

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Sašo RADIĆ

**NASTANEK RANITVENEGA LESA PRI POKLJUŠKIH
SMREKAH V RASTNI SEZONI 2003**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2006

POPRAVKI

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Sašo RADIĆ

**NASTANEK RANITVENEGA LESA PRI POKLJUŠKIH
SMREKAH V RASTNI SEZONI 2003**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**WOUND – WOOD FORMATION IN NORWAY SPRUCE
FROM POKLJUKA IN GROWTH SEASON 2003**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2006

Diplomsko delo je zaključek visokošolskega strokovnega študija na Biotehniški fakulteti na Oddelku za lesarstvo. Nastalo je v okviru raziskovalnega projekta *Predicting Impacts on Natural Ecotones* (PINE – Contact No: EVK2-CT-2002-00136), ki ga v 5. okvirnem programu financira evropska komisija. Opravljeno je bilo na Katedri za tehnologijo lesa, na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Primoža Ovna in za recenzenta doc. dr. Tomislava Levaniča.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Sašo Radić

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*811.3:630*174.7
KG	navadna smreka (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.)/Pokljuka/ranitveni les/ kambij/poškobe/aktivnost/pinning/Gompertzova rastna funkcija
AV	RADIĆ, Sašo
SA	OVEN, Primož (mentor)/LEVANIČ, Tomislav (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2006
IN	NASTANEK RANITVENEGA LESA PRI POKLJUŠKIH SMREKAH V RASTNI SEZONI 2003
TD	Diplomsko delo (Visokošolski strokovni študij)
OP	IX, 48 str., 1 pregl., 50 sl., 1 pril., 9 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Za raziskave dinamike nastajanja ranitvenega lesa je bil z iglo premera 1 mm poškodovan kambij 5 smrek (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.). Poškodbe so bile opravljene v tedenskih intervalih (9.5.–26.9.). Na prečnih prerezi poškodovanih tkiv smo opazovali anatomske spremembe in izvedli histometrične preiskave z mikroskopom, opremljenim s sistemom za analizo slike. Nastajanje ranitvenega lesa smo analizirali s pomočjo Gompertzove rastne in prirastne funkcije. Preiskave so pokazale, da imajo traheide v ranitvenem lesu debelejšje celične stene in manjše lumne ter so krajše kot treheide v normalnem lesu. V ranitvenem lesu nastajajo tudi enoredni in dvoredni trakovi. V kalusu, delu ranitvenega lesa, so bili prisotni odmrli ostanki kambijevih celic in posamezne celice v post kambialni rasti; v posameznih primerih tudi travmatski smolni kanali. Prirastek ranitvenega lesa je bil večji od prirastka normalne branike. Delitvena aktivnost poškodovanega kambija je bila daljša od redne kambijeve delitvene aktivnosti: pri smreki št. 3 se je nadaljevala še približno 4 tedne, pri smrekah št. 1, 4 in 5 približno 3, pri smreki št. 2 pa približno 2. Redna kambijeva delitvena aktivnost smrek s Pokljuke je v povprečju trajala 11 tednov, delitvena aktivnost poškodovanega pa 15. Debelina ranitvenega lesa je bila v neposredni bližini vboda z iglo (na merilni lokaciji 2) vedno manjša kot na merilnih lokacijah 1 in 3. Analiza rasti ranitvenega lesa z Gomperzovo rastno in prirastno funkcijo je pokazala, da je bil največji povprečni prirastek ranitvenega lesa dreves 1, 2, 4 in 5 na meritveni lokaciji 1 in 3 okrog 40 dneva; na meritveni lokaciji 2 pri drevesih 1, 2, 4 in 5 pa okrog 53 dneva.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
DC UDC 630*811.3:630*174.7
CX Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.)/Pokljuka/wound-wood/
cambium/damage/activity/pinning/Gompertz growth function
AU RADIĆ, Sašo
AA OVEN, Primož (supervisor)/LEVANIČ, Tomislav (co-supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science
and Technology
PY 2006
TI WOUND – WOOD FORMATION IN NORWAY SPRUCE FROM POKLJUKA
IN GROWTH SEASON 2003
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO IX, 48 p., 1 tab., 50 fig., 1 ann., 9 ref.
LA sl
AL sl/en
AB To research wound-wood formation dynamics in Norway spruce trees (*Picea abies* (L.) Karst), cambium was wounded with a 1 mm wide pin. During the 2003 growth period (9.5.–26.9.), damage was done at weekly intervals. Anatomic changes were observed on cross sections of wound tissues, and histometric research made with a microscope including a picture analysis system. The formation of wound-wood was analyzed with the help of the Gompertz growth function. Research shows that tracheids in wound-wood have thicker cell walls, smaller lumens, and are shorter than those in normal wood. Uniseriate and biseriate rays also occur in the wound-wood. In callus, withered remnants of cambial cells are present, as well as particular cells in post-cambial growth. Traumatic resin canals are present only in particular cases. In all the studied trees, the increase of wound-wood was bigger than that of normal annual rings. After the regular cambial activity the divisional activity of the Spruce No. 3 was for approximately 4; Spruces Nos.1, 4 and 5 for approximately 3; and the Spruce No 2 for approximately 2 weeks after the regular cambial divisional activity. In the spruce trees from Pokljuka, the average regular cambial divisional activity lasted for 11 weeks, while the average divisional activity of wound cambium for 15. The thickness of the wound-wood in direct closeness of the stitch (2nd measure location) was always smaller than those in the 1st and 3rd measure location. The analysis of the wound-wood growth with the Gompertz growth function shows that the increase of the wound-wood in the 1st and 3rd measure locations in the Spruces Nos. 1, 2, 4 and 5 on average is highest around the day 40; the highest increase of the wound-wood on the 2nd measure location in the Spruces Nos. 1, 2, 4 and 5 on average is highest around the day 53.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA . Napaka! Zaznamek ni definiran.	
KEY WORDS DOCUMENTATION Napaka! Zaznamek ni definiran.	
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VI
KAZALO SLIK	VII
KAZALO PRILOG	X
1 UVOD	1
2 PREGLED LITERATURE	2
2.1 ANATOMSKA ZGRADBA SMREKOVINE	2
2.2 MODEL CODIT IN ANATOMSKI ODZIV KAMBIJA NA MEHANSKO POŠKODBO (povzeto po Oven – Proteus, 2001).....	3
2.2.1 Nastanek kalusa	5
2.3 METODA »PINNING« IN ODZIV KAMBIJA NA VBOD Z IGLO (Povzeto po Zupan, 2005)	7
3 MATERIAL IN METODE	10
3.1 OPIS RASTIŠČA IN POIZKUSNIH DREVES	10
3.2 ZASTAVITEV POIZKUSA	11
3.3 PRIPRAVA VZORCEV V DELAVNICI	13
3.4 IZDELAVA ANATOMSKIH PREPARATOV	14
3.5 METODIKA MERITEVE DEBELINE RANITVENEGA LESA	16
3.5.1 Analiza slike	17
3.6 OBDELAVA MERITEV IN STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV	18
3.6.1 Uporaba Gompertzove rastne funkcije	19
4 REZULTATI IN RAZPRAVA	21
4.1 ANATOMSKI ODZIV KAMBIJA NAVADNE SMREKE NA RANITEV Z IGLO.....	21
4.2 TRAJANJE AKTIVNOSTI POŠKODOVANEGA KAMBIJA	27
4.3 DINAMIKA NASTAJANJA RANITVENEGA LESA.....	29
5 SKLEPI	42
6 POVZETEK	44
7 VIRI	46
ZAHVALE	
PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Zaporedne številke in datumi vbodov ter oznake preparatov za primer prvega drevesa.	12

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Mikroskopske slike navadne smreke (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.); (a) prečni, (b) radialni in (c) tangencialni prerez . Daljica = 100 μm	3
Slika 2: Shema nastanka travmatskega smolnega kanala pri <i>Tsuga sieboldii</i> po: (I) treh dneh, (II) desetih dneh in (III) enem mesecu po poškodovanju. C.I. – kambijeve inicialke, K.M. – ksilemske materinske celice, položaj kambijevih inicialk v trenutku poškodovanja (iz Oven, 1997).	8
Slika 3: Shema odziva tkiva na vbod z iglo pri <i>Pinus taeda</i> : (a) neposredni odziv na vbod z iglo, (b) odziv po nekaj dneh, (c) odziv po desetih dneh in (d) odziv po enem mesecu. (1) domnevni položaj kambijevih inicialk v trenutku ranitve, (2) domnevni položaj celic v fazi odlaganja sekundarne celične stene v času ranitve. P – floem, R – trakovni parenhim, G – vrzel nastala z vbodom (iz Oven, 1997).	9
Slika 4: Shematski prikaz nivojev na drevesnem deblu, na katerem so izvedli metodo »pinning«	11
Slika 5: Shematski prikaz vboda igle v lesno tkivo v prečnem prerezu (Lukan, 2004).	12
Slika 6: Shematski prikaz razporeditev vbodov na prečnem prerezu. Zaporedna številka ustreza zaporednemu vbodu, kot je prikazano v preglednici 1.	13
Slika 7: Prikaz razcepa in rezalnih ravnin na količku.	14
Slika 8: Shema meritev ranitvenega lesa. SL ... debelina nastalega ksilemskega prirastka do dneva vboda z iglo (Podatki iz Zupan, 2003).	16
Slika 9: Shema meritev ranitvenega lesa, če je bil preparat »razdvojen«. SL ... debelina nastalega ksilemskega prirastka do dneva vboda z iglo (Podatki iz Zupan, 2003).	16
Slika 10: Prikaz 1. meritve, 2. meritve, 3. meritve in SL - debelino prirastka do dneva vboda (meritev B. Zupan (2005)). Preparat: 1c3, datum vboda: 23.5.2003. Merilo = 100 μm	17
Slika 11: Preparat 1C6, datum ranitve 13.6.2003. Ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 je več kot normalnega lesa . Merilo = 1000 μm	22
Slika 12: Preparat 1c16, datum ranitve 22.8.2003. Ranitvenega lesa na merilnem mestu je zelo malo. Merilo = 100 μm	22
Slika 13: Preparat 4C10, datum ranitve 11.07.2003. Celice ranitvenega lesa so podobne celicam normalnega lesa v kasnem lesu. Merilo = 100 μm	22
Slika 14: Preparat 1C1, datum ranitve 9.5.2003. Merilo = 100 μm	23
Slika 15: Preparat 1C2, datum ranitve 16.5.2003. Merilo = 100 μm	23
Slika 16: Preparat 1C3, datum ranitve 23.5.05.2003. Merilo = 100 μm	23
Slika 17: Preparat 1C4, datum ranitve 30.5.05.2003. Merilo = 100 μm	23
Slika 18: Preparat 1C5, datum ranitve 06.06.2003. Merilo = 100 μm	23
Slika 19: Preparat 1C6, datum ranitve 13.06.2003. Merilo = 1000 μm	23
Slika 20: Preparat 1C7, datum ranitve 20.06.2003. Merilo = 100 μm	24
Slika 21: Preparat 1C8, datum ranitve 27.06.2003. Merilo = 1000 μm	24
Slika 22: Preparat 1C9, datum ranitve 04.07.2003. Merilo = 1000 μm	24
Slika 23: Preparat 1C10, datum ranitve 11.07.2003. Merilo = 100 μm	24
Slika 24: Preparat 1C11, datum ranitve 18.07.2003. Merilo = 1000 μm	24
Slika 25: Preparat 1C12, datum ranitve 25.07.2003. Merilo = 1000 μm	24
Slika 26: Preparat 1C13, datum ranitve 01.08.2003. Merilo = 1000 μm	25
Slika 27: Preparat 1C14, datum ranitve 08.08.2003. Merilo = 100 μm	25
Slika 28: Preparat 1C15, datum ranitve 15.08.2003. Merilo = 100 μm	25
Slika 29: Preparat 1C16, datum ranitve 25.08.2003. Merilo = 100 μm	25

Slika 30: Preparat 1C17, datum ranitve 29.08.2003. Merilo = 100 μm	25
Slika 31: Preparat 1C18, datum ranitve 05.09.2003. Merilo = 100 μm	25
Slika 32: Preparat 4C10, prečni prerez, datum vboda: 11.7.2003. Merilo = 1000 μm	26
Slika 33: Preparat 4C10, prečni prerez, datum vboda: 11.7.2003. Merilo = 100 μm	26
Slika 34: Preparat 4C10, tangencialni prerez, datum vboda: 11.7.2003. Merilo = 1000 μm	26
Slika 35: Preparat 4C10, tangencialni prerez, datum vboda: 11.7.2003. Merilo = 100 μm	26
Slika 36: Preparat 4C10, radialni prerez, datum vboda: 11.7.2003. Merilo = 100 μm	26
Slika 37: Trajanje delitvene aktivnosti poškodovanega kambija v rastni sezoni 2003 pri vseh petih raziskovanih drevesih navadne smreke na Pokljuki.....	28
Slika 38: Gompertzova rastna funkcija (5) delitvene aktivnosti poškodovanega kambija na merilnem mestu 1 in 3 in na merilnem mestu 2 (glej tudi sliko 39 in 40).....	29
Slika 39: Prikaz izmerjenih debelin ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 in izračunanih meritev na merilnem mestu 1 in 3. Koeficienti Gompertzove rastne funkcije: $A = 1331,18$, $\beta = 1,7827$, $\kappa = 0,0501$	30
Slika 40: Prikaz izmerjenih meritev ranitvenega lesa na merilnem mestu 2 in izračunanih meritev na merilnem mestu 2. Koeficienti Gompertzove rastne funkcije: $A = 1302,71$, $\beta = 1,9875$, $\kappa = 0,0389$	30
Slika 41: Tedenski prirastek za ranitveni les na merilnem mestu 1 in 3 in na merilnem mestu.....	31
Slika 42: Gompertzova rastna funkcija (5) delitvene aktivnosti poškodovanega kambija na merilnem mestu 1 in 3 in na merilnem mestu 2.....	32
Slika 43: Prikaz izmerjenih meritev ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 in izračunanih meritev na merilnem mestu 1 in 3. Koeficienti Gompertzove rastne funkcije: $A = 1391,45$, $\beta = 1,8749$, $\kappa = 0,0455$	33
Slika 44: Prikaz izmerjenih meritev ranitvenega lesa na merilnem mestu 2 in izračunanih meritev na merilnem mestu 2. Koeficienti Gompertzove rastne funkcije : $A = 1047,16$, $\beta = 2,6766$, $\kappa = 0,0586$	33
Slika 45: Tedenski prirastek za ranitveni les na merilnem mestu 1 in 3 in na merilnem mestu 2.....	34
Slika 46: Izmerjene vrednosti za ranitveni les na merilnem mestu 1 in 3.....	35
Slika 47: Izmerjene vrednosti za ranitveni les na merilnem mestu 2.....	35
Slika 48: Gompertzova rastna funkcija (5) delitvene aktivnosti poškodovanega kambija na merilnem mestu 1 in 3 in na merilnem mestu 2 (glej sliko 49 in 50).....	36
Slika 49: Prikaz izmerjenih meritev ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 in izračunanih meritev na merilnem mestu 1 in 3. Koeficienti Gompertzove rastne funkcije : $A = 8152,21$, $\beta = 1,4403$, $\kappa = 0,0367$	37
Slika 50: Prikaz izmerjenih meritev ranitvenega lesa na merilnem mestu 2 in izračunanih meritev na merilnem mestu 2. Koeficienti Gompertzove rastne funkcije : $A = 1985,62$, $\beta = 1,5064$, $\kappa = 0,0283$	37
Slika 51: Tedenski prirastek za ranitveni les na merilnem mestu 1 in 3 in na merilnem mestu 2.....	38
Slika 52: Gompertzova rastna funkcija (5) delitvene aktivnosti poškodovanega kambija na merilnem mestu 1 in 3 in na merilnem mestu 2.....	39
Slika 53: Prikaz izmerjenih meritev ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 in izračunanih meritev na merilnem mestu 1 in 3. Koeficienti Gompertzove rastne funkcije : $A = 1662,95$, $\beta = 1,2510$, $\kappa = 0,0293$	40

Slika 54: Prikaz izmerjenih meritev ranitvenega lesa na merilnem mestu 2 in izračunanih meritev na merilnem mestu 2. Koeficienti Gompertzove rastne funkcije: $A = 1504,29$, $\beta = 1,7161$, $\kappa = 0,0349$	40
Slika 55: Tedenski prirastek za ranitveni les na merilnem mestu 1 in 3 in na merilnem mestu 2.....	41

KAZALO PRILOG

Priloga A: Preglednice meritve dreves

1 UVOD

V okviru evropskega projekta PINE (Predicting Impacts on Natural Ecotones, Contact No.: EVK2-CT-2002-00136), ki ga je v okviru 5. OP financirala Evropska komisija, potekajo raziskave o nastanku lesa pri navadni smreki (*Picea abies* (L.) Karst.) z različnih rastišč v Sloveniji (Pokljuka in Sorško polje) in v Avstriji (Oberdrauburg).

Za označevanje ksilemskega prirastka je bila uporabljena tehnika »pinninga«, ki temelji na odzivu kambija in nediferenciranih ksilemskih tkiv na poškodbo z iglo. Z omenjeno metodo je torej mogoče v poljubnih časovnih intervalih ugotoviti dinamiko aktivnosti kambija.

Doslej je bila preiskovana regularna delitvena aktivnost kambija in nastajanje »normalnega« lesa. Ker pa je bila v študiji uporabljena tehnika poškodovanja kambija, je mogoče iste vzorce izkoristiti tudi za raziskave nastajanja ranitvenega lesa.

Cilj naloge je bil pri petih smrekah z rastišča na Pokljuki raziskati časovno dinamiko nastajanja ranitvenega lesa v rastni sezoni 2003.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 ANATOMSKA ZGRADBA SMREKOVINE

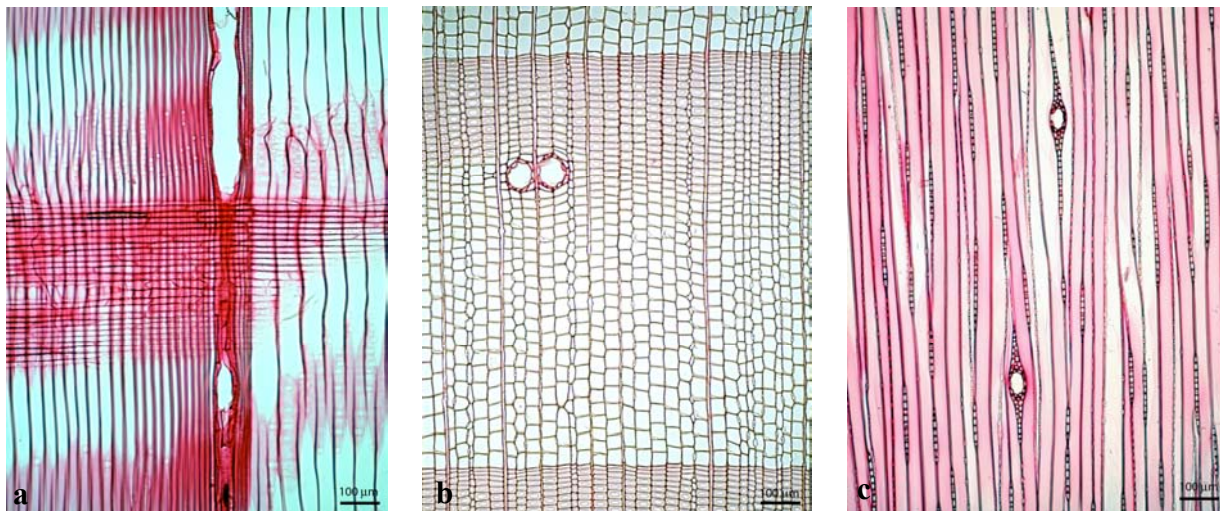
Les navadne smreke (*Picea abies* (L.) Karst.) je sestavljen pretežno iz aksialnih traheid, ki predstavljajo do 95% celotnega tkiva. Traheida je mrtva neperforirana lesna celica, dolžine 1700 – 3700 μm , ki v lesnem tkivu opravlja mehansko in prevajalno nalogo. Trahehide so med seboj povezane s pomočjo obokanih piknej, ki pa se nahajajo skoraj izključno v radialnih stenah oziroma radialnih nizih in so posebej številne na koncih traheid, pri smreki pa so razporejene večinoma v enojnih nizih. Vse celice istega niza so potomke iste fuziformne kambijeve inicialke, z bolj ali manj enakimi tangencialnimi dimenzijami.

