ranega (EP) in kasnega (LP) floema v floemski braniki ob koncu rastne sezone. Ročaji prikazujejo standardni odklon.

4.2.4 Razmerje med širino floemske in ksilemske branike

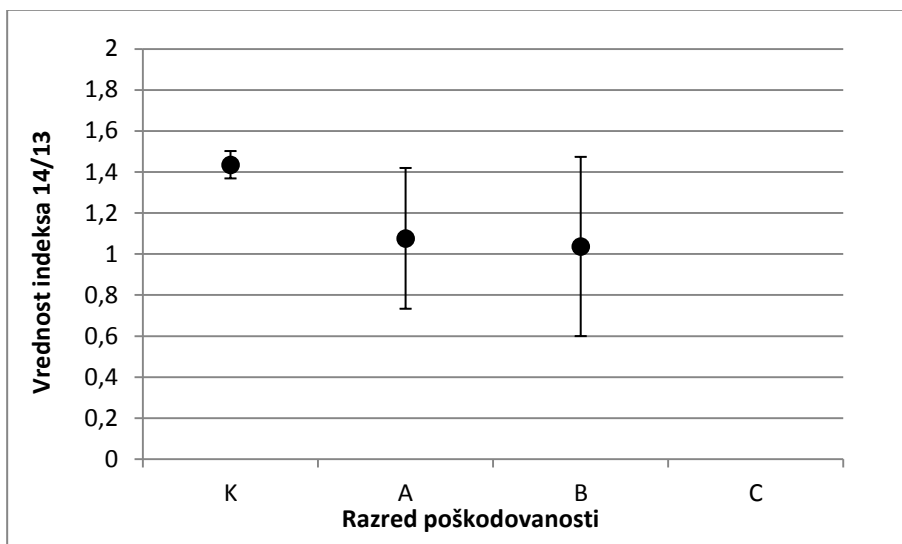
Tudi pri smreki (Slika 39) je analiza pokazala največje razmerje širin floemske in ksilemske branike 2014 v kontrolnem (K) razredu (1 : 9,46), sledi razred B (1 : 8,55) in nato razred A (1 : 7,49). Ta razmerja so si zelo podobna.



Slika 39: Razmerje med širino floemskih in ksilemskih branik pri raziskanih smrekah. Razmerja so izračunana iz povprečij vseh raziskanih dreves v posameznih razredih poškodovanosti.

4.2.5 Primerjava širin ksilemskih branik 2014 in 2013

Pri smreki je indeks razmerja širin ksilemskih branik 2014 in 2013 (14/13) prav tako največji v razredu K ($1,43 \pm 0,07$). Sledi razred A ($1,08 \pm 0,34$). Najmanjši je indeks razreda B ($1,04 \pm 0,44$) (Slika 40).

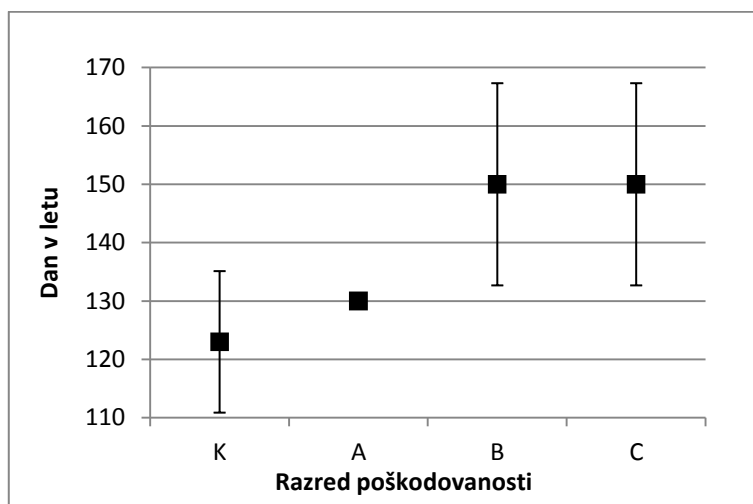


Slika 40: Vrednosti indeksa 14/13 po razredih poškodovanosti (smreka).

4.2.6 Fenologija kambija

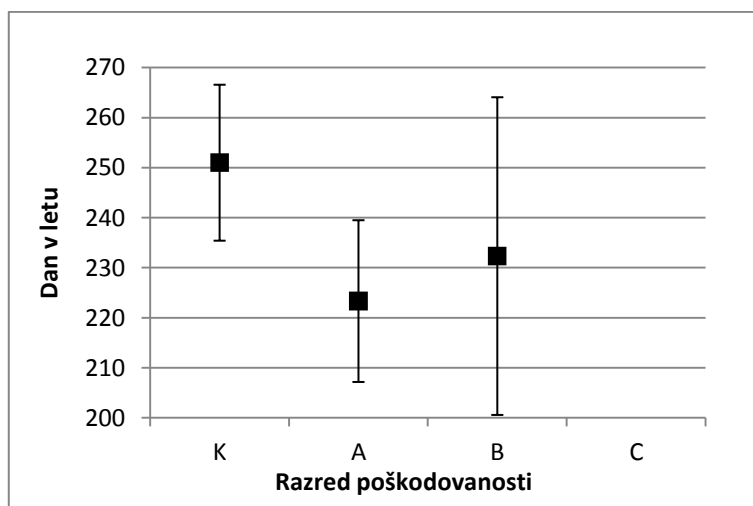
4.2.6.1 Nastajanje ksilema

Pri smreki se je produkcija ksilemskih celic najprej začela v nepoškodovanih drevesih razreda K ($123 \pm 12,1$). Sledil mu je razred A ($130,0 \pm 0,0$). Najkasneje pa se je začela v razredih B in C ($150,0 \pm 17,3$) (Slika 41).



Slika 41: Začetek nastajanja ksilemskih celic po posameznih razredih poškodovanosti krošnje (smreka). Ročaji prikazujejo standardni odklon.