Prehod iz ranega v kasni les je postopen. Tako imajo traheide ranega lesa oziroma traheide, ki nastajajo na začetku rastne sezone velike radialne dimenzije in tanke celične stene, ker so predvsem pomembne za prevajanje vode. Traheide kasnega lesa oziroma tarheide, ki nastajajo na koncu rastne sezone pa imajo majhne radialne dimenzije in debele celične stene, katerih glavna naloga je mehanska.

Trakovi pri navadni smreki so heterocelularni in so radialno usmerjeni. Zavzemajo približno 5% lesnega volumna in imajo nalogo prevajanja ter skladiščenja ogljikovih hidratov. Sestavljeni so iz parenhimskih celic in trakovnih traheid. Takrat, ko so parenhimske celice del beljave - so žive celice, ko se pa protoplazma v njih razkroji, te celice odmrejo in postanejo del jedrovine. Trakovi so večinoma enoredni, pri večrednih trakovih pa najdemo tudi radialne smolne kanale. Traheide in trakovne parenhimske celice so med seboj povezane s pomočjo pikenj v križnih poljih in s piceoidami.

Za smreko so značilni normalni in travmatski smolni kanali. Smolni kanal je cevast intercelularni prostor, ki ga obdajajo epitelne celice in ki v beljavi vsebuje smolo. Normalni smolni kanali so večinoma prisotni v kasnem lesu. So relativno redki in so karakteristični za rod *Picea*. Epitelne celice skupaj z aksialnim parenhimom zavzemajo le do 5% lesnega volumna. Aksialni in radialni smolni kanali skupaj tvorijo omrežje. Epitelne

celice so pri smreki debelostene, lignificirane in močne piknjave. Travmatski smolni kanali nastanejo kot odziv kambija na mehanska poškodovanja.



Slika 1: Mikroskopske slike navadne smreke (*Picea abies* (L.) Karst.); (a) prečni, (b) radialni in (c) tangencialni prerez . Daljica = 100 µm

2.2 MODEL CODIT IN ANATOMSKI ODZIV KAMBIJA NA MEHANSKO POŠKODBO (povzeto po Oven, 2001)

Z modelom omejitve razkroja v lesu (model CODIT) je možno pojasniti obseg in razkroj diskoloracije ter razkroja lesnega tkiva v drevesu. Z modelom CODIT definiramo ovire, ki omejujejo širjenje in razvoj diskoloracije v lesu. Zamisel o prostorski orientaciji obstoječih in novonastalih fizičnih in kemičnih barier modela CODIT lahko razdelimo na dva dela. V prvem delu pojasnjujemo dogodke v obstoječem ksilemskem tkivu, drugi del pa se nanaša na ranitveni les. To je tako imenovana barierna cona ali stena 4.

V ksilemu, ki je nastal pred poškodovanjem poskušajo neugodne posledice poškodbe omejiti tri stene. Stena 1 omejuje širjenje posledic poškodb (diskoloracije in glivne okužbe) v vzdolžni smeri drevesa. Je rezultat aktivnega odziva tkiva takoj po poškodbi. Predstavljajo jih okluzije v aksialnih elementih. To so obokane piknje in zasmoljene traheide pri iglavcih. Stena 1 je najšibkejša od vseh, saj je njena učinkovitost odvisna od anatomskih posebnosti ksilema in sposobnosti tvorbe okluzij. Neinducirana stena 2, ki je

rezultat normalne aktivnosti kambija, je povsem fizična in jo tvori gostejši kasni les. Omejuje širjenje v centripetalni smeri. V drevesu predstavlja stena 2 sklenjen plašč tkiva od baze do vrha drevesa. Radialno usmerjene parenhimske celice trakov predstavljajo zelo močno in vitalno steno 3, ki omejuje širjenje infekcije in diskoloracije v tangencialni smeri. Steni 2 in 3 sta del normalne strukture lesa, steni 1 in 4 pa nastaneta po poškodovanju. Navadno stene predelkov niso vedno popolnoma učinkovite, in če oslabijo, se na novem mestu znova tvorijo (Shigo, 1986).

V model CODIT je vključena barierna cona oziroma stena 4, ki jo tvori kambij po mehanskem poškodovanju ali glivni infekciji, največkrat pa po kombinaciji obeh. To je del ranitvenega lesa, ki je hkrati specializirano tkivo, ki deluje izolacijsko oziroma predstavlja nespecifični obrambni mehanizem med odmrlo beljavo in kambijem oziroma lesom, ki nastaja po poškodovanju. Ima povečan delež parenhimskih celic in s tem tudi večji zaščitni potencial kot normalni les, hkrati je najučinkovitejša in najtrajnejša omejitvena stena. Ščiti najmlajši les in tudi vaskularni kambij, ki sta v letih po poškodovanju vitalnega pomena za nadaljnjo rast in preživetje drevesa in je zaradi strukturnih karakteristik mehansko šibko mesto.

Vlogo stene 4 pri golosemenkah lahko vrši plast s polifenoli, zapolnjenih parenhimskih celic in/ali tangencialni niz(i) travmatskih smolnih kanalov (Torelli, 1990). Izvlečki iz stene 4 so inhibirali rast gliv, razkrojevalk lesa. Splošna lastnost stene 4 je njena neprepustnost v radialni in osni smeri. Zdi se, da je učinkovitost te bariere odvisna tudi od števila celic, ki jo sestavljajo, in njenega obsega okrog poškodbe. Stene 4 se tvorijo včasih daleč od mesta poškodbe ali pa v neposredni bližini rane.

Največ travmatskih smolnih kanalov nastane pri poškodovanjih med aktivno rastno sezono (pozna pomlad in zgodnje poletje), kar kaže na zvezo med intenzivnostjo odziva in kambijevo aktivnostjo. Poškodovanja ob zaključku rastne sezone (konec avgusta) so ponovno spodbudila kambijevo aktivnost in nastanek nekaj traheid v neposredni bližini poškodbe, pri posameznih drevesih pa tudi nastanek smolnih kanalov. Kot odziv na poškodovanje v prejšnji vegetacijski sezoni se travmatski smolni kanali pojavijo v ranem lesu naslednje branike.

Z delitvami v kambijevi coni nastajajo derivati, iz katerih se v zapletenem procesu citomorfogeneze na notranji strani diferencira ksilem, na zunanji strani pa floem. Tudi kompleksen odziv kambijeve cone na poškodovanje in infekcijo je mogoče razdeliti na dva procesa z izrazito časovno in prostorsko komponento. Prvo kot spremembe delitvenega vzorca v kambijevi coni (nastanek kalusa) in kot drugo, pričetek diferenciacije ranitvenega lesa.

2.2.1 Nastanek kalusa

Začetni odziv kambija na poškodovanja se kaže v spremembi delitvenega vzorca v kambijevi coni. Pri tem je pričetek delitve trakovnih celic kambija pri iglavcih in listavcih podoben, razlike med njimi pa so vidne zlasti pri delitvah v območju fuziformnih celic kambijeve cone in spremenjenem poteku diferenciacije njegovih derivatov. Pri navadni smreki in evropskem macesnu so pod odmrli celicami kambijeve cone na robu poškodbe z antiklinalnimi in prečnimi delitvami, predvsem trakovnih inicialk, nastale izodiametrične materinske celice kalusa. Antiklinalne delitve so bile najbolj intezivne na robu poškodbe, s tangencialno oddaljenostjo od roba poškodbe pa se je njihova frekvenca postopno manjšala. Prečne delitve so bile vidne tudi na večji tangencialni razdalji. Z naraščajočo oddaljenostjo od roba poškodbe se je razporeditev celic v kambijevi coni normalizirala

Danes velja prepričanje, da kalus nastane predvsem iz nediferenciranih celic in le v manjši meri tudi iz inicialne plasti kambija. Raziskave pa kažejo, da pri nastanku kalusa sodelujejo tudi parenhimske celice floema. Poskusi s skorjinimi jeziki posredno dokazujejo, da je nastanek kalusa verjetno posledica zmanjšanja skorjinega tlaka takoj po poškodovanju. (Oven, 1997)

2.2.2 Ranitveni les (Povzeto iz Oven, 1997)

Ranitveni les je tkivo, ki ga tvori vaskularni kambij po poškodovanju (Shigo, 1986). Vaskularni kambij je sloj aktivno delečih se celic, ki v fazi sekundarne (debelitve) rasti prispevajo nova sekundarna tkiva navzven, t.i. sekundarni floem, na notranjo stran pa sekundarni ksilem. Vaskularni kambij v strožjem smislu označuje enocelični sloj inicialnih celic, v širšem smislu pa poleg inicialk vključuje tudi floemske in ksilemske materinske celice. Na površini drevesnih debel je ranitveni les običajno viden kot obroč lesa, ki se najprej razvije ob robovih poškodb. Z nadaljnjo rastjo ranitvenega lesa se poškodba preraste. V starejši literaturi se je za opis tega tkiva uporabljal neustrezen izraz kalus. Kalus pravzaprav predstavlja samo del tkiva, ki nastaja na robovih poškodb.

Anatomija ranitvenega lesa se od normalnega lesa močno razlikuje. Traheide ranitvenega lesa imajo debelejšje celične stene in manjše lumne kot traheide normalnega lesa, pogosto debelo sekundarno steno z veliko vsebnostjo lignina. V ranitvenem lesu nastajajo tudi enoredni in dvoredni trakovi, parenhimske celice trakov pa so krajše.

Ranitveni les praviloma spremlja hitrejša rast v bližini rane, zato so branike na tem mestu praviloma širše od branik, ki jih tvori nepoškodovani kambij. Širina branik pa se postopno normalizira, pri bukvi se je to zgodilo v treh do petih letih.

Za ranitveni les so značilni krajši aksilani elementi, pri listavcih zlasti vlakna, pri iglavcih pa traheide. Tudi v zrelem lesu dolžina vlaken niha, predvsem v odvisnosti od hitrosti (radialne) rasti. Obstaja močna negativna korelacija med dolžino fuziformnih kambijevih inicialk in njihovih derivatov ter hitrostjo rasti. Primerljive so tudi dimenzije celic ranitvenega in mladostnega lesa kar kaže na »juvenilizacijo« lesa, ki nastaja po poškodovanju. Krajše traheide so verjetno posledica hitre rasti »juveniliziranega« kambija. Na robovih poškodb se kalus lahko razvije iz celic kambijeve cone, prav tako pa tudi iz parenhimskih celic žive skorje (Oven, 1999). Celice kalusa imajo sprva nelignificirano steno, ki se kasneje odebeli in tudi lignificira. Lumni teh celic so lahko zapolnjeni s polifenolnimi snovmi.

Kalus se lahko pojavi tudi na razkriti površini lesa, v tem primeru pa se razvije iz parenhimskih materinskih celic lesnih trakov. Pri monoterejskem boru se je kalus pojavil tudi v smolnih žepih. V tem primeru se je kalus razvil iz ksilemskih materinskih celic trakov in iz fuziformnih celic kambijeve cone. Izvor kalusa še vedno ni v celoti raziskan,

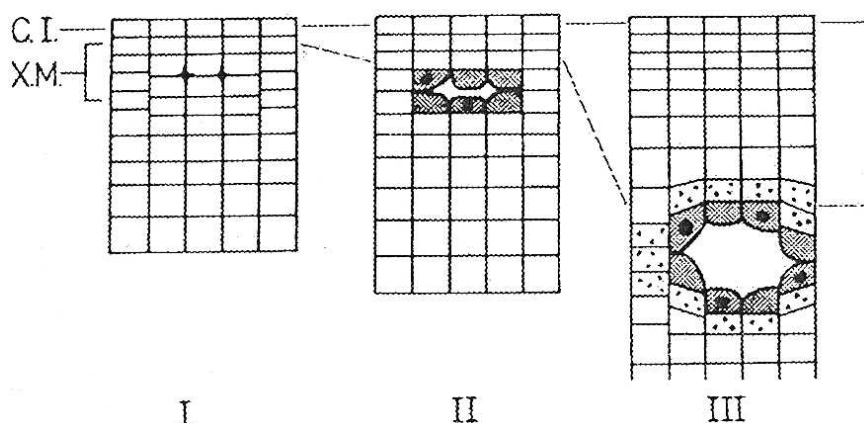
zdi pa se, da nastane predvsem iz nediferenciranih celic in le v manjši meri tudi iz inicialne plasti kambija (Oven, 1997).

2.3 METODA »PINNING« IN ODZIV KAMBIJA NA VBOD Z IGLO (Povzeto po Zupan, 2005)

Izraz »pinning« se je v znanstveni literaturi uveljavil za opis metodologije raziskovanja časovne dinamike rasti lesa s tehniko ranitve.

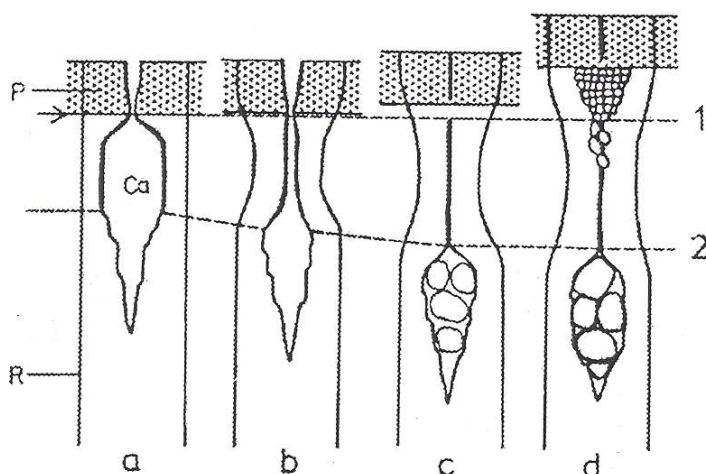
Metoda »pinning« temelji na preučevanju odziva kambija in nediferenciranih ksilemskih derivatov na majhno poškodbo, ki jo povzročimo z vbodom igle, premera 1 – 2 mm. Na osnovi odziva tkiv ob vbodu je mogoče določiti položaj kambijevih inicialk in tako ugotoviti, koliko novega lesa je nastalo med dvema časovnima intervaloma.

Minimalna poškodba z iglo povzroči odziv kambijevih celic in celic v zgodnjih fazah procesa diferenciacije v obliki nastanka kalusnega tkiva, ki se v braniki permanentno ohrani in je prepoznaven tudi po več letih. Metoda natančno določi položaj kambijevih celic v času vboda z iglo. V poškodovanem tkivu so se le kambijeve celice in najmlajši ksilemski derivati zmožni odzvati na poškodbo z iglo. Mehanska poškodba kambija povzroči nastanek kalusa, ranitvenega lesa in travmatskih smolnih kanalov. Preiskave nenormalnega tkiva v bližini poškodbe, zlasti travmatskih smolnih kanalov preciznost te metode še izboljša. Nastajanje travmatskih smolnih kanalov sovpada s položajem kambijevih inicialk v času vboda, medtem ko se notranji rob travmatskih smolnih kanalov ni skladal (slika 2). Na osnovi tega sta sklepala, da so se travmatski smolni kanali vedno razvili iz ksilemskih materinskih celic v bližini kambijevih inicialk v trenutku vboda. V nekaterih primerih pa so se travmatski smolni kanali tvorili nekoliko kasneje glede na čas špikljaja. Položaj travmatskih smolnih kanalov ne označuje položaja kambijevih inicialk tako natančno kot ga nenormalno tkivo. Ravno tako začetek faze oblikovanja sekundarne celične stene ni mogoče določiti iz položaja travmatskih smolnih kanalov. Po drugi strani pa je travmatske smolne kanale precej lažje zaslediti kot nenormalno tkivo, ki je omejeno le na neposredno bližino vboda.



Slika 2: Shema nastanka travmatskega smolnega kanala pri *Tsuga sieboldii* po: (I) treh dneh, (II) desetih dneh in (III) enem mesecu po poškodovanju. C.I. – kambijeve inicialke, X.M. – ksilemske materinske celice, ---- - položaj kambijevih inicialk v trenutku poškodovanja (iz Oven 1997).

Vbod z iglo povzroči v kambiju zelo majhno poškodbo, ki se razlikuje od velikih mehanskih poškodb (Oven, 1997). Obseg ranitvenega tkiva je manjši, struktura poškodovanega tkiva pa je neodvisna od velikosti rane. Ranitveni les je mesto poškodbe nastalo z vodom igle prerasel. Poškodovanja ob zaključku rastne sezone lahko ponovno vzpodbudijo kambijevo aktivnost (1981; iz Lukan 2004, Demšar 2004, Oven in sod.). Yoshimura in sodelavci (1981) so na primeru bora *Pinus taeda* podrobneje preučili odziv tkiva na mikropoškodbo (slika 3). V času špikljaja je med kambijevo cono ter celicami s sekundarno celično steno nastala velika odprtina. Nekaj dni po vbodu se je odprtina v območju ksilemskih materinskih celic ter celic v fazi postkambialne rasti pričela ožiti. Približno po enem tednu sta se robova odprtine skorajda združila. Po desetih dneh so se prameni ostankov porušeni primarnih celičnih sten v bližini kambijevih inicialk pretrgali in se s časom pomaknili proti floemski in ksilemski strani. Na teh mestih so se pričeli radialni nizi traheid proliferirati proti kambijevim inicialkam. Medtem ko so se tvorile abnormalne parenhimske celice v območju med kambijevo cono ter celicami v fazi odlaganja sekundarne celične stene. Parenhimske so se namnožile in povečale in povzročile deformacijo prečnih dimenzij nediferenciranih traheid. Položaj kambijevih inicialk v trenutku ranitve je bilo mogoče določiti na osnovi proliferiranega tkiva ter položaja najgloblje ležečih v ksilemu pretrganih ostankov celičnih sten (slika 3).



Slika 3: Shema odziva tkiva na vbod z iglo pri *Pinus taeda*: (a) neposredni odziv na vbod z iglo, (b) odziv po nekaj dneh, (c) odziv po desetih dneh in (d) odziv po enem mesecu. (1) domnevni položaj kambijevih inicialk v trenutku ranitve, (2) domnevni položaj celic v fazi odlaganja sekundarne celične stene v času ranitve. P – floem, R – trakovni parenhim, G – vrzel nastala z vbodom (iz Oven, 1997).

Ne glede na čas ranitve je vbod z iglo pri navadni smreki povzročil izsušitev ksilemskih tkiv, nekrozo nediferenciranih ksilemskih celic, nastanek kalusnega tkiva, travmatskih smolnih kanalov ter tipičnega ranitvenega lesa. Edini relevantni anatomske znak za določitev položaja kambijeve cone v trenutku ranitve so bili odmrli ostanki kambijevih inicialk ter najmlajših ksilemskih derivatov, ki so se nahajali v kalusu (Lukan, 2004; Demšar, 2004). Smolni kanali se niso izkazali kot zanesljivi pokazatelj nastalega ksilemskega prirastka do časa poškodbe pri navadni smreki. Določitev zaključka redne kambijeve delitvene aktivnosti lahko otežuje z ranitvijo inducirana reaktivacija meristema, ki je bila pogostejša pri smreki, ki rastejo v ugodnejših klimatskih pogojih (Zupan, 2005).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 OPIS RASTIŠČA IN POIZKUSNIH DREVES

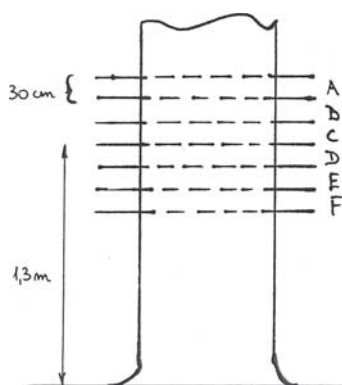
V okviru evropskega projekta PINE so bile poskusne smreke (*Picea abies* (L.) Karst.) izbrane na Pokljuki na nadmorski višini 1260 – 1290 m. Na njihovo vegetacijsko dobo so vplivali zunanji dejavniki kot so visoka nadmorska višina rastišča, nizke zimske temperature, pogosto tudi večje količine zapadlega snega, z zasenčenim sestojem in osrednje kislimi tlemi. Mraziščne razmere prevladajo nad ostalimi ekološkimi faktorji in ustvarjajo posebne pogoje za rast smrekovih gozdov z acidofilnimi zeliščnimi in mahovnimi vrstami, katere slabšajo kvaliteto tal. Zaradi gostega sestoja so debla smrek vitka z gostim, tankim in povešenimi vejami. Posledično je les dobre kakovosti in zdrav, le v nekaterih sekundarnih oblikah sestoja se pojavlja rdeča trohnoba (Zavod za gozdove Slovenije, GGO Bled, GE Pokljuka).

Za naš projekt so sodelavci s Katedre za tehnologijo lesa izbrali pet dreves, ki so v prsni višini imeli premer med 27 – 30 cm in višino rasti med 26 –28 m. Kriteriji, katere so upoštevali pri izbiri so bili:

1. vsa drevesa so bila sorasla, 2. stopnja po Assmanu;
2. brez vidnih mehanskih poškodb na deblu in koreninah. Drevesa niso imela odlomljenih vrhov;
3. osutost krošnje (iglic) je bila pod 30%;
4. starost dreves je ocenjena na 70 let;
5. brez vidnih simptomov polucijskih poškodb;
6. drevesa so imela centrična debla.

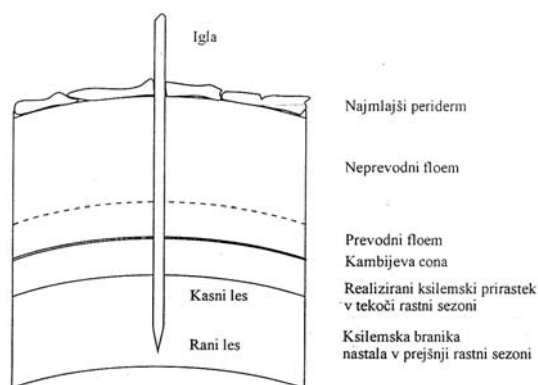
3.2 ZASTAVITEV POIZKUSA

Eksperiment »pinning« so sodelavci Katedre za tehnologijo lesa Oddelka za lesarstvo izvajali od začetka maja do konca septembra 2003, nato so drevesa podrli. Na vsakem drevesu so najprej označili šest nivojev (poimenovali so jih : A, B, C, D, E in F), ki so bili med seboj oddaljeni približno 30 cm kot kaže slika 6. Smreke so nato vsak teden poškodovali z iglo na vsakem nivoju.



Slika 4: Shematski prikaz nivojev na drevesnem deblu, na katerem so izvedli metodo »pinning«.

Vsi vbodi med seboj so bili oddaljeni približno 30 cm (glede na nivo; glej sliko 4), s čimer so poskušali izključiti vpliv sosednjih ranitvenih odzivov. Na vsakem drevesu so vsak teden izvedli šest vbodov z iglo na vsakem nivoju po en vbod z iglo premera 1 mm. Pred vsakim vbodom je bilo potrebno z rezilom (mizarskim dletom) odstraniti del ritidoma, da je igla lahko penetrirala skozi preostali del ritidoma, najmlajše periderem, ličje, kambijevo cono ter skozi ksilemski prirastek, nastal v tekočem letu 2003 (slika 4).



Slika 5: Shematski prikaz vboda igle v lesno tkivo v prečnem prerezu (Lukan, 2004).

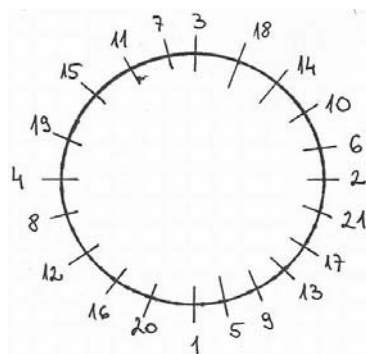
Vsak tedenski niz vbodov z iglo izvedenih na določen dan so zaporedno oštevilčili, kot je prikazano v preglednici 1. Z vidika naše raziskave je najstarejša prva poškodba, najmlajša pa je zadnja ranitev.

Preglednica 1: Zaporedne številke in datumi vbodov ter oznake preparatov za primer prvega drevesa.

Številka vboda	Datum vboda	Oznaka preparata
1	9.5.2003	P - 1C1
2	16.5.2003	P - 1C2
3	23.5.2003	P - 1C3
4	30.5.2003	P - 1C4
5	6.6.2003	P - 1C5
6	13.6.2003	P - 1C6
7	20.6.2003	P - 1C7
8	27.6.2003	P - 1C8
9	4.7.2003	P - 1C9
10	11.7.2003	P - 1C10
11	18.7.2003	P - 1C11
12	25.7.2003	P - 1C12
13	1.8.2003	P - 1C13
14	8.8.2003	P - 1C14
15	15.8.2003	P - 1C15
16	22.8.2003	P - 1C16
17	29.8.2003	P - 1C17
18	5.9.2003	P - 1C18
19	12.9.2003	P - 1C19
20	19.9.2003	P - 1C20
21	26.9.2003	P - 1C21

Legenda: P – 1C1 pomen: P = Poključka, 1 = prvo drevo, C = oznaka nivoja oz. koluta in 1 = zaporedna številka vboda.

Kot je razvidno iz preglednice 1 so eksperiment pričeli izvajati 9.5.2003 in ga po 21 tednih zaključili. Da pri vbodih ni prišlo do vplivov sosednjih ranitvenih odzivov so se sodelavci iz katedre za tehnologijo lesa odločili, da razporedijo vbode po obsegu debla tako kot prikazuje slika 8. V diplomski nalogi sem raziskal nastajanje ranitvenega lesa pri vzorcih z nivoja C.



Slika 6: Shematski prikaz razporeditev vbodov na prečnem prerezu. Zaporedna številka ustreza zaporednemu vbodu, kot je prikazano v preglednici 1.

Vsa poskusna drevesa so sodelavci Katedre za tehnologijo lesa skupaj s kolegi iz Finske ter Gozdarskega inštituta Slovenije posekali dne 24.10.2003. Material so pripeljali v mizarsko delavnico Oddelka za lesarstvo in ga obdelali.

3.3 PRIPRAVA VZORCEV V DELAVNICI

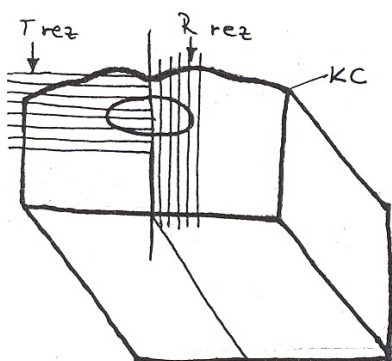
V mizarski delavnici Oddelka za lesarstvo so nivoje, ki so bili označeni na deblu razžagali s tračno žago na posamezne nivoje oziroma na kolute in pri tem pazili, da so se vbodi igle nahajali približno na sredini debeline nivoja oziroma koluta. Nato so ob posamezne špikljaje približno 1 cm v radialni smeri vžagali kolut, tako da je bil vbod na sredini količka. Količek so od koluta ločili s pomočjo rezila (mizarskega dleta) in to tako, da so nastali vzorci vsebovali zadnje tri ksilemske branike. Nastali vzorec je vseboval, kambijevo cono in živo skorjo. Dobljene vzorce so obdelali še na krožni žagi in jih označili z oznakami, razvidnimi iz preglednice 1. Dimenzije končnih vzorcev so znašale približno 1,5cm x 1cm x (skorja + tri branike). Pridobljene vzorce so fiksirali v FAA (25ml 37% formalin, 25ml 100% očetna kislina in 450ml 50% etanola) in jih prinesli v laboratorij. Iz vseh 105 vzorcev so izdelali trajne anatomske preparate prečnih prerezov.

3.4 IZDELAVA ANATOMSKIH PREPARATOV

Strokovni sodelavci Katedre za tehnologijo lesa so pripravili anatomske preparate, ki so bili uporabljeni pri preučevanju nastanka ksilemske branike pri smrekah s Poključke v rastni sezoni 2003, diplomantke Barbare Zupan. Ker pa je bila za preučevanje uporabljena tehnika poškodovanja kambija, je bilo mogoče iste preparate izkoristiti tudi za preučevanje nastajanja ranitvenega lesa.

Zanimalo nas je tudi, kaj se z anatomsko zgradbo dogaja v aksialni oz. longitudinalni smeri, zato smo na podlagi prečnega prereza določili dva vzorca (količka) (na podlagi slike 8) iz katerih smo naredili preparate radialnega in tangencialnega prereza. Odločil sem se za količek z oznako P - 4C10 in P - 5C9 (za razlago oznak preparatov glej preglednico 1).

Preparati so bili narejeni po enakem postopku kot preparati prečnega prereza, ki so jih naredili strokovni sodelavci Katedre za tehnologijo lesa. Da ne bi prišlo do poškodovanja vzorcev smo ju z rezilom razdvojili oziroma razcepili na dva dela natanko po sredini vboda (slika 7).



Slika 7: Prikaz razcepa in rezalnih ravnin na količku.

Pred vpetjem v prijemalo mikrotoma znamke Leica SM2000R sem vzorec spral z 95% alkoholom nato pa odstranil odvečni ritidom in ksilem, ter odrezal histološko rezino lesnega tkiva, ki se je zaradi nehomogenosti pogosto strgala ali stlačila. Histološko rezino lesnega tkiva sem previdno s čopičem, ki je bil predhodno pomočen v 95% alkohol, s pritiskom na rezilo držal že med samim rezom, da sem preprečil zvijanje in gnetenje.

Histološke rezine lesnega tkiva sem prenesel na urno steklo in sledilo je diferencialno barvanje in vklapljanje rezine.

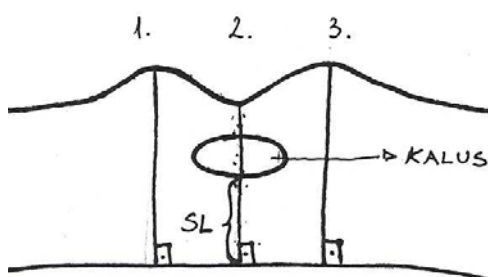
V urno steklo sem dodal dve kaplji safranina (0,5% v 95% alkoholu), ki predvsem poudari lignin, preparat pa se obarva rdečkasto. V safraninu je preparat možno pustiti tudi do 24 ur vendar se preparat zadovoljivo obarva že po 5 - 10 minutah, zato je bil preparat v barvilu le 10 minut. S pomočjo pincete sem s potapljanjem v 95% alkohol spirala s histološke rezine lesnega tkiva odvečno barvilo. Po spiranju pa sem histološko rezino lesnega tkiva postavil v urno steklo ter dodal dve kapljici barvila astro modro (0,5% v 95% alkoholu + Tyhomol), ki poudari predvsem celulozo. V tem barvilu je preparat lahko le minuto ali dve, ker se v nasprotnem primeru obarva v celoti čisto modro. Nato je s pomočjo pincete sledilo spiranje kot po prvem barvanju v 95% alkoholu. Po spiranju sem histološko rezino lesnega tkiva prenesel na čisto objektno steklo, kjer sem zvijanje histološke rezine lesnega tkiva preprečil z laboratorijskimi iglami.

Pred nadaljevanjem sem na objektnem steklu napisal oznako preparata ter številko histološke rezine lesnega tkiva. Na vsako obarvano tkivo sem spustil po eno kapljico umetne smole (Euparal) ter s pomočjo igle in čopiča prekril s krovnim steklom tako, da ni bilo nezaželenih zračnih mehurčkov izpod krovnega stekla in histološke rezine lesnega tkiva. Preparat sem nato obtežil z 200 g kovinsko utežjo ter pustil mirovati 24 ur, da se je umetna smola utrdila.

3.5 METODIKA MERITEVE DEBELINE RANITVENEGA LESA

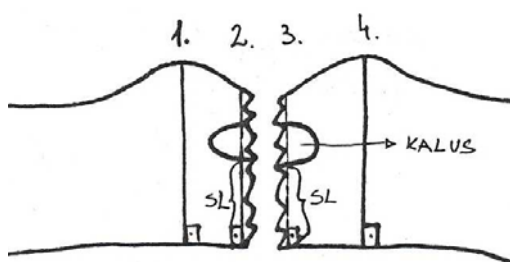
Anatomski znaki, nastali pri vbodu z iglo v različnih časovnih obdobjih rastne sezone, so služili za postavitev kriterijev za histometrične analize (glej tudi: Lukan 2004, Zupan 2005, Oven in sod. 2004). Merilna mesta so opisana v nadaljevanju.

- Meritev ranitvenega lesa je bila opravljena pravokotno na potek kasnega lesa v prejšnji rastni sezoni. Meritev je bila izvedena od začetka prve celice rastne sezone 2003 do zadnje celice rastne sezone 2003. Položaj merilnih mest ranitvenega lesa je prikazan na sliki 8.



Slika 8: Shema meritev ranitvenega lesa. SL ... debelina nastalega ksilemskega prirastka do dneva vboda z iglo (Podatki iz Zupan 2003).

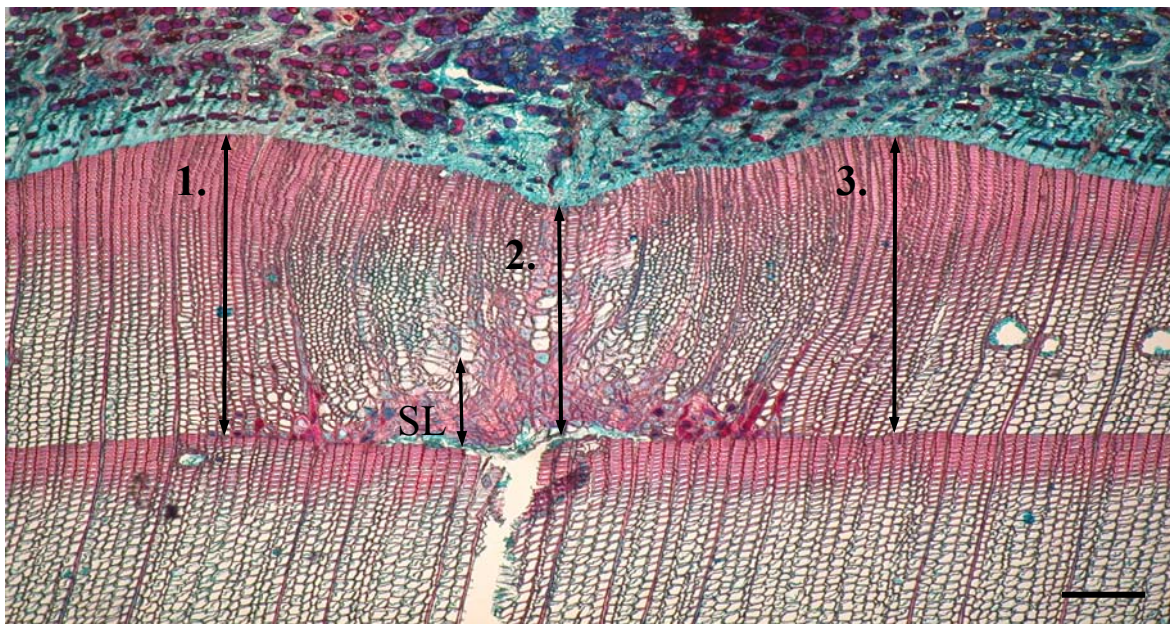
- V primeru, ko preparat ni bil celoten oziroma je bil razdvojen, smo za drugo oziroma sredinsko meritev opravili dve meritvi (slika 9). Pri obdelavi podatkov pa se je upoštevala povprečna vrednost podatkov.



Slika 9: Shema meritev ranitvenega lesa, če je bil preparat »razdvojen«. SL ... debelina nastalega ksilemskega prirastka do dneva vboda z iglo (Podatki iz Zupan 2003).

Ključne informacije za preiskave in analizo sezonske dinamike nastajanja ranitvenega lesa v rastni sezoni 2003 pri preiskovalnih smrekah so bile (glej sliko 10): širina ranitvenega lesa ob straneh vboda, kjer je intenzivnost rasti ranitvenega lesa največja na merilnih mestih 1 in 3, širina ranitvenega lesa na sredini vboda, kjer je intenzivnost rasti ranitvenega

lesa manjša na merilnem mestu 2, ter debelina prirastka do dneva vboda, ki jo je v diplomski nalogi z naslovom Nastanek ksilemske branike pri smrekah na Pokljuki v letu 2003 opravila B. Zupan (oznaka meritve SL).



Slika 10: Prikaz 1. meritve, 2. meritve, 3. meritve in SL - debelino prirastka do dneva vboda (meritev B. Zupan (2005)). Preparat: 1c3, datum vboda: 23.5.2003. Merilo = 100 μ m.

3.5.1 Analiza slike

Celotni sistem za analizo slike je slikovne podatke spremenil v numerične (v μ m). Sistem je sestavljen iz; (1) svetlobnega mikroskopa Nikon Eclipse E800, (2) digitalne kamere (PIXElink, PL-A66Z Camera kit), (3) osebne PC računalnika in (4) računalniškega programa za analizo slike Lucia G 4.8..

Preparat sem namestil na objektno mizico svetlobnega mikroskopa Nikon Eclipse E800, ter preko kamere in računalniškega programa Lucia G 4.8. dobil »živo« sliki. Pred meritvami so sodelavci Katedre za tehnologijo lesa umerili oziroma kalibrirali meritve na zaslonu s standardnim merskim sistemom za različne objektivne. Pri dobljeni »živi« sliki sem lahko v programu Lucia G 4.8. spreminjal kontrast, svetlost in delež rdeče, zelene in modre barve (sistem RGB) na ekranu. Pri meritvah sem uporabljal 4x ali 10x povečavo. S pomočjo spreminjanja pozicije objektno mizice sem dobil optimalno lego in mesto preparata za izvedbo meritve. Ob vsaki spremembi pozicije objektno mizice se je spremenila tudi

»živa« slika na računalniškem ekranu. Uporabil sem svetlo poljsko mikroskopiranje po potrebi za lažje opravljanje meritve sem na mikroskopu spreminjal osvetlitev preparata ter globinsko ostrino slike.