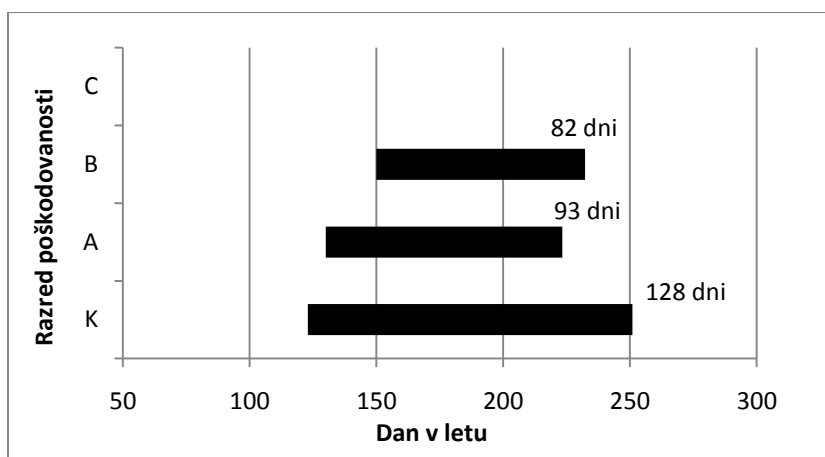
Nastajanje ksilemskih celic se je najprej zaključilo v drevesih razreda A (dan v letu $223,3 \pm 16,2$), nato razreda B ($232,3 \pm 31,8$), najdlje pa so ksilemske celice nastajale pri nepoškodovanih kontrolnih drevesih razreda K ($251,0 \pm 15,6$) (Slika 42). Za razred C nimamo podatkov o datumu konca nastajanja celic, ker so bile vse smreke tega razreda posekane sredi rastne sezone (zadnje vzorčenje je bilo opravljeno 160. dan v letu).



Slika 42: Čas zaključka nastajanja ksilemskih celic po posameznih razredih poškodovanosti krošnje (smreka). Ročaji prikazujejo standardni odklon.

Diferenciacija celic se je do zaključka eksperimenta (269 dan v letu, datum 26.9.2014) zaključila samo pri štirih drevesih. Za ostala drevesa nimamo natančnega podatka o datumu konca diferenciacije celic.

Najmanj časa je kambij proizvajal ksilemske celice v drevesih razreda B ($82,3 \pm 49,1$), sledi razred A ($93,3 \pm 16,2$), najdlje pa je ksilem nastajal v kontrolnem razredu K ($128 \pm 14,2$) (Slika 43).

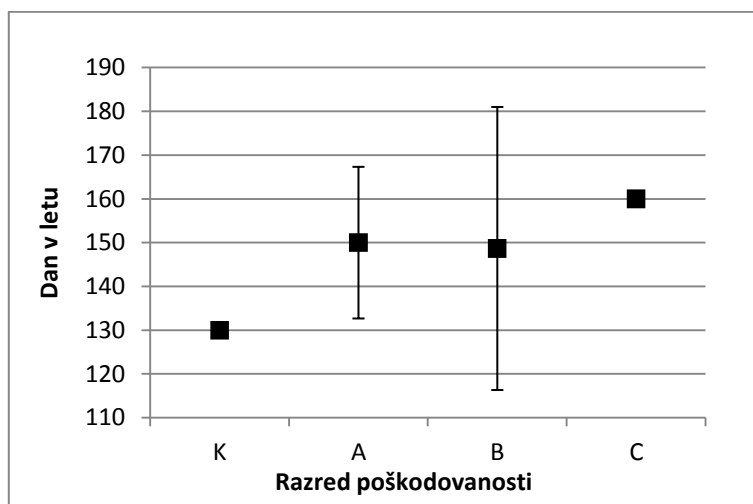


Slika 43: Obdobje nastajanja lesa po posameznih razredih poškodovanosti krošnje (smreka).

4.2.6.2 Nastajanje floema

Pri vseh preiskovanih smrekah je floemska branika začela nastajati že pred pričetkom eksperimenta (86. dan v letu, dne 27.3.2014).

Prehod iz ranega v kasni floem je pri smreki najprej nastopil v razredu K (dan v letu $130,0 \pm 0,0$). Sledita razred B ($148,7 \pm 32,3$) in razred A ($150,0 \pm 17,3$). Najkasneje je kasni floem začel nastajati v drevesih razreda C ($160,0 \pm 0,0$) (Slika 44).

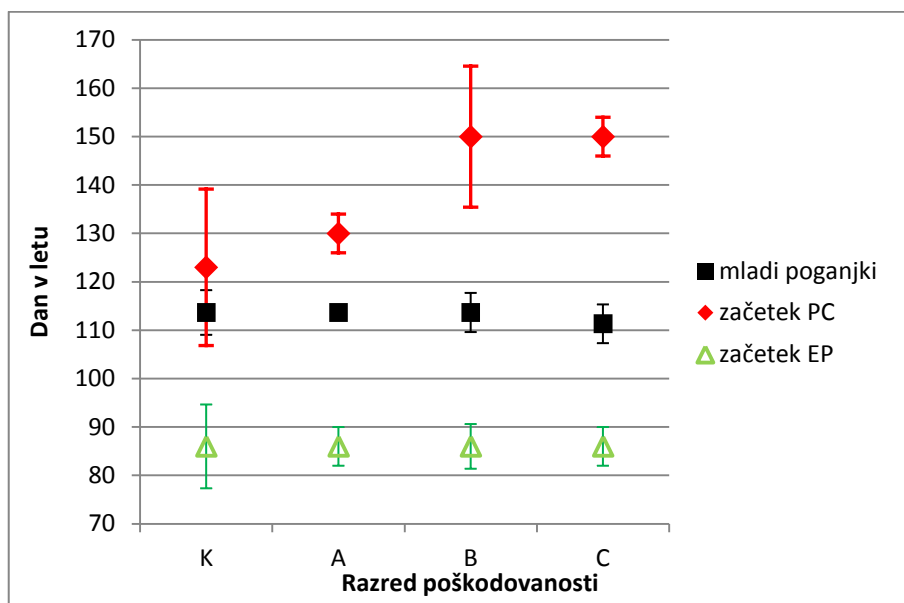


Slika 44: Začetek nastajanja celic kasnega floema po posameznih razredih poškodovanosti krošnje (smreka). Ročaji prikazujejo standardni odklon.

4.2.6.3 Kambijeva aktivnost in čas pojava mladih poganjkov

V povprečju so se mladi poganjki najprej pojavili na smrekah razreda C ($111,3 \pm 4,0$). Le nekaj dni za njimi so se pojavili še na drevesih ostalih razredov ($113,7 \pm 4,0$) (Slika 45).