Na vsakem preparatu so bile opravljene tri meritve; 1. in 3. meritev sta bili opravljeni na mestu kjer je intenzivnost rasti ranitvenega lesa največja (ob straneh vboda) in 2. meritev je bila opravljena na sredini prve in tretje meritve kjer je intenzivnost rasti ranitvenega lesa najmanjša (na mestu vboda) (glej sliko 7). Vse meritve so bile opravljene pravokotno na kasni les, ki je nastal v rastni sezoni 2002. Vse meritve so bile shranjene v datoteko (.txt), sami podatki pa so bili obdelani v programu Microsoft Excel.

3.6 OBDELAVA MERITEV IN STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV

Za vsak preparat sem pridobil tri meritve (glej sliko 8):

1. 1. in 3. meritev sta bili opravljeni na mestu kjer je intenzivnost rasti ranitvenega lesa največja (ob straneh vboda).
2. 2. meritev je bila opravljena na sredini prve in tretje meritve, kjer je intenzivnost rasti ranitvenega lesa najmanjša (na mestu vboda).

Pri vsakem vzorcu sem najprej izračunal povprečje prve in tretje meritve s katerimi sem v nadaljevanju operiral:

$$\bar{X}_{1,3} = \frac{1. + 3.}{2} \quad (1)$$

$X_{1,3}$ - povprečje prve in tretje meritve

1. - prva meritev
3. - tretja meritev

Z razliko meritev med povprečjem prve in tretje meritve in debelino prirastka do dneva vboda, ki jo je v diplomski nalogi z naslovom Nastanek ksilemske branike pri smrekah na Pokljuki v letu 2003 opravila Zupan (2005), sem dobil prirastek ranitvenega lesa 1:

$$A = SL - \bar{X}_{1,3} \quad (2)$$

A - prirastek ranitvenega lesa 1

SL - debelino prirastka do dneva vboda, ki jo je opravila Barbara Zupan

$X_{1,3}$ - povprečje prve in tretje meritve

Z razliko meritev med drugo meritvijo in debelino prirastka do dneva vboda, ki jo je v diplomski nalogi z naslovom Nastanek ksilemske branike pri smrekah na pokljuki v letu 2003 opravila Zupan (2005), sem dobil prirastek ranitvenega lesa 2:

$$B = SL - \bar{X}_{1,3} \quad (3)$$

B - prirastek ranitvenega lesa 2

SL - debelino prirastka do dneva vboda, ki jo je opravila B. Zupan

X_2 - druga meritve

3.6.1 Uporaba Gompertzove rastne funkcije

Z Gompertzovo rastno krivuljo sem naredil rastni in prirastni model za ranitveni les na merilnem mestu večjega (meritev 1 in 3, glej sliko 10) in manjšega (meritev 2, slika 10) ranitvenega lesa.

Gompertz je že leta 1825 oblikoval krivuljo, in sicer z namenom, da bi predstavil starostno porazdelitev človeške populacije (Rossi, Deslauriers, Morin 2003). Kot rastno funkcijo pa jo je leta 1932 uporabil Winsor.

Enačbo lahko zapišemo kot rastno funkcijo:

$$Y(t) = Ae^{-\beta e^{-\kappa t}} \quad \text{ali pa} \quad (4)$$

$$Y(t) = A^{-e^{(\beta - \kappa t)}} \quad (5)$$

ali kot prirastno funkcijo:

$$Y(t) = A\kappa\beta e^{-\kappa t} e^{-\beta e^{-\kappa t}} \quad (6)$$

Pomen simbolov:

y - tedenski prirastek celic

t - starost poškodbe

A - zgornja asimptota maksimalnega števila celic

β - parameter na osi x

κ - hitrost spremembe

Starost poškodbe (t) smo izrazili v dnevih, pri čemer 0 predstavlja starost poškodbe, ko ni bilo več videti ranitvenega lesa v rastni sezoni 2003.

Dobra lastnost funkcije je v tem, da je njen prevoj izražen samo s parametrom a, ki pomeni končno velikost. Točka prevoja je takrat, ko velikost rastnega znaka doseže vrednost

$$Y(t) = \frac{A}{e} \text{ oziroma } 36,79 \% \text{ končne vrednosti znaka } \left(\frac{1}{e} = 0,3679 \right).$$

Gompertzovo funkcijo pogosto uporabijo v rastnih modelih, ker dobro ponazarja rast nekaterih znakov drevesa oziroma sestojnih parametrov.

V naših raziskavi smo širino ranitvenega lesa prilagodili z Gompertzovo funkcijo. Postopek smo izvedli z nelinearno regresijo z Marquardt interaktivnim postopkom s pomočjo statističnega programa Stargraphics Plus for Windows 4.0.

Kljub dejstvu, da je bilo opisano zelo veliko podrobnosti o nastajanju ksilema, vemo zelo malo o spremenljivosti povečanja števila celic okrog debla in o primernih analitičnih izrazih, ki opisujejo nastanek ksilema med rastno sezono. Z uporabo specifičnih enačb so Rossi in sodelavci (2003) dobili pomembno izboljšavo pri ocenjevanju procesov celične delitve in diferenciacije skozi določen čas. Tudi procedura normalizacije je izboljšala R^2 prilagojene krivulje in zmanjšala standardno deviacijo ocenjevanih parametrov ter s tem povečala zanesljivost matematičnega prilagoditvenega modela (modela fitting). Znotraj letne rekonstrukcije ta metoda odpira nove možnosti za pristope in razumevanje mehanizma nastanka ksilemske branike. Precizno znanje o nastanku celice v določenem časovnem obdobju bo v pomoč dendroklimatološkim in dendroekološkim raziskavam (Rossi in sodelavci, 2003).

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 ANATOMSKI ODZIV KAMBIJA NAVADNE SMREKE NA RANITEV Z IGLO

Neodvisno od časa poškodovanja z iglo v rastni sezoni je le-ta povzročila nastanek ranitvenega lesa, izsušitev ksilemskega tkiva, nastanek kalusa, nekrozo nediferenciranih ksilemskih celic in razvoj travmatskih smolnih kanalov. V kalusu so bile priložnostno vidne celice kambija, ki so bile pokazateljice mesta, na katerem naj bi se nahajala kambijeva cona ob času ranitve. Kot opisuje Zupan (2005) pa za travmatske smolne kanale ne bi mogli tako trditi.

Na mestu ranitve z iglo se je delitvena aktivnost poškodovanega kambija močno povečala.

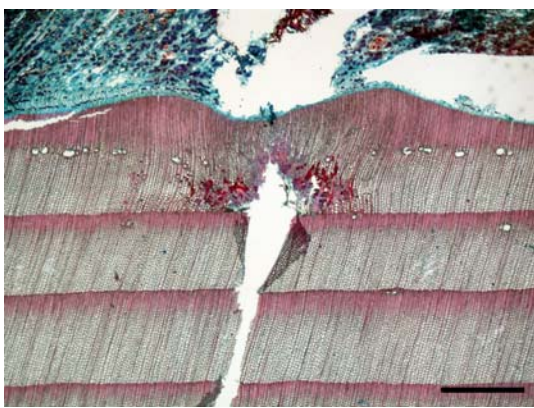
Na ranitvah, ki so bile povzročene na začetku oziroma na višku rastne sezone je vidno, da je ranitvenega lesa na mestu vboda več kot normalnega lesa (slika 11). Pri ranitvah, ki so bile povzročene proti koncu oziroma na koncu rastne sezone ranitvenega lesa skoraj ni oziroma ga je zelo malo (slika 12). V večini primerov je ranitveni les ob straneh vboda oziroma na merilni lokaciji 1. in 3. (glej sliko 8) intenzivnejše priraščal kot pa les neposredno na mestu vboda oziroma na merilni lokaciji 2 (slika 12). Celice v ranitvenem lesu imajo debelejšo celično steno in manjšo radialno dimenzijo kot celice normalnega lesa. Zelo so podobne celicam kasnega lesa pri normalnem lesu.

Celice ranitvenega lesa na merilni lokaciji 1 in 3 so v radialnem nizu razporejene enako kot celice normalnega lesa (slika 13). Vse celice v istem radialnem nizu so potomke iste kambijeve inicialke.

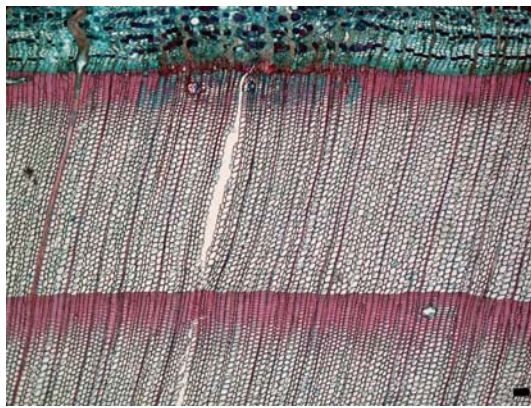
Raziskave s svetlobnim mikroskopom so pokazale, da kalus sestavljajo odmrli ostanki kambijevih celic, celice v postkambialni rasti, travmatski smolni kanali, celice v procesu odlaganja sekundarne celične stene in lignifikacije ter diferencirane traheide.

Na sliki 35 je na tangencialnem prerezu vidno, da so v kalusu odmrli ostanki kambijevih celic, celice v postkambialni rasti, celice v procesu odlaganja sekundarne celične stene in lignifikacije ter modificirane traheide, ki jih imenujemo traheide.

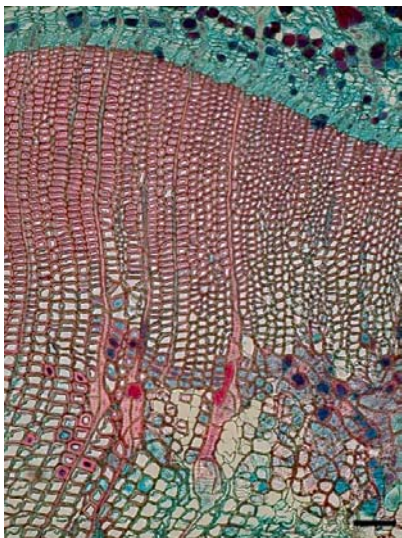
Na sliki 36 je vidna zgradba kalusa v radialnem prerezu, kjer se vidijo odmrli ostanki kambijevih celic v postkambialni rasti, travmatski smolnini kanal, celice v procesu odlaganja sekundarne celične stene in lignifikacije ter traheoide.



Slika 11: Preparat 1C6, datum ranitve 13.6.2003. Ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 je več kot normalnega lesa. Merilo = 1000 μm

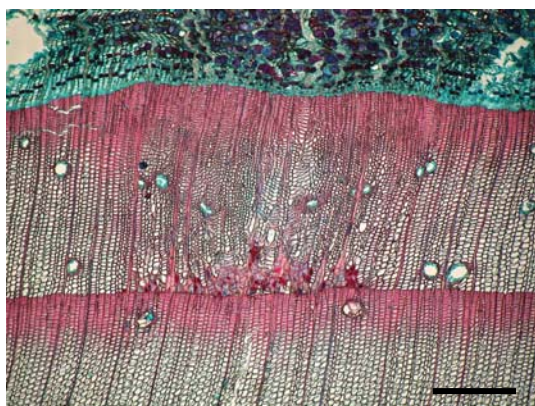


Slika 12: Preparat 1c16, datum ranitve 22.8.2003. Ranitvenega lesa na merilnem mestu je zelo malo. Merilo = 100 μm

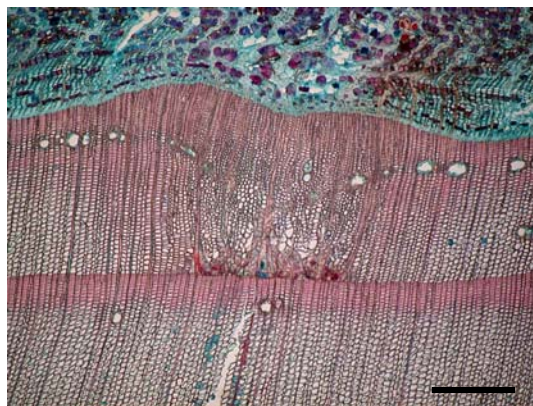


Slika 13: Preparat 4C10, datum ranitve 11.07.2003. Celice ranitvenega lesa so podobne celicam normalnega lesa v kasnem lesu. Merilo = 100 μm

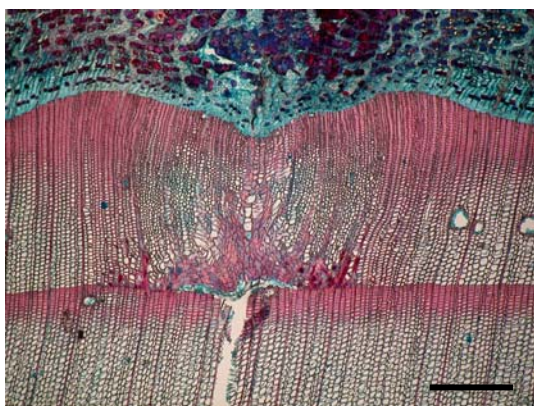
Zaporedje slik preparatov prečnega prereza smreke 1 (od preparata 1 do 18) prikazuje dinamiko oziroma trend delitvene aktivnosti poškodovanega kambija ranitvenega lesa med rastno sezono 2003 v tedenskih intervalih. Slike preparatov so prikazane samo do 1c18, ker v nadaljevanju ni očitnih razlik v dinamiki oziroma trendu delitvene aktivnosti poškodovanega kambija ranitvenega lesa.



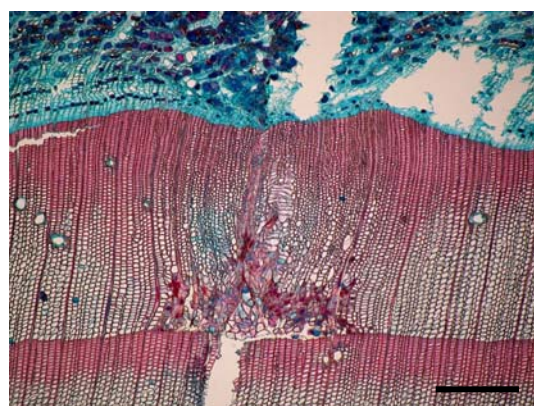
Slika 14: Preparat 1C1, datum ranitve 9.5.2003.
Merilo = 100 μ m.



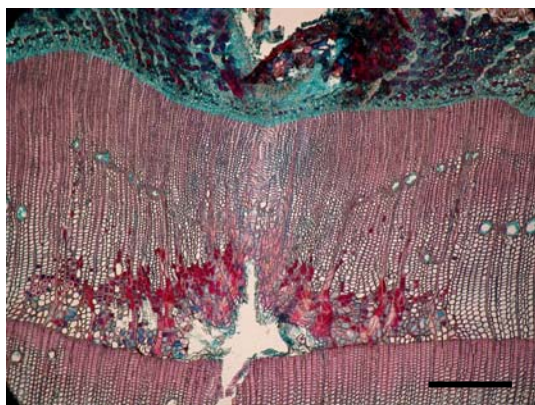
Slika 15: Preparat 1C2, datum ranitve 16.5.2003.
Merilo = 100 μ m.



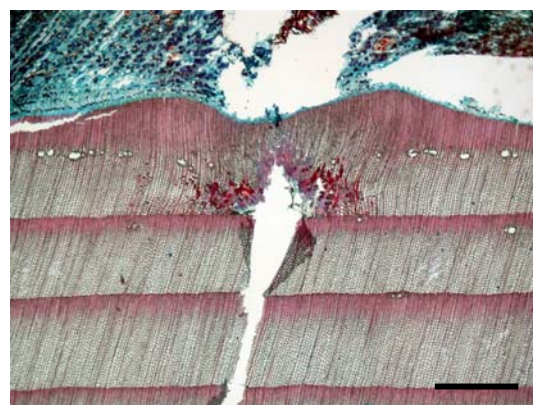
Slika 16: Preparat 1C3, datum ranitve 23.5.05.2003.
Merilo = 100 μ m.



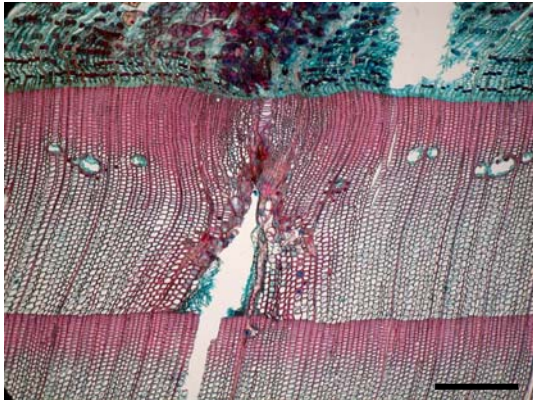
Slika 17: Preparat 1C4, datum ranitve 30.5.05.2003.
Merilo = 100 μ m.



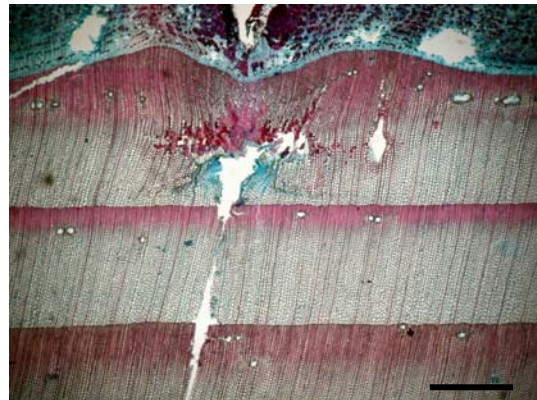
Slika 18: Preparat 1C5, datum ranitve 06.06.2003.
Merilo = 100 μ m.



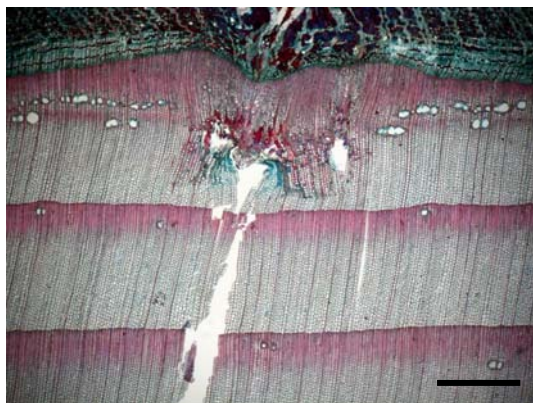
Slika 19: Preparat 1C6, datum ranitve 13.06.2003.
Merilo = 1000 μ m.



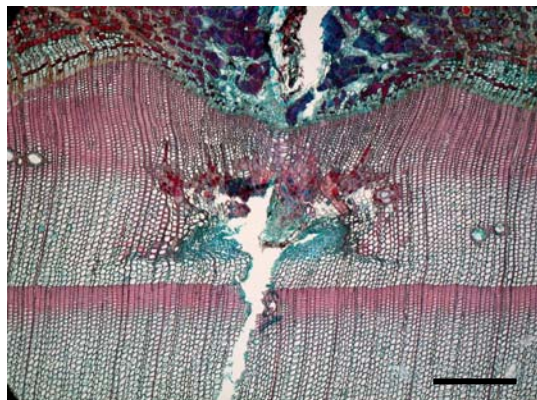
Slika 20: Preparat 1C7, datum ranitve 20.06.2003.
Merilo = 100 μm .



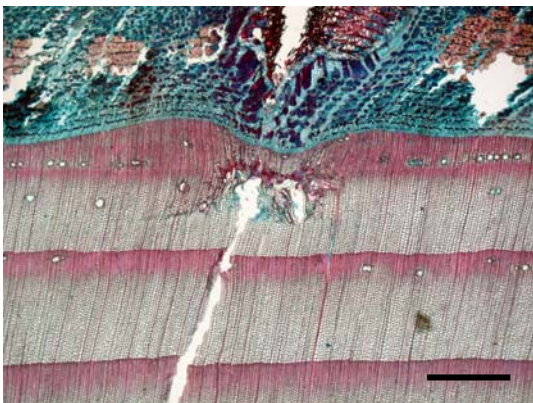
Slika 21: Preparat 1C8, datum ranitve 27.06.2003.
Merilo = 1000 μm .



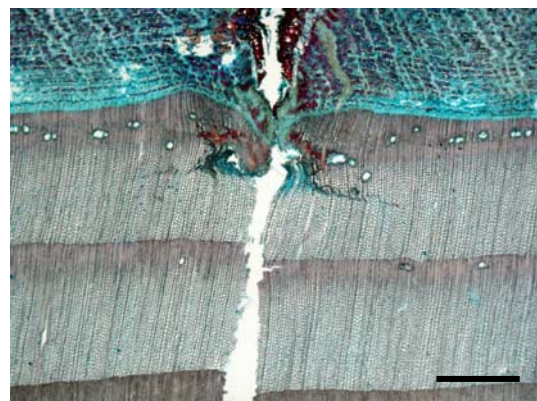
Slika 22: Preparat 1C9, datum ranitve 04.07.2003.
Merilo = 1000 μm .



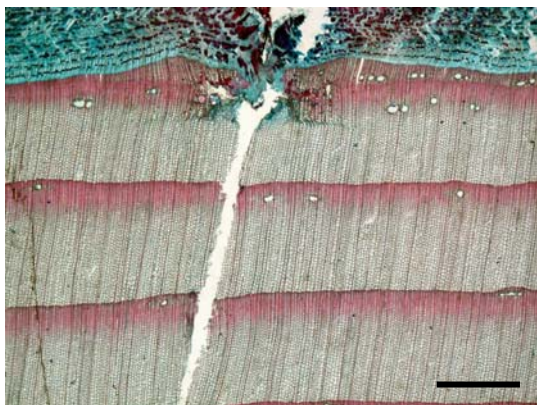
Slika 23: Preparat 1C10, datum ranitve 11.07.2003.
Merilo = 100 μm .



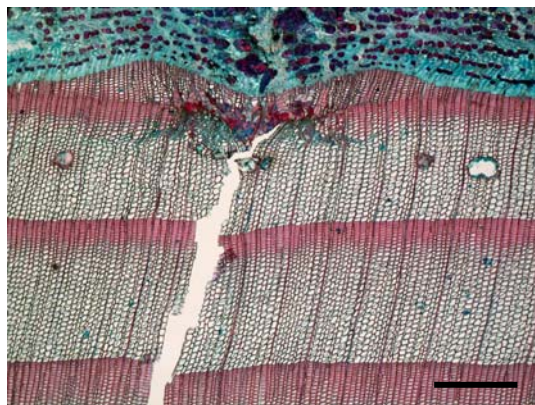
Slika 24: Preparat 1C11, datum ranitve 18.07.2003.
Merilo = 1000 μm .



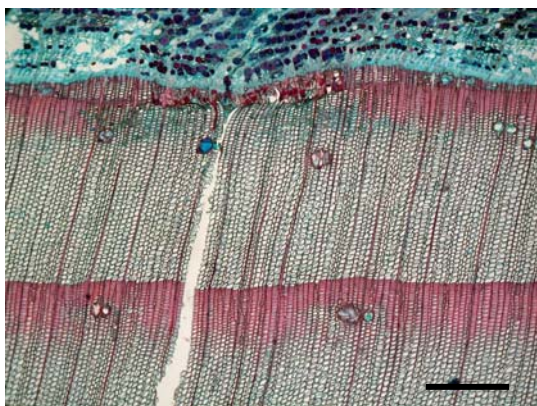
Slika 25: Preparat 1C12, datum ranitve 25.07.2003.
Merilo = 1000 μm .



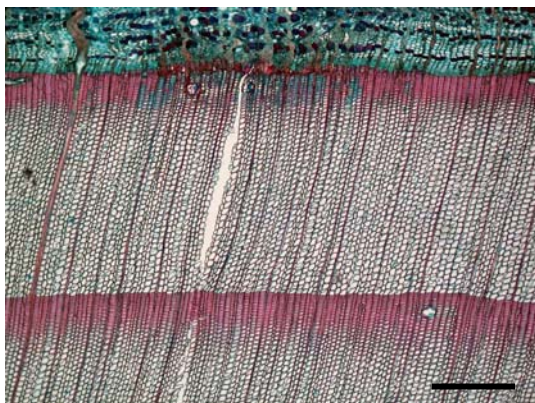
Slika 26: Preparat 1C13, datum ranitve 01.08.2003.
Merilo = 1000 μm .



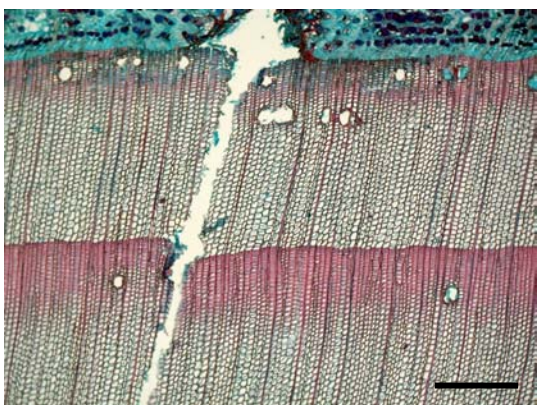
Slika 27: Preparat 1C14, datum ranitve 08.08.2003.
Merilo = 100 μm .



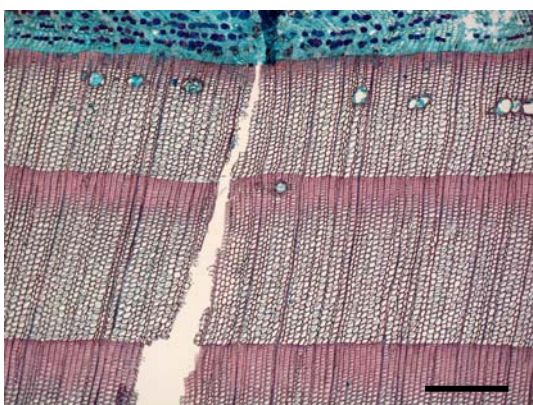
Slika 28: Preparat 1C15, datum ranitve 15.08.2003.
Merilo = 100 μm .



Slika 29: Preparat 1C16, datum ranitve 25.08.2003.
Merilo = 100 μm .

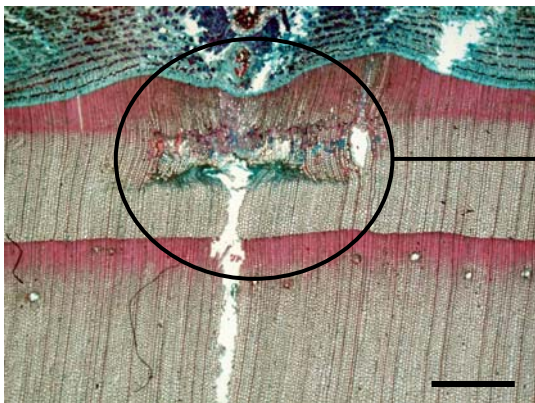


Slika 30: Preparat 1C17, datum ranitve 29.08.2003.
Merilo = 100 μm .

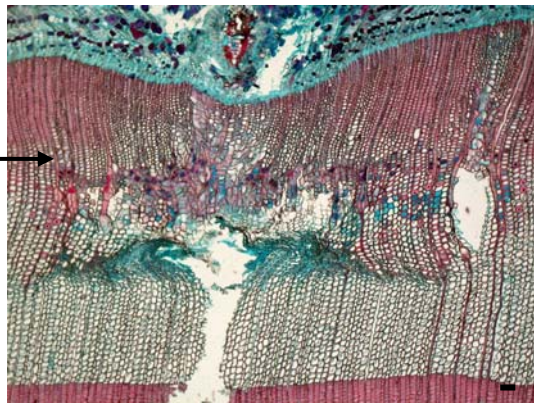


Slika 31: Preparat 1C18, datum ranitve
05.09.2003. Merilo = 100 μm .

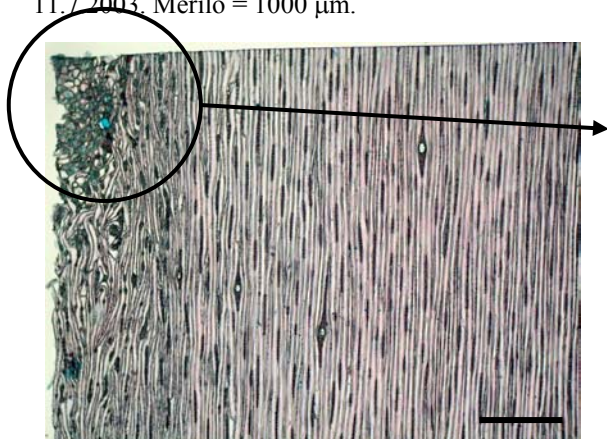
Anatomski odziv kambija v aksialni smeri je enak kot v radialni smeri, s tem da so traheide pod vbodom usločene oziroma upognjene. Kambijeva cona v času vboda se lahko določi na podlagi kambijevih celic v kalusu.



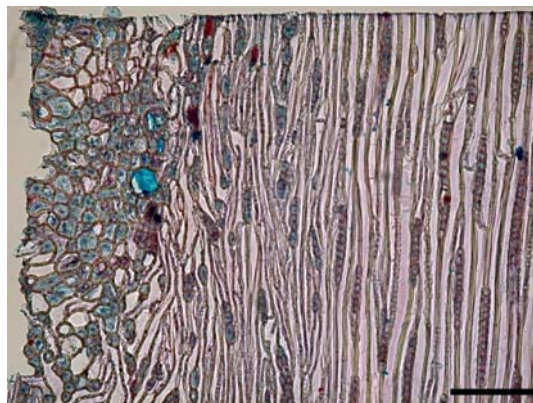
Slika 32: Preparat 4C10, prečni prerez, datum vboda: 11.7.2003. Merilo = 1000 μm .



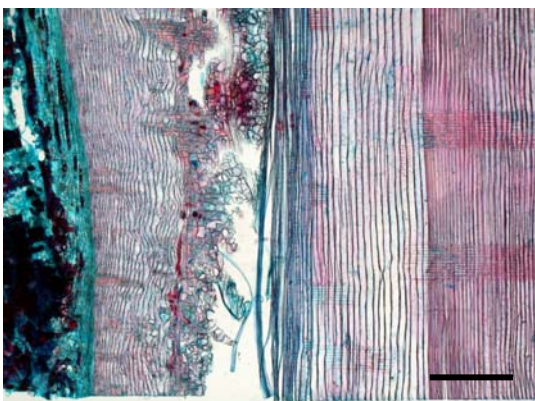
Slika 33: Preparat 4C10, prečni prerez, datum vboda: 11.7.2003. Merilo = 100 μm .



Slika 34: Preparat 4C10, tangencialni prerez, datum vboda: 11.7.2003. Merilo = 1000 μm .



Slika 35: Preparat 4C10, tangencialni prerez, datum vboda: 11.7.2003. Merilo = 100 μm .



Slika 36: Preparat 4C10, radialni prerez, datum vboda: 11.7.2003. Merilo = 100 μm .

4.2 TRAJANJE AKTIVNOSTI POŠKODOVANEGA KAMBIJA

Z vseh petih poskusnih dreves je bil za raziskave izbran nivo C, ki je bil poškodovan z iglo v obdobju med 9.5.2003 in 26.9.2003. Podatki meritev z vseh petih poskusnih smrek z raziskovalne ploskve na Pokljuki so zbrani v prilogi A.

Začetek delitvene aktivnosti poškodovanega kambija sovpada z začetkom redne delitvene aktivnosti kambija, kot jih po datumih za vsako drevo navaja Zupan (2005).

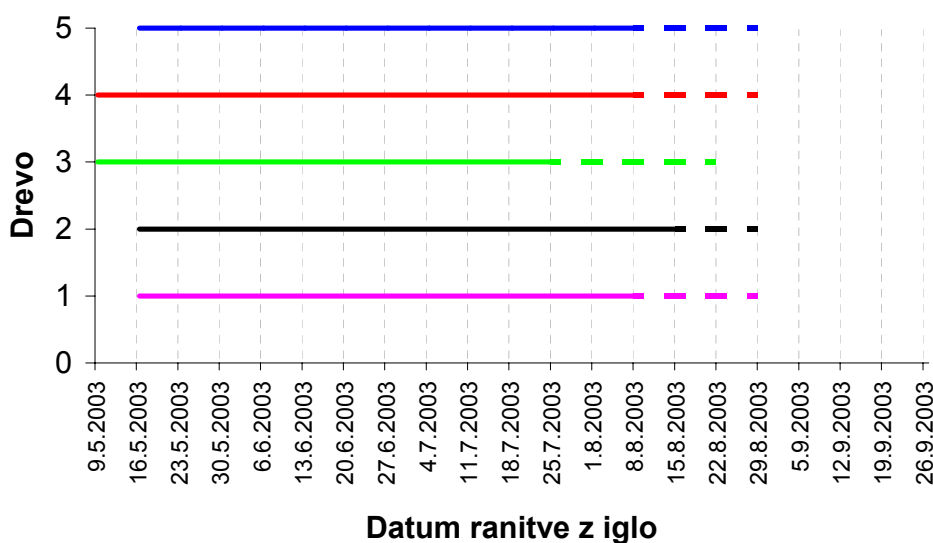
Naša opazovanja kažejo, da je bila delitvene aktivnost poškodovanega kambija, ki tvori ranitveni les, daljša od redne kambijeve delitvene aktivnosti.

Trajanje delitvene aktivnosti poškodovanega kambija smo določili na osnovi meritev ranitvenega lesa. Po prenehanju delitvene aktivnosti poškodovanega kambija ranitvenega lesa ni bilo več. Tako smo v naši raziskavi starost poškodbe izrazili v dnevih, pri čemer 0 predstavlja starost poškodbe, ko ni bilo več videti ranitvenega lesa za rastno sezono 2003.

Slika 37 prikazuje trajanje delitvene aktivnosti poškodovanega kambija in trajanje redne delitvene aktivnosti kambija.

Pri smrekah št. 1, 4, in 5 je bila delitvena aktivnost poškodovanega kambija daljša za tri tedne. Redna delitvena aktivnost kambija se je končala v obdobju med 1.8.2003 in 8.8.2003 (glej Zupan, 2005) medtem, ko se je delitvena aktivnost poškodovanega kambija končala v obdobju med 8.8.2003 in 29.8.2003. Pri smreki št. 2 se je redna kambijeve delitvena aktivnost končala v obdobju med 1.8.2003 in 8.8.2003 (Zupan, 2005), medtem ko se je delitvena aktivnost poškodovanega kambija nadaljevala še 2 tedna in se je končala v obdobju med 15.8.2003 in 29.8.2003. Pri smreki št. 3 se je redna kambijeve delitvena aktivnost končala v obdobju med 18.7.2003 in 25.7.2003 (Zupan, 2005), medtem ko se je delitvena aktivnost poškodovanega kambija nadaljevala še 4 tedne oziroma se je končala v obdobju med 15.8. in 22.8.2003. Krajšo redno kambijevo delitveno aktivnost je imela smreka št. 3, približno 11 tednov (Zupan, 2005), vendar je imela najdaljšo delitveno aktivnost poškodovanega kambija, približno 4 tedne. Najdaljšo redno kambijevo delitveno aktivnost je imela smreka št. 2, ki je trajala približno 14 tednov (Zupan, 2005), vendar je

imela najkrajšo delitveno aktivnost poškodovanega kambija po prenehanju redne delitvene aktivnosti kambija približno samo 2 tedne. Pri smrekah št. 1, 4 in 5 je redna kambijeva delitvena aktivnost trajala približno 13 tednov (Zupan, 2005), delitveno aktivnost poškodovanega kambija po prenehanju redne delitvene aktivnosti kambija pa približno 3 tedne. V povprečju je redna kambijeva delitvena aktivnost trajala 13 tednov, medtem ko je delitvene aktivnost poškodovanega kambija ranitvenega lesa po prenehanju redne delitvene aktivnosti kambija trajala v povprečju 3 tedne.



Slika 37: Trajanje delitvene aktivnosti poškodovanega kambija v rastni sezoni 2003 pri vseh petih raziskovanih drevesih navadne smreke na Pokljuki.

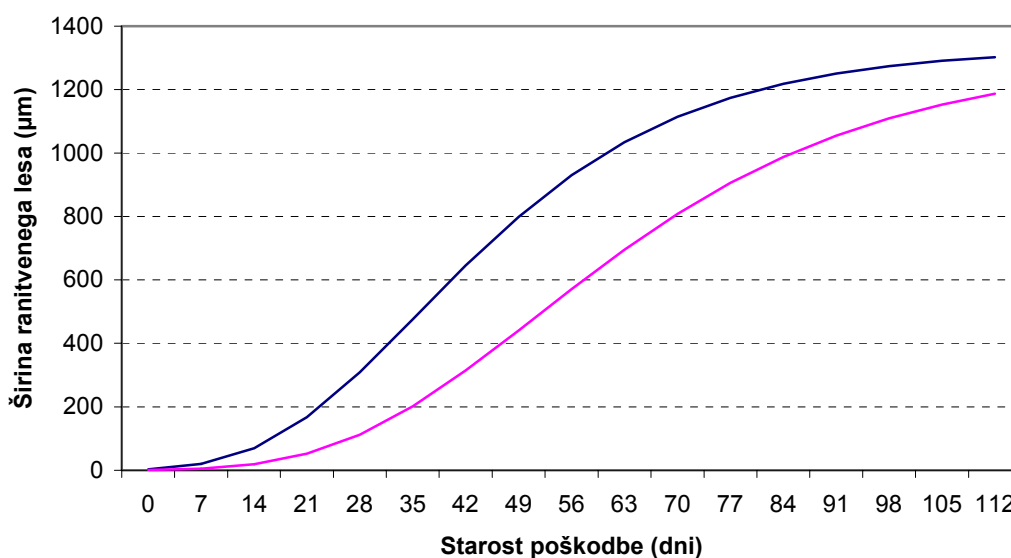
Legenda: — obdobje redne kambijeve delitve aktivnosti in obdobje delitve aktivnosti poškodovanega kambija;
 - - - - - obdobje, ko se nadaljuje samo delitvena aktivnost poškodovanega kambija in s tem nastajanje ranitvenega lesa

4.3 DINAMIKA NASTAJANJA RANITVENEGA LESA

SMREKA 1

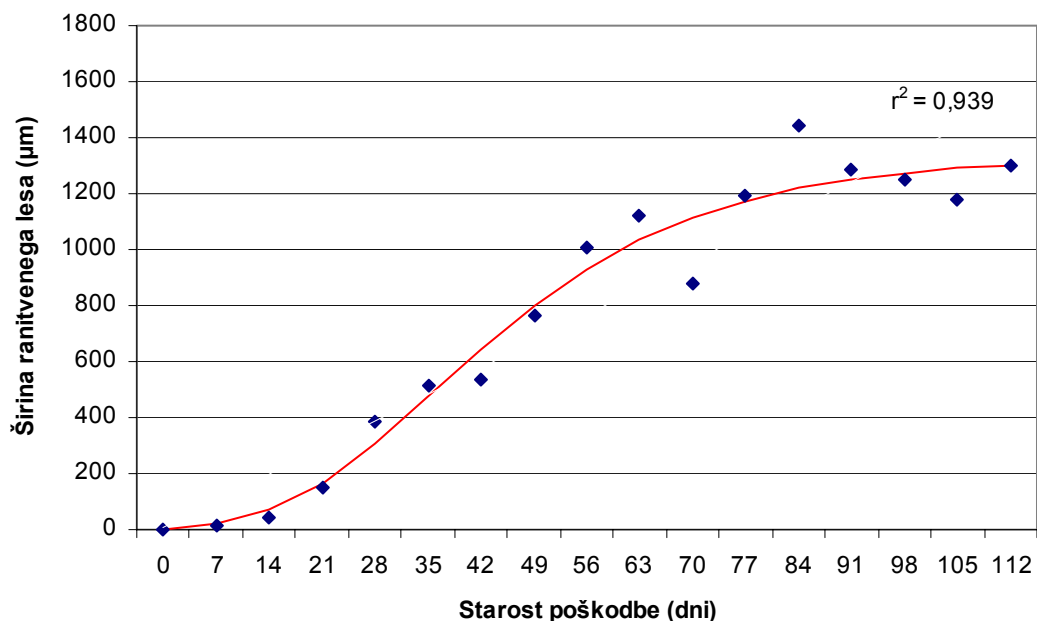
Na sliki 38 vidimo, da je delitvena intenzivnost oziroma aktivnost poškodovanega kambija ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 večja (glej sliko 8) kot na merilnem mestu 2. Največji prirastek ranitvenega lesa za smreko št. 1 je na merilnem mestu 1 in 3, in sicer 1302,6 μm pri starosti poškodbe 112 dni, ter datuma vboda 9.5.2003 medtem, ko je prirastek ranitvenega lesa na merilnem mestu 2 bil največji 1186,8 μm pri enaki starosti 112 dni po vbodu dne 9.5.2003. Povprečna meritev za merilno mesto 1 in 3 je bila 769,3 μm , za merilno mesto 2 pa 565,6 μm .