V vseh razredih je floemska branika začela nastajati približno štiri tedne pred pojavom mladih poganjkov. Ksilogeneza se je v vseh razredih začela po pojavu mladih poganjkov, in sicer z najmanjšim časovnim zamikom (približno en teden) v razredu K in še en teden večjim v razredu A. Ksilogeneza v razredih B in C se je pričela najkasneje, in sicer približno štiri tedne po pojavu mladih poganjkov (Slika 45).



Slika 45: Časovna primerjava pojava mladih poganjkov in začetka nastajanja ksilemskih in floemskih branik (smreka). PC – faza postkambialne rasti; EP – rani floem. Ročaji prikazujejo standardni odklon.

5 RAZPRAVA

5.1 FENOLOGIJA DREVES

Značilnih razlik v času olistanja med razredi poškodovanosti nismo opazili. Faza olistanja pri bukvah je nastopila med 4. in 19. aprilom, od tega je velika večina olistala 12. aprila. Prislan in sod. (2013) so prav tako ugotovili, da faza olistanja pri bukvi nastopi v razmaku okoli dveh tednov. Pri smrekah je faza mladih poganjkov nastopila med 19. in 26. aprilom, prav tako brez značilnih razlik med razredi poškodovanosti. Do zaključka naše raziskave (10. 10. 2014) faza rumenenja listov pri bukvi še ni nastopila.

5.2 REVITALIZACIJA KROŠNJE IN PREŽIVETJE DREVES

Tudi pri revitalizaciji krošnje med posameznimi razredi poškodovanosti nismo opazili konsistentnega vzorca. Večje razlike so bile med posameznimi drevesi, ne glede na jakost njihove poškodbe. Opazili smo tendenco, da se epikormski in adventivni poganjki na splošno pogosteje pojavljajo na bukvah, ki imajo več rastnega prostora in dotoka svetlobe. Nismo opazili, da bi se na drevesu, ki bujno odganja nove poganjke, pojavili samo novi poganjki na mestih, kjer je prišlo do poškodbe, ampak se zelo pogosto pojavijo tudi nižje po deblu. Predvsem se pojavljajo na mestih, ki so osvetljena z direktno sončno svetlobo. To je pričakovano, saj drevo s produkcijo poganjka na takem mestu hitro povrne vloženo energijo, medtem ko z novim poganjkom na zasenčenem mestu pridobi manj dodatne energije.

Smreka v prvem letu po poškodbi ni pokazala sposobnosti po obnavljanju krošnje. Smreka (kot tudi drugi vednozeleni iglavci) preko zime ne odvrže svojega fotosintetskega aparata. Možno je, da je to vzrok za počasnejši odziv na stres v primerjavi z listavci. Medtem pa je prva skrb bukve, da si zagotovi zadosti fotosintetskega aparata, da proizvede dovolj hranilnih snovi za mesta porabe.

Povezanosti med sposobnostjo revitalizacije krošnje in širino novonastale branike nismo uspeli zaznati. Deloma je razlog najbrž v tem, da smo imeli v vsakem razredu poškodovanosti le po štiri ali tri drevesa, ki so pokazala različno sposobnost revitalizacije.

Poleg tega je stopnjo revitalizacije težko ovrednotiti. Poganjki se pojavljajo v različnih oblikah – nekateri so že samostojne, dolge vejice, drugi so le šopki listov, ki izraščajo iz debla. Pogosto so tudi skriti opazovalcu s tal. Pojavlja se tudi vprašanje, ali je bolj pomembna časovna komponenta – hitro odganjanje novih poganjkov – ali končno število novih poganjkov oz. njihova površina?

Vsa drevesa obeh vrst so proizvedla ksilemske in floemske branike, četudi zelo ozke. S tega stališča so si drevesa zagotovila prevodne elemente, ki jim omogočajo preživetje. Prav tako do konca našega poskusa na nobenem raziskovanem drevesu nismo opazili, da bi se krošnja ali le del nje začela sušiti oz. odmirati. Zato sklepamo, da so vsa drevesa, ne glede na stopnjo poškodovanosti krošnje, preživela prvo rastno sezono po žledolomu.

5.3 KSILEMSKA BRANIKA

Pri bukvi je bila povprečna širina branike v letu 2014 v razredu A dobrih 20 % manjša od povprečne širine branike razreda K ($2689,9 \pm 2480,2 \mu\text{m}$). Ta razlika sicer ni statistično značilna, a nakazuje, da lahko že zmerna poškodba krošnje negativno vpliva na nastanek lesa. Večje odstopanje smo ugotovili pri razredu B. Tu je povprečna ksilemska branika kar za dobrih 88 % manjša od branike razreda K. Še večje odstopanje smo ugotovili pri najbolj poškodovanih drevesih (razred C). Tu je v povprečju branika za kar 95 % ožja od povprečne branike nepoškodovanih dreves (razred K). Naše ugotovitve se deloma ujemajo s tem, kar so ugotovili Shortle in sod. (2003), ki med razredi sicer niso primerjali širin branik po poškodbi krošnje, ampak razmerja med širino branik pred in po poškodbi krošnje. Zaznali so opazno razliko med razredoma A in B ter manjšo med razredi K in A ter B in C, vendar so njihova drevesa izkazala procentualno manjše izgube debelinskega prirastka v vseh razredih kot naše bukve.

Na drugi strani smo pri smreki opazili znaten padec širine ksilemske branike že med razredoma K in A. Branika razreda A je bila za 36 % ožja od branike razreda K, branika razreda B pa za 35 %. Ožja branika razreda A nakazuje, da je odziv na poškodbo drugačen od odziva bukev, saj že zmerno poškodovane smreke izgubijo občuten del prirastka lesa.

5.4 FLOEMSKA BRANIKA

Tako pri bukvi kot pri smreki smo opazili negativno korelacijo med poškodovanostjo krošnje in širino floemske branike. Zelo jasno se je pokazalo tudi, da bistveno večje razlike med razredi poškodovanosti nastanejo v širini kasnega floema kot v širini ranega floema. Pri bukvi so tako bile širine kasnega floema razredov A, B in C za 9 %, 47 % in 64 % ožje od kasnega floema kontrolnega razreda K. Pri smreki se ta razmerja nanašajo na število celic: drevesa razreda A in B so proizvedla 30 % oziroma 39 % celic kasnega floema manj od dreves razreda K. Naše ugotovitve se ujemajo z ugotovitvami, ki jih navajajo Prislan (2012) ter Čufar in sod. (2012b). Pri eni bukvi (št. 6, razred B) smo zaznali celo popoln izostanek pasu kasnega floema, ker potrjuje, da je bilo drevo zaradi poškodbe v stresu.

5.5 RAZMERJE MED ŠIRINO FLOEMSKO IN KSILEMSKO BRANIKE

Gričar in sod. (2009, 2014) in Prislan (2012) ugotavljajo, da je razmerje med širino ksilemske in floemske branike zelo variabilno. Prislan (2013) navaja, da se pri bukvi variabilnost širine ksilemske branike giblje med 30 % in 40 %, variabilnost floemske branike pa med 15 % in 25 %. Čufar in sod. (2015) navajajo, da so ksilemski prirastki 5 do 12-krat večji od floemskih. Čufar (2006) navaja, da je razmerje med floemsko in ksilemsko braniko med 1 : 4 in 1 : 14. Naša raziskava je pokazala bistveno večje razlike v tem razmerju med razredi poškodovanosti pri bukvi kot pri smreki. Pri bukvi sta razmerji v razredih K in A dokaj podobni (1 : 18,68 in 1 : 16,79), velik preskok pa smo ugotovili do razredov B (1 : 3,79) in C (1 : 1,65). Pri smreki so razmerja manj različna. Razred K ima razmerje 1 : 9,46, razred A 1 : 7,49 in razred B 1 : 8,55. Glede na dosedanje raziskave ugotavljamo, da so bukve razreda K in tudi A v primerjavi s floemom proizvedle velik delež ksilema, smreke vseh razredov so bile nekje v povprečju, bolj poškodovane bukve (razreda B in C) pa so proizvedle občutno manjši delež ksilema.

5.6 RAZMERJE MED ŠIRINAMA BRANIK 2014 IN 2013

Čeprav širina branik med leti variira, je razmerje med širinama ksilemskih branik 2014 in 2013 pomemben podatek, saj nam širina branike 2013 kaže sposobnost debelinske rasti

drevesa pred poškodbo. Prva informacija, ki smo jo pridobili s tem razmerjem, je, da so v splošnem bila drevesa v letu 2014 produktivnejša kot v letu 2013, saj indeks 14/13 v razredu K tako pri bukvi (1,38) kot pri smreki (1,43) krepko presega 1. Pri smreki je indeks 14/13 večji od 1 celo pri obeh razredih poškodovanosti (1,08 – A in 1,04 – B). Pri bukvi indeks 14/13 razreda A še ne odstopa veliko (0,99), indeks 14/13 razreda B pa že (0,39). Indeks 14/13 razreda C je še manjši (0,21). Tudi iz teh vrednosti je razvidno, da pri bukvi največje razlike nastopijo med razredoma A in B, pri smreki pa v manjšem obsegu že med razredoma K in A. Naše ugotovitve za bukev se ujemajo tudi z izsledki raziskave avtorjev Shortle in sod. (2003), ki v razredu A niso opazili zmanjšane prirastka, v razredu B so opazili od 22 % do 70 %, v razredu C pa od 9 % do 70 % zmanjšan prirastek.

Glede na indeksa obeh razredov K, ki sta večja od 1, lahko domnevamo, da so bile splošne vremenske razmere v letu 2014 ugodnejše za rast kot v letu 2013. Prav tako ne smemo zanemariti dejstva, da so vsa drevesa, ki so obstala, na račun poškodovanih in posledično reduciranih krošenj sosednjih dreves pridobila nekaj rastnega prostora in dotoka svetlobe, kar je pozitivno vplivalo na njihovo rast v letu 2014. Sklepamo, da je na povečan prirastek v letu 2014 vplivala kombinacija obeh zgoraj navedenih vplivnih dejavnikov. Namen izračuna indeksa 14/13 je bila primerjava indeksov posameznih razredov med seboj. S tem smo izključili vpliv vremenskih razmer (saj so imela vsa drevesa enake razmere) in povečanega rastnega prostora zaradi poškodb sosednjih dreves (predpostavljamo, da so drevesa znotraj posameznega razreda na račun poškodb sosednjih dreves v povprečju prejela enak delež novega rastnega prostora).

5.7 FENOLOGIJA KAMBIJA

Na področju fenologije kambija smo zaznali precejšnje razlike med bukvijo in smreko.

Pri bukvi smo v vseh razredih poškodovanosti v primerjavi s kontrolnim razredom opazili zgodnejši začetek nastajanja ksilemskih in floemskih branik. To dejstvo pripisujemo odzivu dreves na obsežne poškodbe krošnje. Drevo se odzove tako, da pospeši rast in s tem čim prej poskuša vzpostaviti pogoje za preživetje. Tudi konec produkcije in diferenciacije ksilemskih celic sta nastopila prej v vseh razredih poškodovanih dreves kot v kontrolnem razredu. Prvi razlog je verjetno pomanjkanje energetskih zalog, ki jih je drevo porabilo za

zgodnejši začetek produkcije celic, in drugi razlog je manj produktiven fotosintetski aparat, ki je osiromašen zaradi redukcije krošnje.

Zamik med nastajanjem floema in ksilema je bil pri poškodovanih bukvah okrog enega tedna, pri nepoškodovanih pa dobra dva tedna.

Pri trajanju nastajanja lesa nismo ugotovili značilnih razlik med razredi poškodovanosti. Nastajanje lesa pri poškodovanih bukvah v povprečju traja enako dolgo kot pri nepoškodovanih, s to razliko, da se začetek in zaključek nastajanja lesa pri poškodovanih bukvah zgodita en ali dva tedna prej.

Nastajanje kasnega floema je v vseh razredih poškodovanosti nastopilo kasneje kot v kontrolnem razredu, kar vnovič potrjuje ugotovitve, da za razliko od ranega floema kasni floem predstavlja neke vrste presežek in ne nujnosti za preživetje drevesa.

Povsem drugačen odziv kambija smo zabeležili pri smreki. Vsa poškodovana drevesa so s produkcijo ksilema začela kasneje kot nepoškodovana drevesa, drevesa B in C razredov v povprečju celo 4 tedne za njimi. Konec produkcije ksilema je pri poškodovanih drevesih nastopil prej kot pri kontrolnih. Prvi floemski elementi so nastali že zelo zgodaj, in sicer pred pričetkom eksperimenta 27. marca. V razredih B in C je tako med nastankom prvih floemskih in prvih ksilemskih elementov minilo več kot 60 dni.