Iz grafikona (slika 38) sledi, da je dinamika nastajanja ranitvenega lesa pri smreki št. 1 večja na merilnem mestu 1 in 3 kot na merilnem mestu 1 in 2.



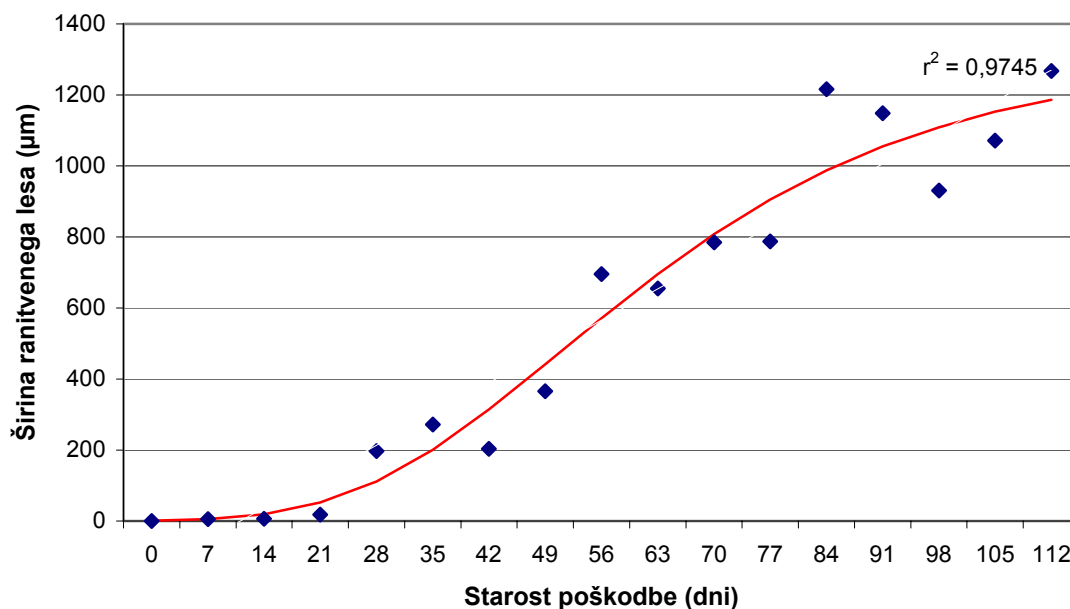
Slika 38: Gompertzova rastna funkcija (5) delitvene aktivnosti poškodovanega kambija na merilnem mestu 1 in 3 (—) in na merilnem mestu 2 (—) (glej tudi sliko 39 in 40).

S slike 39 vidimo, da se v obdobju starosti poškodbe od 0. do 63. dneva izmerjena vrednost zelo dobro ujema z prilagojenimi vrednostmi po Gompertzovi enačbi. Pri starejših poškodbah pa je odstopanje večje.



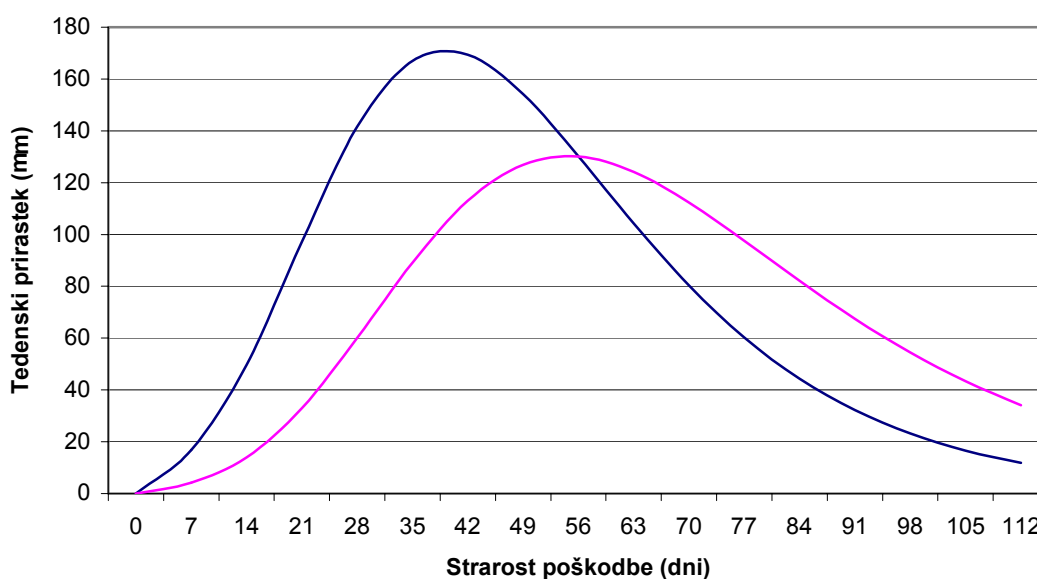
Slika 39: Prikaz debelin ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 (◆) in izračunanih meritev na merilnem mestu 1 in 3 (—). Koeficienti Gompertzove rastne funkcije: $A = 1331,18$, $\beta = 1,7827$, $\kappa = 0,0501$.

Na merilnem mestu 2 pa se izračunane vrednosti zelo dobro ujemajo z izmerjenimi obdobju od 0. do 70. dneva starosti poškodbe. Izmerjene vrednosti pri starejših poškodbah imajo večja odstopanja (slika 40).



Slika 40: Prikaz debelin ranitvenega lesa na merilnem mestu 2 (◆) in izračunanih meritev na merilnem mestu 2 (—). Koeficienti Gompertzove rastne funkcije: $A = 1302,71$, $\beta = 1,9875$, $\kappa = 0,0389$.

Na merilnem mestu 1 in 3 je bil največji prirastek ranitvenega lesa 36. dne (169,32 μm), medtem ko je bil na merilnem mestu 2 največji prirastek 52. dan (130,04 μm). Do 56. dneva je bil tedenski prirastek ranitvenega lesa največji na ranitvenem mestu 1 in 3, medtem ko je bil po 56. dnevu tedenski prirastek večji na merilnem mestu 2. Dan 36 spada v obdobje med 18.7.2003 in 25.7.2003, dan 52 pa spada v obdobje med 4.7.2003 in 11.7.2003 (slika 41).

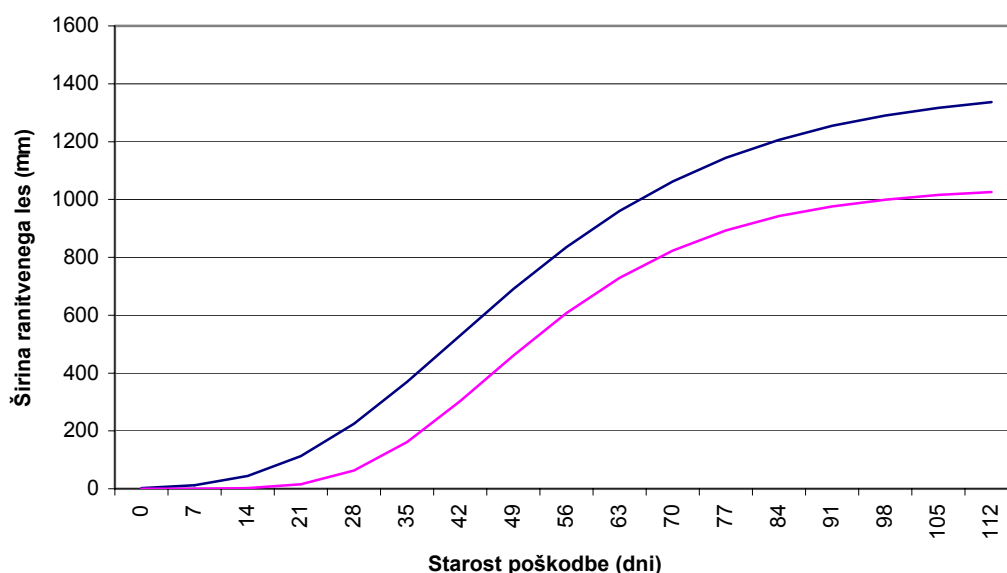


Slika 41: Tedenski prirastek ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 (—) in na merilnem mestu 2 (—).

SMREKA 2:

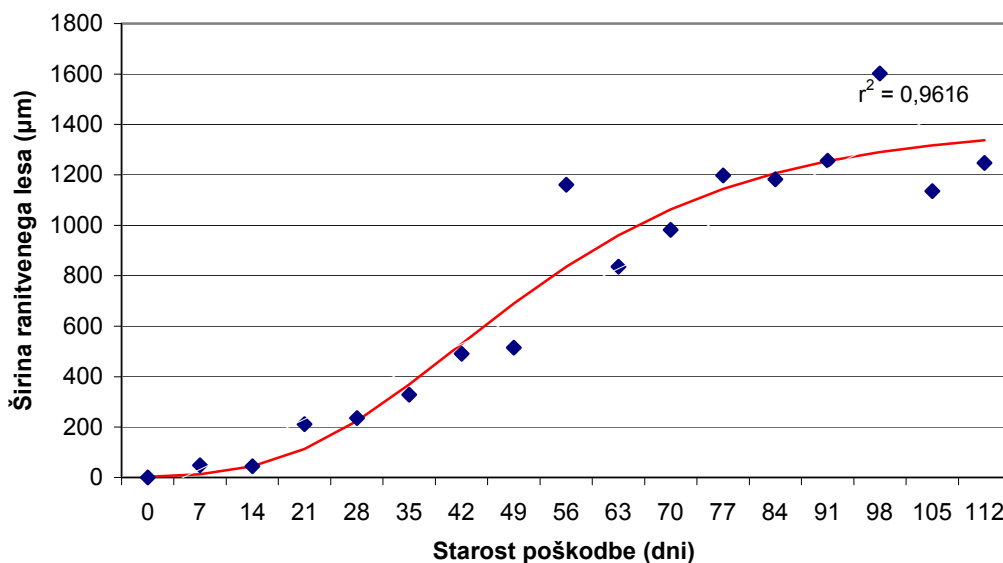
Pri smreki 2 prav tako lahko vidimo iz slike 16, da je delitvena intenzivnost oziroma aktivnost poškodovanega kambija ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 večja (glej sliko 8) kot na merilnem mestu 2. Največji prirastek ranitvenega lesa za smreko 2 je na merilnem mestu 1 in 3, in sicer 1337,034 μm pri starosti poškodbe 112 dni, ter datuma vboda 9.5.2003 medtem, ko je prirastek ranitvenega lesa na merilnem mestu 2 bil največji 1025,952 μm pri enaki starosti 112 dni po vbodu dne 9.5.2003. Povprečna meritev za merilno mesto 1 in 3 je bila 729,041 μm , za merilno mesto 2 pa 530,422 μm .

S spodnjega grafikona (slika 42) lahko vidimo, da je dinamika nastajanja ranitvenega lesa pri smreki 2 večja na merilnem mestu 1 in 3 kot na merilnem mestu 2.



Slika 42: Gompertzova rastna funkcija (5) delitvene aktivnosti poškodovanega kambija na merilnem mestu 1 in 3 (—) in na merilnem mestu 2 (—).

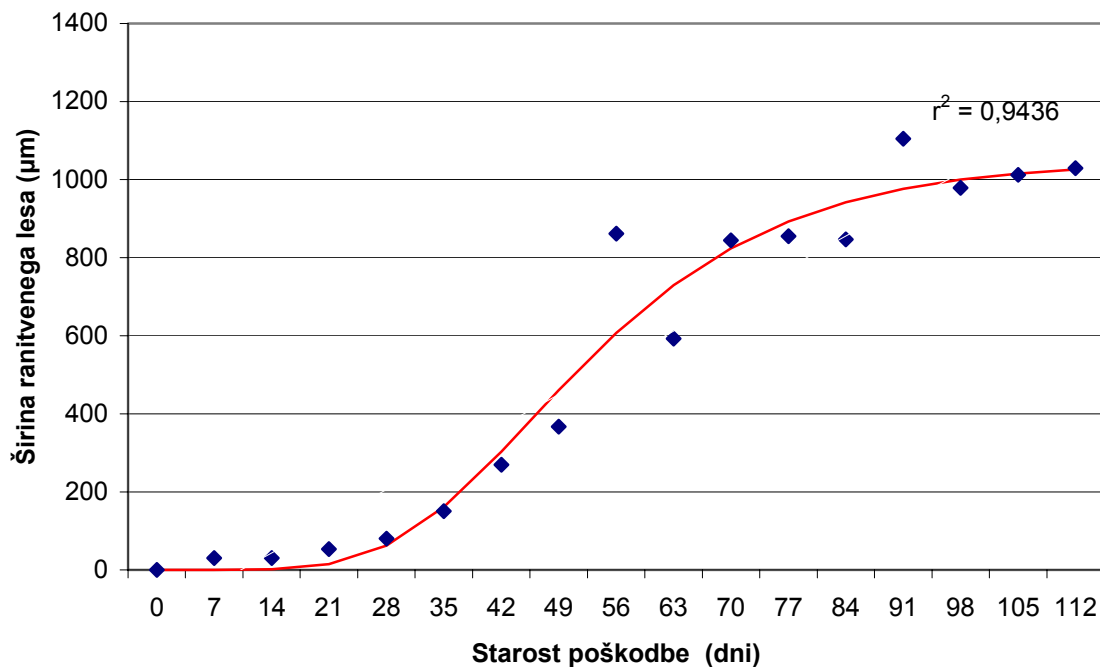
Iz slike 43 vidimo, da se v obdobju starosti poškodbe od 0. do 42. dneva izmerjena vrednost zelo dobro ujema z izračunanimi vrednostmi po Gompertzovi enačbi. Tudi v obdobju starosti poškodbe od 77. do 91. dneva je ujemanje zelo dobro. Pri ostalih podatkih pa je ujemanje slabše.



Slika 43: Prikaz debelin ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 (♦) in izračunanih meritev na merilnem mestu 1 in 3 (—). Koeficienti Gompertzove rastne funkcije: $A = 1391,45$, $\beta = 1,8749$, $\kappa = 0,0455$.

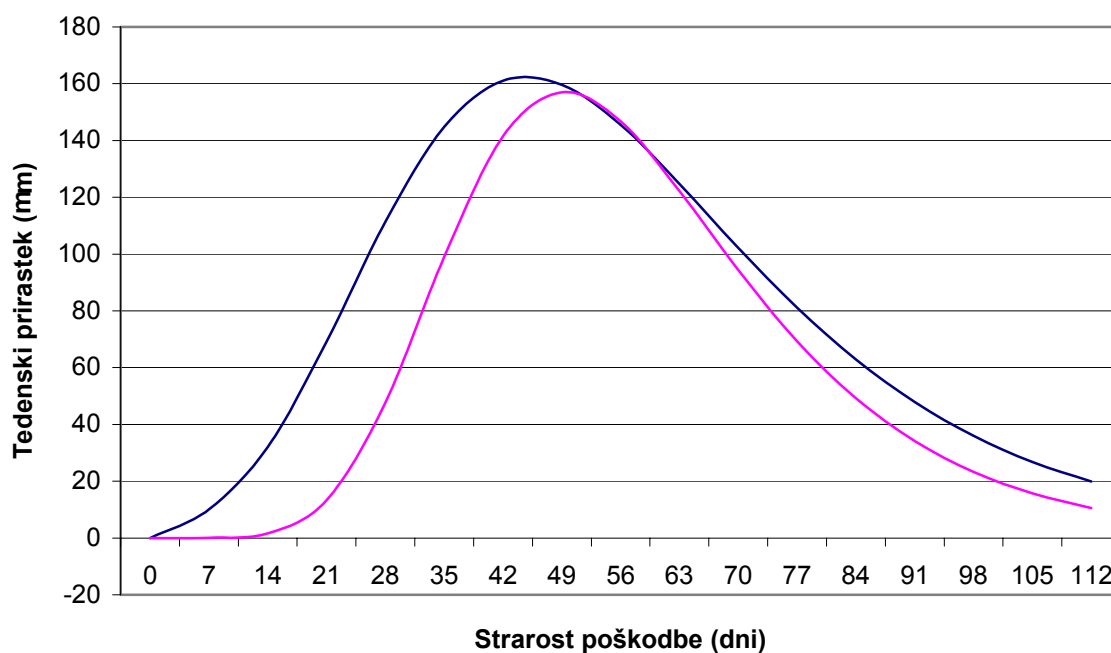
Na merilnem mestu 2 pa se izračunane vrednosti zelo dobro ujemajo z izmerjenimi v obdobju od 0. do 49. dneva, 70. in 77. dan, in v obdobju od 98. do 112. dneva po poškodbi.

Podatki za 56., 63., 84. in 91. dan pa se ujemajo slabše. (slika 44)



Slika 44: Prikaz debelin ranitvenega lesa na merilnem mestu 2 (♦) in izračunanih meritev na merilnem mestu 2 (—). Koeficienti Gompertzove rastne funkcije: $A = 1047,16$, $\beta = 2,6766$, $\kappa = 0,0586$.