Trajanje nastajanja ksilema pri poškodovanih smrekah je tako v povprečju med 35 in 46 dni krajše kot pri nepoškodovanih.

Kasni floem je, tako kot pri bukvi, najprej začel nastajati v kontrolnih drevesih (razred K), nekoliko kasneje pa v poškodovanih drevesih.

Ob opazovanju začetka nastajanja floema v sezoni moramo vedeti, da se lahko ena ali dve floemski celici, ki nastaneta ob zaključku vegetacijske dobe, ne diferencirata, pač pa prezimita. Diferenciacija teh celic se začne pred začetkom kambijeve produkcije v prihodnjem letu (Gričar, 2007; Gričar in sod., 2014, 2015). Ko celice opazujemo, je včasih težko ugotoviti, ali gre za novo nastale celice ali za diferencirajoče celice, ki so nastale že ob zaključku predhodne sezone.

5.8 VARIABILNOST ŠIRIN BRANIK PO OBODU

V tej nalogi variabilnosti širine branike po obodu nismo posebej obravnavali, smo jo pa zaznali. Najbolj nazoren primer je povprečna širina ksilemske branike razreda C pri bukvi. Pri 186. dnevu doseže že 1119 μm , nato pa širina branike začne padati. To bi v praksi pomenilo negativen prirastek oz. krčenje, kar seveda ni možno. Variabilnost širine branike vzdolž debla in po njegovem obodu je poznan pojav (Čufar, 2006). Razlogov za variabilnost prirastka po obodu je več, eden od njih je morda poškodovanost krošnje. Pri drevesih, ki so izgubila del krošnje, lahko zaradi nove lokacije težišča drevesa pride do pojava reakcijskega lesa – aktivnega usmerjevalnega tkiva, s pomočjo katerega drevo poskuša na novo vzpostaviti deblo v negativno geotropično lego. V tem primeru drevo po obodu začne proizvajati različno široke branike, ki povzročajo precej težav pri interpretaciji meritev. Variabilnost po obodu se seveda pojavlja tudi na nepoškodovanih drevesih, in to na mestih, kjer so zarasle grče ali poškodbe, nad močnejšimi, bolj izbočenimi koreninami in praktično na vseh drevesih, ki rastejo na pobočjih.

5.9 MOŽNOSTI ZA NADALJNJE RAZISKAVE

Veliko možnosti za nadaljnje raziskave vidimo v poskusih z večjim številom enot v vzorcu in bolj pogostim vzorčenjem. Take raziskave bi bilo smiselno voditi več let zapored, saj bi le tako dobili popolnejše odgovore na vprašanja o vplivih tako obsežnih poškodb na zmanjšan prirastek lesa in sposobnosti preživetja poškodovanih dreves. Prav tako bi veljalo več pozornosti posvetiti povezavi med revitalizacijo krošnje in širino ksilemske branike. Morda bi za tako raziskavo izbrali le veliko dreves z enako stopnjo poškodovanosti, saj menimo, da bi že znotraj takega vzorca prišlo do velikih razlik med stopnjo revitalizacije krošnje in prirastkom oziroma širino ksilemske branike.

Ocene neposredne škode v gozdovih zaradi žledoloma 2014 so bile izračunane. Vemo, kakšna količina lesne mase je bila podrta in odstranjena iz poškodovanih gozdov. Na drugi strani je o dolgoročnih vplivih žledoloma na preživetje dreves in nastajanje ter kvaliteto lesa zelo malo znanega. To znanje bi bilo potrebno pridobiti, saj bodo drevesa, ki so bila v žledolomu poškodovana, a so obstala, v prihodnosti vir nastajanja lesne mase. Ker v

gozdarstvu radi upravljamo s številskimi podatki, bi bilo smiselno ovrednotiti izgubo nastanka lesa na dolgi rok kot tudi izgubo na račun zmanjšane kvalitete lesa, ki se je v nalogi nismo dotaknili. Poleg tega vse kaže na to, da bodo ekstremni vremenski dogodki zaradi podnebnih sprememb vse pogostejši. Pričakujemo lahko, da bomo imeli v prihodnosti vse več opravka s tako ali drugače poškodovanimi drevesi. Odprtih vprašanj je še kar nekaj.

6 SKLEPI

Bukve (*Fagus sylvatica* (L.)) in smreke (*Picea abies* (L.) Karst.), ki jih je poškodoval žledoloma v februarju 2014, smo glede na poškodovanost krošnje razdelili v štiri razrede: K – nepoškodovana drevesa, A – poškodovanost krošnje do 50 %, B – poškodovanost krošnje med 50 in 75 % in C – poškodovanosti krošnje več kot 75 %.

Ugotovili smo, da poškodba krošnje ne vpliva na čas olistanja pri bukvi oziroma pojav mladih poganjkov pri smreki. Bukve so olistale med 4. in 19. aprilom 2014, smreke pa so pognale mlade poganjke med 19. in 26. aprilom 2014. V času raziskave pri nobenem izmed opazovanih dreves nismo opazili sušenja krošnje ali posameznih vej. Če dodamo še ugotovitev, da so vsa raziskovana drevesa proivedla ksilemske in floemske branike, lahko sklenemo, da so preživela poškodbo krošnje prvo leto po žledolomu.

Bukve so pokazale različno sposobnost revitalizacije krošnje ne glede na stopnjo poškodbe krošenj. Intenzivnejši pojav epikormskih in adventivnih poganjkov smo beležili na drevesih, ki so imela več ravnega prostora in svetlobe. Bukve, ki so odganjale nove poganjke, so le te odganjale tako na mestu poškodbe, kot tudi vzdolž debel. Smreke v času trajanja eksperimenta (v prvem letu po žledolomu) kljub poškodbam niso pokazale sposobnosti revitalizacije krošnje.

Pri poškodovanih drevesih obeh vrst smo opazili manjše širine ksilemskih branik kot pri nepoškodovanih drevesih. Zmerno poškodovane bukve (do 50 % poškodovane krošnje) so prirasle le malo manj kot nepoškodovane, bolj poškodovane (več kot 50 % poškodovane krošnje) pa so prirasle bistveno manj kot nepoškodovane. Bolj poškodovane kot tudi zmerno poškodovane smreke so proizvedle znatno ožjo braniko kot nepoškodovane smreke.

Poškodovana drevesa obeh opazovanih vrst so proizvedla tudi ožje floemske branike. Največje razlike med razredi poškodovanosti so nastale v širini oz. številu celic kasnega floema. Pri eni poškodovani bukvi smo beležili tudi izostanek nastanka kasnega floema. Pri vseh drevesih med širino oz. številom celic ranega floema ni bilo večjih razlik.

Razmerje med floemsko in ksilemsko braniko je bilo pri obeh vrstah največje v kontrolnem razredu (bukve – 1 : 18,7 in smreka – 1 : 9,5). Najbolj poškodovane bukve so imele to razmerje veliko manjše od nepoškodovanih (1 : 1,7), zmerno poškodovane pa le malo manjše od nepoškodovanih (1 : 16,8). Med zmerno in bolj poškodovanimi smrekami nismo opazili razlik v tem razmerju. Obenem sta imela razreda poškodovanih smrek le malo manjše razmerje med floemsko in ksilemsko braniko kot razred nepoškodovanih smrek (1 : 7,5).

Iz razmerja med širinami ksilemskih branik 2014 in 2013 (indeks 14/13) smo ugotovili, kakšna je bila sposobnost debelinske rasti posameznega drevesa pred poškodbo in po njej. Pri bukvi je imel razred K indeks 14/13 enak 1,38. Malo nižjega je imel razred A (0,99), veliko nižjega pa razreda B (0,39) in C (0,21). Pri smreki je imel razred K indeks 1,43, razred A 1,08 in razred B 1,04. Lahko sklepamo, da pri bukvi do večjih razlik v debelinskem prirastku pride pri poškodbi krošnje med 50 in 75 %, pri smreki pa pri poškodbi do 50 %.

Kambijeva aktivnost se je pri vseh poškodovanih bukvah začela in končala prej kot pri nepoškodovanih. Nastajanje lesa je pri poškodovanih in nepoškodovanih bukvah trajalo podobno dolgo. Razvoj floemskih celic smo opazili en ali dva tedna pred nastankom prvih ksilemskih celic. Celice kasnega floema so se kasneje pojavile v poškodovanih bukvah.

Pri poškodovanih smrekah se je kambijeva aktivnost začela kasneje in končala prej kot pri nepoškodovanih smrekah. Nastajanje lesa je zato pri poškodovanih smrekah trajalo od 36 do 46 dni manj kot pri nepoškodovanih. Razvoj celic floemske branike 2014 smo v vseh smrekah zabeležili več kot en mesec pred nastankom prvih ksilemskih celic branike 2014, v bolj poškodovanih drevesih pa tudi dva meseca prej. Prve celice kasnega floema so se v poškodovanih smrekah pojavile kasneje kot pri nepoškodovanih.

7 POVZETEK

Slovenijo je konec januarja in v začetku februarja 2014 prizadel obsežen žledolom. 51 % površine slovenskih gozdov je bilo potrebno sanirati. Količina poškodovane lesne mase, predvidene za posek, je bila ocenjena na 9,3 milijonov m³. Sanacija zaradi velike količine lesa in težavnosti poseka na nekaterih območjih Slovenije ni bila v celoti realizirana. Predvsem drevesa, ki rastejo na nedostopnih in strmih terenih, so ostala v gozdu. Prav tako je po večini slovenskih gozdov obstalo veliko dreves, ki so utrpela poškodbo od žledoloma, a niso bila predvidena za posek. Poraja se vprašanje, kaj se bo s tovrstnimi drevesi dogajalo v prihodnosti. Ne vemo, ali bodo dolgoročno preživela in kakšen vpliv ima poškodba krošnje na nastajanje lesa ter njegovo kvaliteto. Razumevanje procesov v poškodovanih drevesih je pomembno, saj bodo tudi ta drevesa v naslednjih desetletjih vir nastajanja lesne mase.

Da bi dobili vpogled v dogajanje v drevesu s poškodovano krošnjo, smo marca 2014 v Arboretumu Volčji Potok zastavili eksperiment. Izbrali smo 14 navadnih bukev in 12 navadnih smrek, ki so bile različno poškodovane. Razvrstili smo jih v štiri razrede poškodovanosti krošnje: nepoškodovane (razred K), do 50 % poškodovane krošnje (razred A), med 50 in 75 % poškodovane krošnje (razred B) in več kot 75 % poškodovane krošnje (razred C). Vso rastno sezono (od 27. 3. 2014 do 10. 10. 2014) smo na teh drevesih podrobno opazovali fenologijo listov, revitalizacijo krošnje ter morebitne spremembe v habitusu in odvzemali vzorce floema, kambija in ksilema z mikroizvrtki po metodi Trephor. Na začetku rastne sezone smo vzorčili na en teden, nato pa na dva tedna. Iz mikroizvrtkov smo pripravili trajne preparate za mikroskopiranje. S svetlobnim mikroskopom in sistemom za analizo slike smo preparate analizirali. Pridobljene podatke smo grafično prikazali in interpretirali.

Pri bukvah je faza olistanja nastopila med 4. in 19. aprilom, pri smrekah pa faza mladih poganjkov med 19. in 26. aprilom. Nismo opazili, da bi različna stopnja poškodbe krošnje vplivala na čas olistanja oziroma pojava mladih poganjkov. Do zadnjega vzorčenja (10. 10.) pri nobenem vzorčenem drevesu nismo opazili znakov odmiranja krošnje. Iz

navedenih rezultatov sledi sklep, da so vsa preiskovana drevesa (tudi najbolj poškodovana) preživela prvo leto po žledolomu.

Poškodovane bukve so pokazale različno sposobnost revitalizacije krošnje, ne glede na stopnjo poškodbe. Ugotavljamo, da je pojav novih poganjkov povezan z ravnim prostorom drevesa, dotokom sončne svetlobe, ki verjetno vplivata na količino in porazdelitev ravnih hormonov. Smreke v prvem letu po žledolomu niso pokazale sposobnosti revitalizacije krošnje.