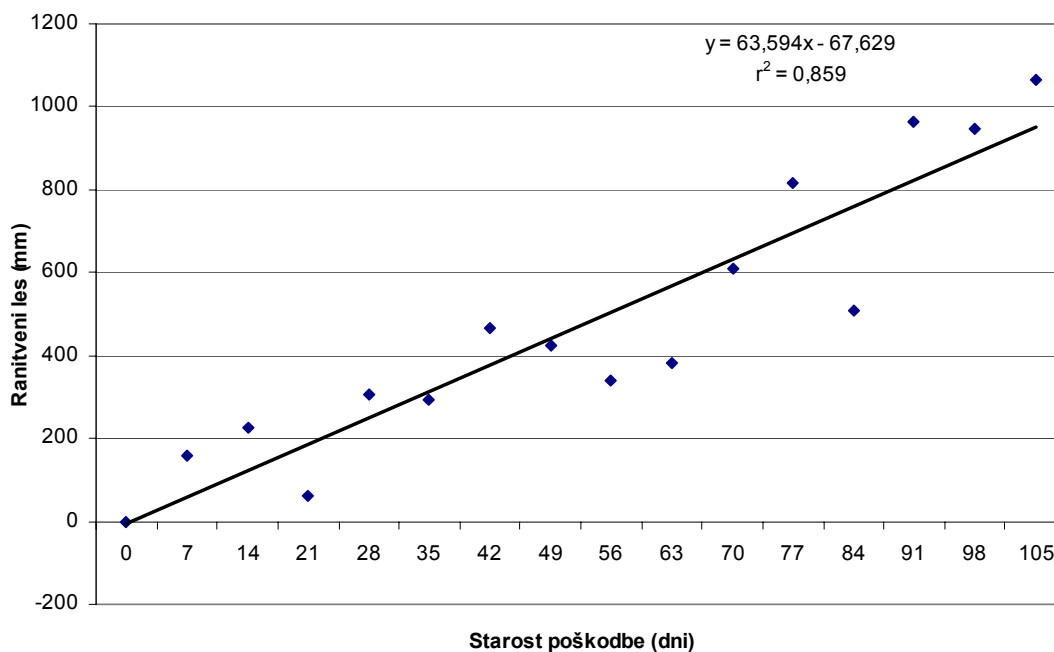
Na merilnem mestu 1 in 3 bil največji tedenski prirastek ranitvenega lesa 42. dan (161,01 μm), medtem ko je bil na merilnem mestu 2 največji tedenski prirastek 46. dan (156,964 μm). Tedenski prirastek pri smreki 2 je bil skozi celotno rastno sezono 2003 večji na merilnem mestu 1 in 3. Dan 42 ustreza dnevu 18.7.2003, 46 dan pa spada v obdobje med 11.7.2003 in 18.7.2003.



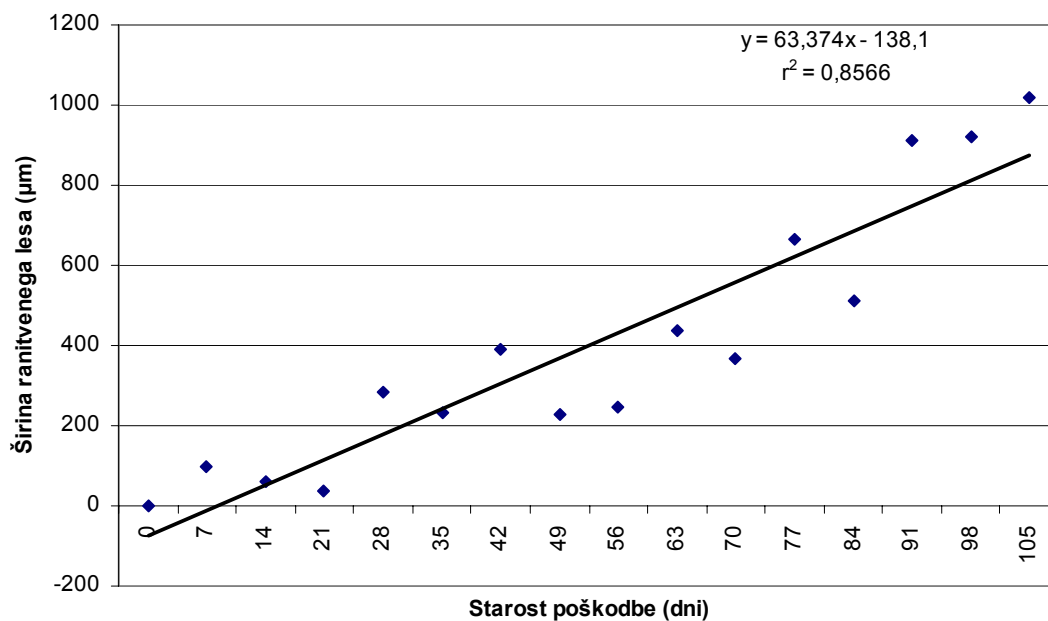
Slika 45: Tedenski prirastek ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 (—) in na merilnem mestu 2 (—).

SMREKA 3:

Izmerjene vrednosti pri drevesu 3 ni bilo mogoče ovrednotiti z Gompertzovo funkcijo, zato so prikazani samo izmerjeni podatki (slika 46 in slika 47). Vendar se lahko iz slik 20 in 21 vidi, da je s starostjo poškodbe ranitvenega lesa več.



Slika 46: Prikaz debelin ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 (♦).

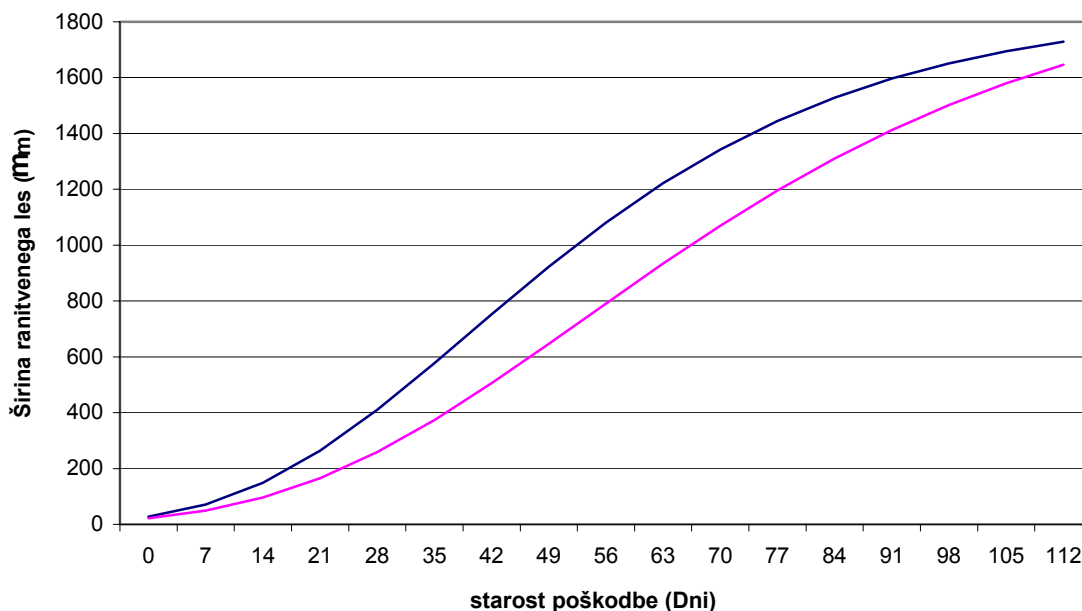


Slika 47: Prikaz debelin ranitvenega lesa na merilnem mestu 2 (♦).

SMREKA 4:

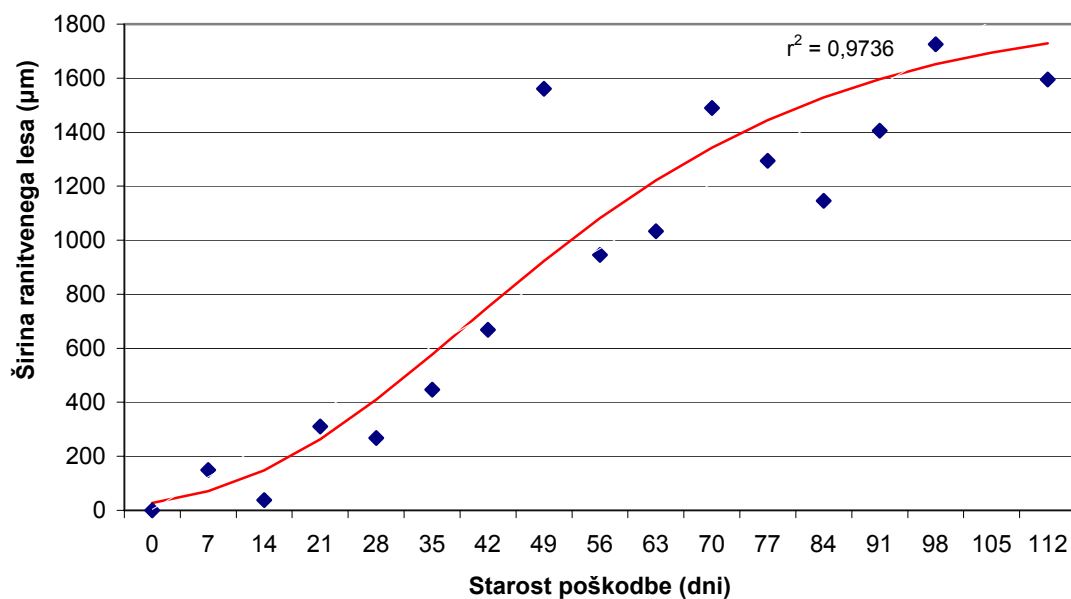
Na sliki 48 vidimo, da je delitvena intenzivnost oziroma aktivnost poškodovanega kambija ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 (glej sliko 8) večja kot na merilnem mestu 2. Največji prirastek ranitvenega lesa za smreko št. 4 je na merilnem mestu 1 in 3, in sicer 1729,4053 μm pri starosti poškodbe 112 dni, ter datuma vboda 9.5.2003, medtem ko je največji prirastek ranitvenega lesa na merilnem mestu 2 znašal 1645,8672 μm pri enaki starosti 112 dni po vbodu dne 9.5.2003. Povprečna meritev za merilno mesto 1 in 3 je znašala 968,525 μm , za merilno mesto 2 pa 797,514 μm .

Iz grafikona (slika 48) sledi, da je dinamika nastajanja ranitvenega lesa pri smreki št. 4 večja na merilnem mestu 1 in 3 kot na merilnem mestu 1 in 2.



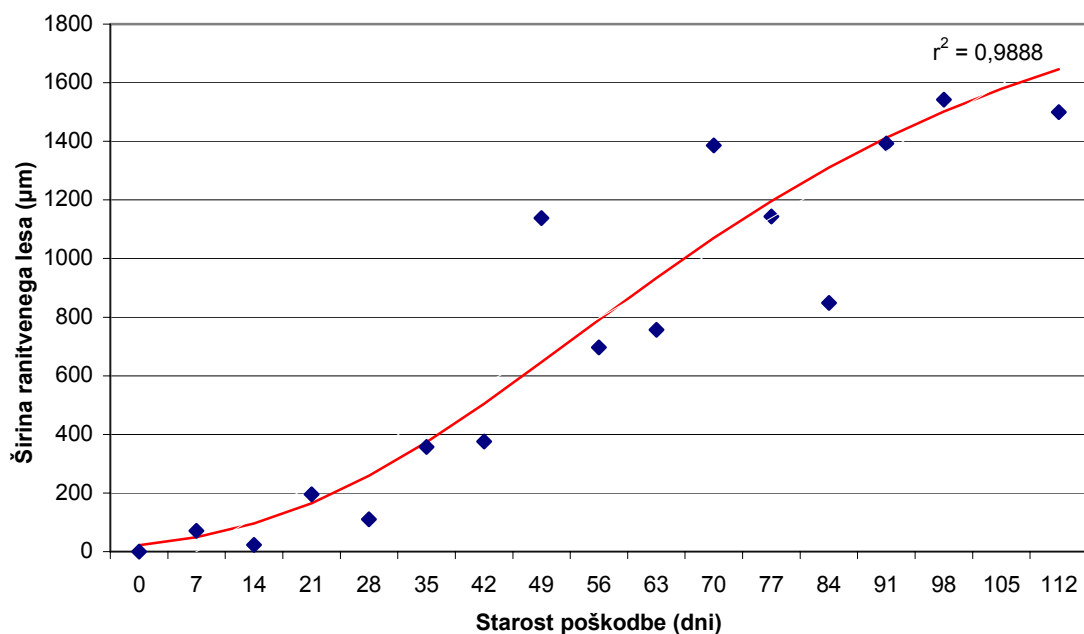
Slika 48: Gompertzova rastna funkcija (5) delitvene aktivnosti poškodovanega kambija na merilnem mestu 1 in 3 (—) in na merilnem mestu 2 (—) (glej sliko 49 in 50).

Iz slike 49 vidimo, da je v primerjavi z ostalimi grafikoni odstopanje izračunanih vrednosti od izmerjenih veliko. Nekje do starosti poškodbe 42 dni je odstopanje podatkov v primerjavi s podatki po 42. dnevu majhno.



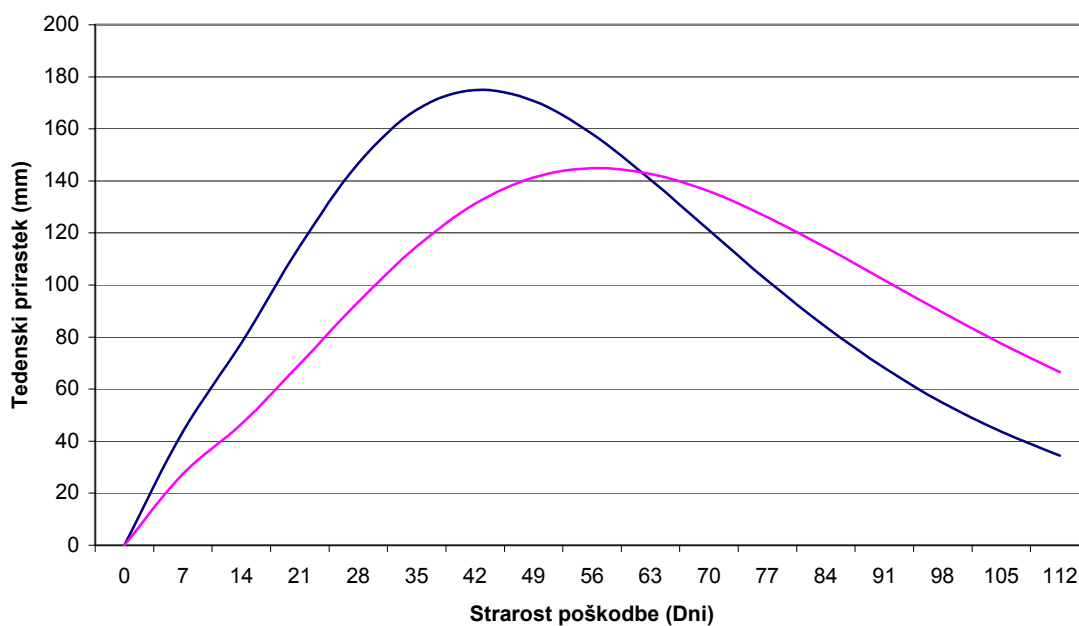
Slika 49: Prikaz debelin ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 (♦) in izračunanih meritev na merilnem mestu 1 in 3 (—). Koeficienti Gompertzove rastne funkcije : $A = 8152,21$, $\beta = 1,4403$, $\kappa = 0,0367$.

Podobno kot na merilnem mestu 1 in 3 je tudi na merilnem mestu 2 odstopanje podatkov veliko. Vendar se pri sedmih podatkih vrednosti zelo dobro ujemajo (7., 21., 35., 56., 77., 91. in 98. dan po poškodbi) (slika 50).



Slika 50: Prikaz debelin ranitvenega lesa na merilnem mestu 2 (♦) in izračunanih meritev na merilnem mestu 2 (—). Koeficienti Gompertzove rastne funkcije : $A = 1985,62$, $\beta = 1,5064$, $\kappa = 0,0283$.

Največji tedenski prirastek ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 je bil 40. dan in je znašal 174,90 μm , medtem ko je bil na merilnem mestu 2 največji prirastek 51. dan (144,90 μm). Do starosti poškodbe 63 dni je bil večji prirastek ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3, po 63. dnevu pa je bil večji tedenski prirastek na merilnem mestu 2. Dan 40 spada v obdobje med 18.7.2003 in 25.7.2003, 51. dan pa spada v obdobje med 4.7.2003 in 11.7.2003 (slika 51).

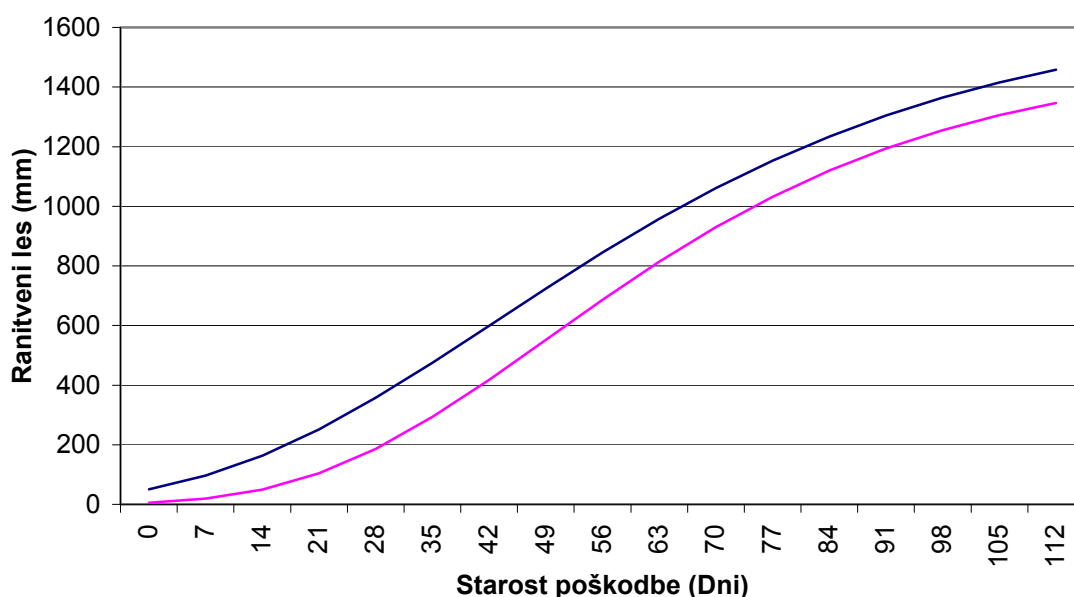


Slika 51: Tedenski prirastek ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 (—) in na merilnem mestu 2 (—).

SMREKA 5:

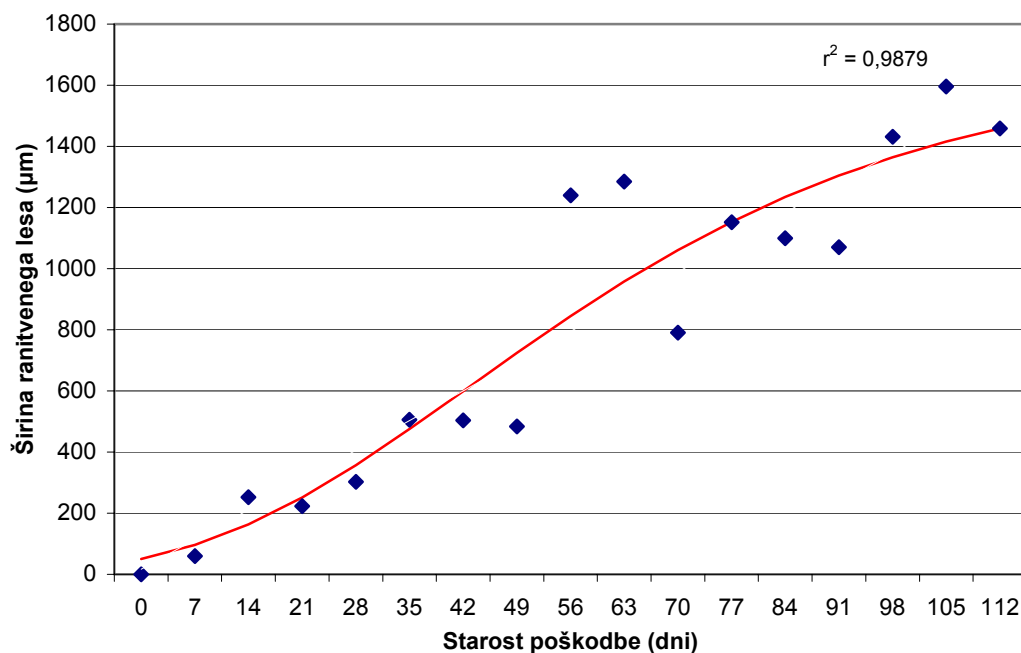
Tudi za smreko št. 5 velja, da je delitvena intenzivnost oziroma aktivnost poškodovanega kambija ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 večja (glej sliko 8) kot na merilnem mestu 2. Največji prirastek ranitvenega lesa za smreko 5 je bil na merilnem mestu 1 in 3, ki je znašal 1458,471 μm pri starosti poškodbe 112 dni ter datumu vboda 9.5.2003, medtem ko je največji prirastek ranitvenega lesa na merilnem mestu 2 znašal 1346,573 μm pri enaki starosti 112 dni po vbodu dne 9.5.2003. Povprečna meritev za merilno mesto 1 in 3 je znašala 794,893 μm , za merilno mesto 2 pa 665,421 μm .