Ksilemske branike 2014 so bile ožje v vseh razredih poškodovanih dreves kot v razredu nepoškodovanih dreves. Pri bukvi so bile širine branik zmerno poškodovanih dreves (razred A) v povprečju za 20 % manjše od širin branik nepoškodovanih dreves (razred K). Širine branik bukev razreda B so bile za 88 %, razreda C pa za 95 % manjše od širin branik bukev razreda K. Pri smreki so bile širine branik razreda A v povprečju za 36 %, razreda B pa za 35 % manjše od širin branik razreda K.

Tako pri bukvi kot pri smreki smo opazili negativno korelacijo med poškodovanostjo krošnje in širino floemske branike. Opazili smo večje razlike v širini kasnega kot v širini ranega floema. Pri bukvi so bile širine kasnega floema razredov A, B in C za 9 %, 47 % in 64 % ožje od kasnega floema kontrolnega razreda K. Pri smreki se ta razmerja nanašajo na število celic: drevesa razreda A in B so proizvedla 30 % oziroma 39 % celic kasnega floema manj od dreves razreda K.

Raziskava je pokazala velike razlike v razmerju med širino floemske in ksilemske branike med razredi poškodovanosti tako pri bukvi kot pri smreki. Pri bukvi sta razmerji v razredih K in A dokaj podobni (1 : 18,68 in 1 : 16,79), veliko manjši pa sta razmerji razredov B (1 : 3,79) in C (1 : 1,65). Pri smreki so razmerja manj različna. Razred K ima razmerje 1 : 9,46, razred A 1 : 7,49, razred B pa 1 : 8,55. Glede na dosedanje raziskave ugotavljamo, da so bukve razreda K in tudi A v primerjavi s floemom proizvedle velik delež ksilema, smreke vseh razredov so bile nekje v povprečju, bolj poškodovane bukve (razreda B in C) pa so proizvedle občutno manjši delež ksilema.

Primerjali smo tudi širini ksilemskih branik 2014 in 2013. Širina branike 2013 nam kaže sposobnost debelinske rasti drevesa pred poškodbo. Prva informacija, ki smo jo pridobili s

tem razmerjem, je, da so v splošnem bila drevesa v letu 2014 produktivnejša kot v letu 2013, saj je indeks 14/13 v razredu K tako pri bukvi (1,38) kot pri smreki (1,43) večji od 1. Pri smreki je indeks 14/13 večji od 1 celo pri obeh razredih poškodovanosti (1,08 – A in 1,04 – B). Pri bukvi indeks 14/13 razreda A še ne odstopa veliko (0,99), indeks 14/13 razreda B pa že (0,39). Indeks 14/13 razreda C je še manjši (0,21). Tudi iz teh vrednosti je razvidno, da pri bukvi največje razlike nastopijo med razredoma A in B, pri smreki pa v že med razredoma K in A. S primerjavo indeksov 14/13 med razredi poškodovanosti smo izključili vpliv razlik v vremenskih razmerah med letoma 2013 in 2014 ter vpliv pridobljenega novega rastnega prostora raziskovanih dreves na račun poškodovanih sosednjih dreves.

Kambijeva aktivnost se je pri vseh poškodovanih bukvah začela in končala prej kot pri nepoškodovanih. Zgodnejši začetek pripisujemo odzivu dreves na poškodbo krošnje. Drevo se odzove tako, da pospeši rast in s tem čim prej poskuša vzpostaviti pogoje za preživetje. Razloga za zgodnejši zaključek sta verjetno pomanjkanje energetskih zalog, ki jih je drevo porabilo za zgodnejši začetek produkcije celic, in manj produktiven fotosintetski aparat, ki je osiromašen zaradi redukcije krošnje. Nastajanje lesa je pri poškodovanih in nepoškodovanih bukvah trajalo podobno dolgo, vendar se je pri poškodovanih bukvah začelo in zaključilo prej. Floemske branike so začele nastajati en ali dva tedna pred ksilemskimi. Celice kasnega floema so se v poškodovanih bukvah pojavile kasneje kot v nepoškodovanih.

Pri poškodovanih smrekah se je kambijeva aktivnost začela kasneje in končala prej kot pri nepoškodovanih smrekah. Vsa poškodovana drevesa so s produkcijo ksilema začela kasneje kot nepoškodovana drevesa, drevesa B in C razredov v povprečju celo 4 tedne za njimi. Razvoj floemskih celic se je začel že zelo zgodaj, in sicer pred prvim vzorčenjem (27. marca). Nastajanje lesa je pri poškodovanih smrekah trajalo od 36 do 46 dni manj kot pri nepoškodovanih. Floemske celice v vseh smrekah so začele nastajati več kot en mesec pred ksilemskimi, v bolj poškodovanih tudi dva meseca prej. Tudi pri smreki so se celice kasnega floema pojavile kasneje v poškodovanih kot v nepoškodovanih smrekah.

Ugotavljamo, da bi bilo v prihodnje smiselno izvajati tovrsten eksperiment na večjem vzorcu dreves več let zapored, saj bi tako dobili popolnejše odgovore na vprašanja o vplivu

poškodbe krošnje na zmanjšan prirastek lesa in sposobnosti preživetja poškodovanih dreves. Prav tako bi bilo treba ovrednotiti izgubo nastanka lesa na dolgi rok kot tudi izgubo na račun zmanjšane kvalitete lesa. Raziskave na poškodovanih drevesih bodo potrebne, saj vse kaže, da bodo ekstremni vremenski dogodki zaradi podnebnih sprememb vse pogostejši. Pričakujemo lahko, da bomo imeli v prihodnosti vse več opravka s tako ali drugače poškodovanimi drevesi.

8 VIRI

- Brus R. 2008. Dendrologija za gozdarje. Univerzitetni učbenik. 2. natis. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 408 str.
- Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.
- Čufar K., Gorišek Ž., Merela M., Pohleven F. 2012a. Lastnosti bukovega lesa, predelava, problematika in raba v arhitekturi. V: Bukovi gozdovi v Sloveniji: ekologija in gospodarjenje. Bončina A. (ur.). Ljubljana, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta: 445–458
- Čufar K., Gričar J., Prislan P. 2012b. Zgradba in nastajanje lesa in skorje bukve ter dendrokonologija. V: Bukovi gozdovi v Sloveniji: ekologija in gospodarjenje. Bončina A. (ur.). Ljubljana, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta: 115–124
- Čufar K., Prislan P., Merela M., Krže L., Gričar J. 2015. Spremljanje nastajanja ksilema in floema ter kambijeve aktivnosti pri bukvi in smreki v Sloveniji. V: Monitoring v gozdarstvu, lesarstvu in papirništvu: zbornik prispevkov znanstvenega srečanja Gozd in les. Kraigher H. (ur.), Humar M. (ur.). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica: 53–57
- Gnidovec G. 2013. Nastajanje lesa in floema navadne smreke v Panški reki pri Ljubljani. Magistrska naloga. Ljubljana: 42 str.
- Gričar J. 2007. Ksilo- in floemogeneza pri beli jelki (*Abies alba* Mill.) in navadni smreki (*Picea abies* (L.) Karst.). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 106 str.
- Gričar J., Krže L., Čufar K. 2009. Relationship among number of cells in xylem, phloem and dormant cambium in silver fir (*Abies alba* Mill.) trees of different vitality. IAWA Journal, 30, 2: 121–133

Gričar J., Prislan P., Gryc V., Vavrčik H., de Luis M., Čufar K. 2014. Plastic and locally adapted phenology in cambial seasonality and production of xylem and phloem cells in *Picea abies* from temperate environments. *Tree Physiology*, 34, 8: 869–881

Gričar J., Prislan P., de Luis M., Gryc V., Hacurova J., Vavrčik H., Čufar K. 2015. Plasticity in variation of xylem and phloem cell characteristics of Norway spruce under different local conditions. *Frontiers in Plant Sciences*, 6, 730: doi: 10.3389/fpls.2015.00730: 14 str.

Jakša J., Kolšek M. 2009. Naravne ujme v slovenskih gozdovih. *Ujma*, 23: 72–81

Koch E., Bruns E., Chmielewski F. M., Defila C., Lipa W., Menzel A. Guidelines for phenological observations.
<http://www.omm.urv.cat/documentation.html> (april 2016)

Kotar M. 2005. Zgradba, rast in donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije in Zavod za gozdove Slovenije: 500 str.

Monumental trees.
http://www.monumentaltrees.com/en/svn/koroska/ribnicanapohorju/4254_sgermovakmetija/ (april 2016)

Načrt sanacije gozdov poškodovanih v žledolomu od 30. januarja do 10. februarja 2014. 2014. Ljubljana, Zavod za gozdove: 66 str.

Naravne nesreče. 2006. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje.
http://www.arso.gov.si/vreme/poro%c4%8dila%20in%20projekti/NARAVNE_NESRECE.pdf (marec 2016)

Naravne ujme in požari večjih razsežnosti v Sloveniji. 2014. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije: 4 str.
http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/Novice2014/Naravne_ujme2014.pdf

Poročilo o stanju okolja 2002. 2003. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje.

<http://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/poro%c4%8dila/poro%c4%8dila%20o%20stanju%20okolja%20v%20Sloveniji/nesrece.pdf> (marec 2016)

Poročilo Zavoda za gozdove Slovenije o gozdovih za leto 2014. 2015. Ljubljana, Zavod za gozdove: 138 str.

Prislan P. 2012. Večletno in sezonskonastajanje ksilema in floema pri bukvi (*Fagus sylvatica* L.) z dveh rastišč v Sloveniji. Doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 143 str.

Prislan P., Koch G., Čufar K., Gričar J., Schmitt U. 2009. Topochemical investigations of cell walls in developing xylem of beech (*Fagus sylvatica* L.). *Holzforschung*, 63: 482–490

Prislan P., Gričar J., de Luis M., Smith K. T., Čufar K. 2013. Phenological variation in xylem and phloem formation in *Fagus sylvatica* from two contrasting sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, 180: 142–151

Rossi S., Anfodillo T., Menardi R. 2006. Trephor: A new tool for sampling microcores from tree stems. *IAWA Journal*, 27: 89–97

Shortle W. C., Smith K. T., Dudzik K. R. 2003. Tree survival and growth following ice storm injury. Research Paper NE-723. United States Department of Agriculture Forest Service, Northeastern Research Station: 4.str.

Shortle W. C., Smith K. T. Will My Trees Survive? 2014. Oklahoma Department of Agriculture, Food and Forestry.

http://www.forestry.ok.gov/websites/forestry/images/will_my_trees_survive_2014.pdf (marec 2016)

Sinjur I., Vertačnik G., Likar L., Hladnik V., Miklavčič I., Gustinčič M. 2014. Žledolom januarja in februarja 2014 v Sloveniji – prostorska in časovna spremenljivost vremena na območju dinarskih pokrajin. *Gozdarski vestnik*, 72: 299–309

Smith K., Shortle W. C. 2003. Radial growth of hardwoods following the 1998 ice storm in New Hampshire and Maine. *Canadian Journal of Forest Research*, 33: 325–329

Sneg, žled in padavine od 30. januarja do 7. februarja 2014. 2014. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje.

http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather_events/snegzled-padavine_30jan-7feb2014.pdf (marec 2016)

Werf van der G. W., Sass-Klaassen U., Mohren G. M. J. 2007. The impact of the 2003 summer drought on the intra-annual growth pattern of beech (*Fagus sylvatica* L.) and oak (*Quercus robur* L.) on a dry site in the Netherlands. *Dendrochronologia*, 25: 103–112

Žust A. 2015. Fenologija v Sloveniji: Priročnik za fenološka opazovanja. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje: 104 str.

ZAHVALA

Mentorju doc. dr. Maksu Mereli se zahvaljujem za mnoge koristne napotke, nasvete in usmeritve, ki so me vodili od osnovanja do zaključka pisanja tega dela. Hvala tudi za uvajanje v terensko delo in delo z mikroskopom. Ne nazadnje se mu zahvaljujem za izjemno kooperativnost.

Za pomoč pri interpretaciji rezultatov, številne predloge in komentarje za izboljšavo naloge se zahvaljujem somentorici prof. dr. Katarini Čufar.

Prof. dr. Robertu Brusu se zahvaljujem za hitro recenzijo s tehtnimi komentarji.

Luki Kržetu gre zahvala za uvajanje in pomoč pri laboratorijskem delu.

Hvala Angeli Balzano za pomoč pri fotografiranju postopka priprave mikroskopskih preparatov.

Vidu Ropoši se zahvaljujem za pregled angleške verzije izvlečka in za jezikovne popravke ter predloge v nekaj odsekih naloge.

Na koncu se zahvaljujem še mojim najbližjim za podporo in besede spodbude v vseh letih študija.