Iz teh rezultatov je razvidno, da je dinamika nastajanja ranitvenega lesa pri smreki 5 večja na merilnem mestu 1 in 3 kot na merilnem mestu 1 in 2 (slika 52).



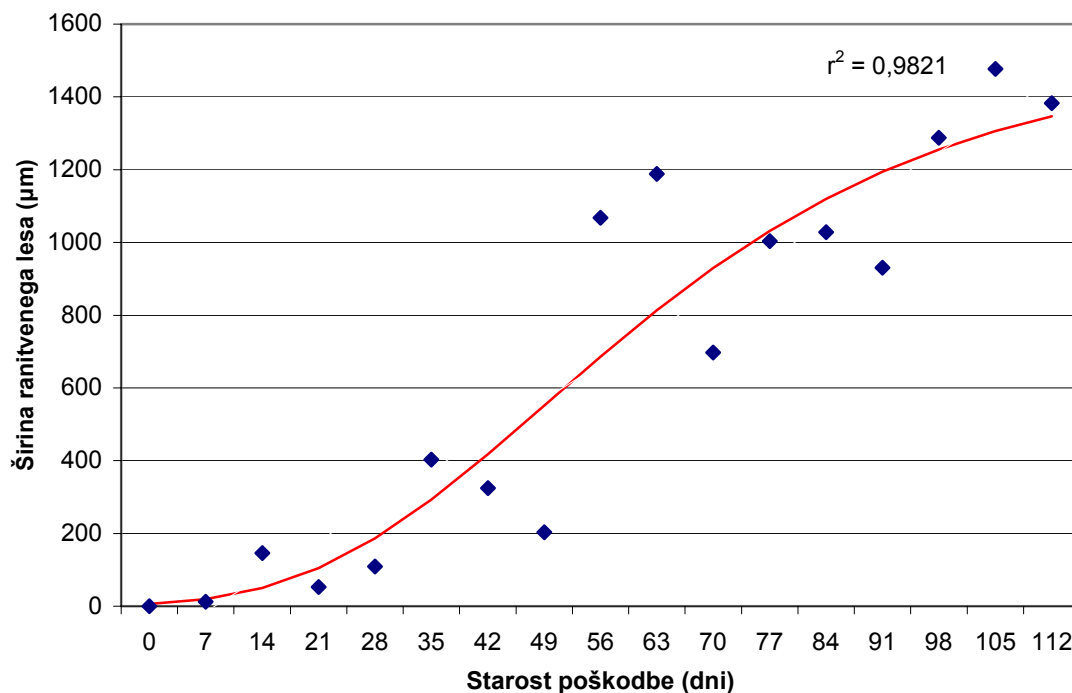
Slika 52: Gompertzova rastna funkcija (5) delitvene aktivnosti poškodovanega kambija na merilnem mestu 1 in 3 (—) in na merilnem mestu 2 (—).

Iz slike 53 vidimo, da je odstopanje izračunanih vrednosti od izmerjenih veliko.



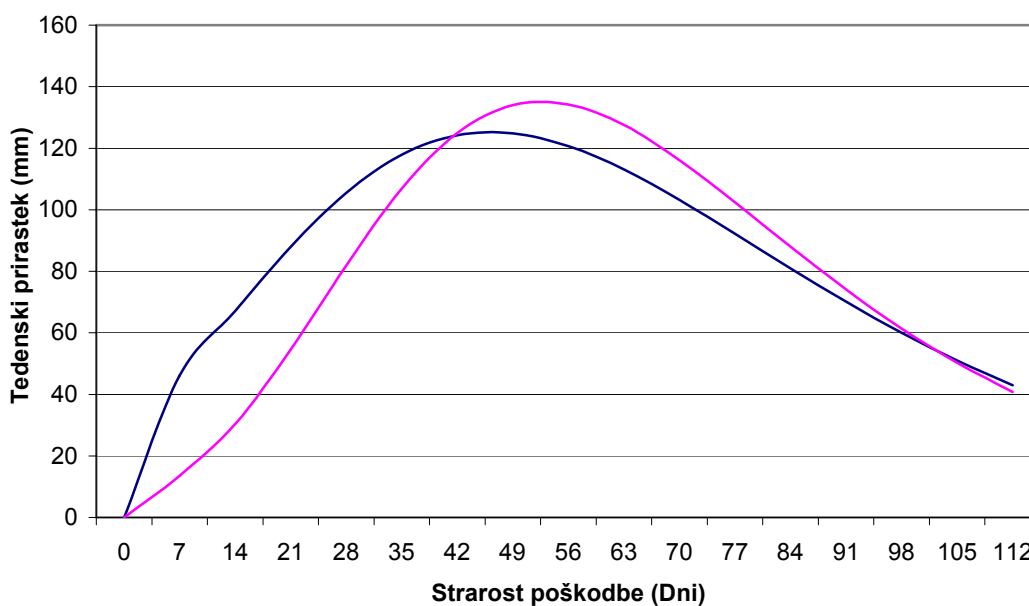
Slika 53: Prikaz debelin ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 (♦) in izračunanih meritev na merilnem mestu 1 in 3 (—). Koeficienti Gompertzove rastne funkcije: $A = 1662,95$, $\beta = 1,2510$, $\kappa = 0,0293$.

Podobno kot na merilnem mestu 1 in 3 je tudi na merilnem mestu 2 odstopanje podatkov veliko (slika 54).



Slika 54: Prikaz debelin ranitvenega lesa na merilnem mestu 2 (♦) in izračunanih meritev na merilnem mestu 2 (—). Koeficienti Gompertzove rastne funkcije: $A = 1504,29$, $\beta = 1,7161$, $\kappa = 0,0349$.

Največji tedenski prirastek ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 je bil 43. dan (174,90 μm), medtem ko je bil na merilnem mestu 2 največji prirastek v 50. dnevu, (144,90 μm). Do starosti poškodbe 42 dni je bil večji prirastek ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3, po 42. dnevu pa je bil večji tedenski prirastek na merilnem mestu 2. Dan 43 spada v obdobje med 11.7.2003 in 18.7.2003, dan 50 pa v obdobje med 4.7.2003 in 11.7.2003 (slika 55).



Slika 55: Tedenski prirastek ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 (—) in na merilnem mestu 2 (—).

5 SKLEPI

Poškodba z iglo je pri vsakem drevesu povzročila nastanek ranitvenega lesa, za katerega je značilen večji prirastek od normalnega lesa. Za ranitveni les pri smreki so značilne tudi krajše traheide, ki imajo debelejšje celične stene in manjše lumne kot traheide normalnega lesa. V ranitvenem lesu nastajajo tudi enoredni in dvoredni trakovi, kjer so parenhimske celice trakov krajše. V kalusu, ki je del ranitvenega lesa, so bili prirste odmrli ostanki kambijevih celic in posamezne celice v postkambialni rasti. Samo v posameznih primerih so bili v kalusu tudi travmatski smolnini kanali.

Začetek delitvene aktivnosti poškodovanega kambija je časovno sovpadal z začetkom redne kambijeve delitvene aktivnosti, ki se je za smreke št. 1, 2 in 5 pričela v obdobju med 16.5.2003 in 23.5.2003, medtem ko se je pri smrekah št. 3 in 4 pričela v obdobju med 9.5.2003 in 16.5.2003 približno 1 teden prej (Zupan 2005).

Delitvena aktivnost poškodovanega kambija je daljša od redne kambijeve delitvene aktivnosti.

Delitvena aktivnost poškodovanega kambija se je po prenehanju redne kambijeve delitve aktivnosti nadaljevala pri smreki številka 3 še približno 4 tedne, končala se je v obdobju med 18.7.2003 in 25.7.2003. Delitvena aktivnost poškodovanega kambija je pri smrekah številka 1, 4 in 5 trajala približno od 22.8.2003 do 29.8.2003, t.j. 3 tedne dlje kot redna kambijeva delitvena aktivnost. Pri smreki številka 2 pa je delitvena aktivnost poškodovanega kambija trajala približno 2 tedna dlje (končala se je v obdobju med 15.7.2003 in 29.7.2003) od redne kambijeve delitvene aktivnosti.

Redna kambijeva delitvena aktivnost je pri smrekah s Poključke trajala v povprečju 11 tednov (Zupan 2005), medtem ko je v povprečju trajala delitvena aktivnost poškodovanega kambija 15 tednov. Delitvena aktivnost poškodovanega kambija je bila v povprečju daljša od redne kambijeve delitvene aktivnosti za 3 tedne.

Z Gompertzovo rastno funkcijo smo opisali nastajanje ranitvenega lesa. Pri drevesu št. 1 je bil na merilnem mestu 1 in 3 največji prirastek ranitvenega lesa 36. dan ($169,32\ \mu\text{m}$), medtem ko je bil na merilnem mestu 2 največji prirastek 52. dan ($130,04\ \mu\text{m}$). Pri drevesu št. 2 je na merilnem mestu 1 in 3 bil največji tedenski prirastek ranitvenega lesa 42. dan ($161,01\ \mu\text{m}$), medtem ko je bil na merilnem mestu 2 največji tedenski prirastek 46. dan ($156,964\ \mu\text{m}$). Pri drevesu št. 3 izmerjenih podatkov ni bilo možno ovrednotiti z Gompertzovo rastno funkcijo. Pri drevesu št. 4 je bil največji prirastek ranitvenega lesa na merilnem mestu 1 in 3 40. dan ($174,90\ \mu\text{m}$), medtem ko je bil na merilnem mestu 2 največji prirastek 63. dan ($144,90\ \mu\text{m}$). Pri drevesu št. 5 je bil na merilnem mestu 1 in 3 največji prirastek ranitvenega lesa 43. dan ($174,90\ \mu\text{m}$), medtem ko je bil na merilnem mestu 2 največji prirastek okrog 50. dne ($144,90\ \mu\text{m}$).

Metoda »pinning« in Gompertzova rastna funkcija sta primerni za študij sezonskega trajanja in sezonske dinamike delitvene aktivnosti poškodovanega kambija ranitvenega lesa pri navadni smreki.

6 POVZETEK

V okviru evropskega projekta PINE (Predicting Impacts on Natural Ecotones, Contact No.: EVK2-CT-2002-00136), ki ga v okviru 5. OP financira Evropska komisija, potekajo raziskave o nastanku lesa pri navadni smreki (*Picea abies* (L.) Karst.) z različnih rastišč v Sloveniji (Pokljuka in Sorško polje) in v Avstriji (Oberdrauburg).

Za označevanje ksilemskega prirastka je bila uporabljena tehnika »pinning«, ki temelji na odzivu kambija in nediferenciranih ksilemskih tkivih na poškodbo z iglo. Z omenjeno metodo je torej mogoče v poljubnih časovnih intervalih ugotoviti dinamiko aktivnosti kambija.

Cilj naloge je bil pri petih smrekah z rastišča na Pokljuki raziskati časovno dinamiko nastajanja ranitvenega lesa v rastni sezoni 2003 in dobljene rezultate primerjati z dinamiko nastajanja »normalnega« lesa.

Na izbranih smrekah (*Picea abies* (L.) Karst.) s Pokljuke so sodelavci iz Katedre za tehnologijo lesa Oddelka za lesarstvo v rastni sezoni 2003 v tedenskih intervalih od 9.5.2003 do 26.9.2003 izvajali eksperiment z iglo premera 1 mm v šestih nivojih. Ko so 24.10.2003 drevesa posekali, so material pripeljali na Oddelek za lesarstvo ter naredili trajne anatomske preparate prečnih prerezov in jih obarvali z barvili safranin in astra modro. V dveh primerih smo naredili tudi tangencialne in radialne prereze. Za preučevanje trajanja in dinamike delitvene aktivnosti poškodovanega kambija smo za mikroskopske preiskave in analizo slike uporabili svetlopoljsko mikroskopiranje, za preračun podatkov pa program Microsoft Excel, za Gompertzovo rastno funkcijo pa Statgraphics Plus 4.0.

Na vseh drevesih je vbod z iglo skozi rastno sezono 2003 povzročil nastanek ranitvenega lesa, izsušitev ksilemskega tkiva, nekrozo kambijevih celic, nediferencirane ksilemske celice, nastanek kalusa in travmatskih smolnih kanalov.

Trajanji redne kambijeve delitvene aktivnosti in delitvene aktivnosti poškodovanega kambija sta bili med seboj različni.

Pri smrekah številko 1, 4 in 5 se je redna kambijeva delitvena aktivnost končala v obdobju med 1.8.2003 in 8.8.2003 (Zupan 2005), delitvena aktivnost poškodovanega kambija pa se je končala v obdobju med 22.8.2003 in 29.8.2003. Pri smreki št. 2 se je redna kambijeva delitvena aktivnost končala v obdobju med 8.8.2003 in 15.8.2003 (Zupan 2005), delitvena aktivnost poškodovanega kambija ranitvenega lesa pa se je končala v obdobju med 22.9.2003 in 29.8.2003. Pri smreki številka 3 se je redna kambijeva delitvena aktivnost končala v obdobju med 18.7.2003 in 25.7.2003 (Zupan 2005), delitvena aktivnost poškodovanega kambija pa v obdobju med 15.8.2003 in 22.8.2003. Delitvena aktivnost poškodovanega kambija po prenehanju redne kambijeve delitve se je nadeljevala pri smreki št. 3 še približno 4 tedne. Pri smreki št. 3 se je redna kambijeva delitvena aktivnost končala 2 do 3 tedne prej kot pri ostalih smrekah (končala se je v obdobju med 18.7.2003 in 25.7.2003). Delitvena aktivnost poškodovanega kambija ranitvenega lesa je pri smrekah št. 1, 4 in 5 trajala približno 3 tedne dlje kot redna kambijeva delitvena aktivnost. Pri smreki številka 2 pa se je delitvena aktivnost poškodovanega kambija ranega lesa trajala približno 2 tedna dlje kot redna kambijeva delitvena aktivnost.

Metoda »pinning« in Gompertzova rastna funkcija sta za študij trajanja in dinamike delitvene aktivnosti poškodovanega kambija pri smreki zelo primerna.

7 VIRI

- Cerovšek I. 1999. Anatomske in histometrične raziskave smolnih žepov pri smrekovini. Višješolsko diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 41 str.
- Kotar M. 2005. Zgradba, rast in donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije, Zavod za gozdove Slovenije: 500 str.
- Lukan D. 2004. Raziskava aktivnosti kambijeve cone in nastajanja ksilemske branike pri navadni smreki s tehniko »pinning«. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 42 str..
- Markočič S. 2002. Razvoj travmatskih smolnih kanalov pri jelki in smreki po ranitvah kambija v različnih letnih časih. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 54 str.
- Mulej M. 2002. Kompartimentalizacija pri črni jelši. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 47 str.
- Oven P. 1999. Odziv drevesnih tkiv na poškodbe in infekcijo, 2. Kambijeva cona. Ljubljana, Zbornik gozdarstva in lesarstva, 58, 1999: 189 –217
- Oven P. 2001. Mehanske poškodbe drevja. *Proteus*, 63, 8: 366-370
- Oven P. 1997. . Odziv sekundarnega floema in ksilema ter kambija na mehanske poškodbe bele jelke (*Abies alba* Mill.), navadne smreke (*Picea abies* Karst.), rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.) in evropskega macesna (*Larix decidua* Mill.). Dokt. Disertacija, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 167 str.

- Oven P., Gričar J., Zupančič M., Levanič T., Straže A., Demšar B. 2004. Relevant anatomical markers for research of wood formation in Norway spruce with pinning technique. V abstracts : Eurodendro, Rendsburg:36 - 36.
- Rossi S., Deslauriers A., Morin H. 2003. Application of the Gompertz equation for the study of xylem cell development. *Dendrochronologia*, 21,1: str. 33-39
- Zupan B. 2005. Nastanek ksilemske branike pri smrekah na Pokljuki v letu 2003. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 51 str.

ZAHVALE

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Primožu Ovnu za prevzem mentorstva, usmerjanje in strokovno pomoč pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se recenzentu doc. dr. Tomislavu Levaniču za pregled in predloge izboljšav diplomske naloge.

Zahvaljujem se strokovnemu sodelavcu Martinu Zupančiču, uni. dipl. ing. les. za opravljeno delo na terenu, obdelavo in pripravo trajnih preparatov, ter pomoč in motivacijo pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi vsem tistim, ki so kakor koli pomagali oziroma pripomogli pri izdelavi anatomskih preparatov.

Iskreno in posebno se zahvaljujem:

Jožici, Leni, in Maksu, ki so mi pomagali pri izdelavi diplomske naloge, me usmerjali, kritizirali in dajali dragocene predloge.

Jeleni Mikloš in Željku Miklošu za pomoč pri prevajanju angleških člankov in lektoriranje.

Nini za podporo, pomoč in motivacijo pri študiju ter pri izdelavi diplomske naloge... in za potrpežljivost... in hvala ti, ker sem lahko ob tebi pozabil na obveznosti...

Hvala tudi vsem, ki so na kakršen koli način pomagali pri izdelavi diplomskega dela oziroma so jo omogočili izdelati, a niso omenjeni.

PRILOGE

Priloga A: Preglednica meritev dreves

Meritve od 1c1 do 1c17										IZBRACUNAN PO G-MODELU (Z Gompertz-ovo funkcijo)					IZBRACUNAN PO G-MODELU (Z Gompertz-ovo funkcijo)	
Preparat	Datum	Starost poskodnje	Prva meritev (1)	Tretja meritev (3)	Povprečje prve in tretje meritve ((1+3)/2)		Druge meritve (2)		Meritev Zupan B. (2005)	A	B	G - model za ranitveni les 1 (za prirastek ranitvenega lesa 1)		G - model za ranitveni les 2 (za prirastek ranitvenega lesa 2)	Tedenski prirastek 1 (za povprečje 1. in 3. meritve)	Tedenski prirastek (za 2. meritev)
1c17	29.8.2003	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1160,65	0,00	0,00	3,484	0,88263	0,00	0,00	0,00
1c16	22.8.2003	7	1514,7	1520,98	1517,64	1511,77	1506,75	1506,75	1506,75	10,89	5,02	20,238	5,03320	16,75	16,75	4,15
1c15	15.8.2003	14	1365,88	1423,54	1389,71	1360,35	1344,08	1344,08	1344,08	45,63	6,27	69,947	18,94653	49,61	49,61	13,91
1c14	8.8.2003	21	1064,7	1000,02	1032,36	897,1	879,07	879,07	879,07	153,29	18,03	167,084	51,98406	97,24	97,24	33,04
1c13	1.8.2003	28	1676,47	1679,47	1677,97	1491,64	1294,28	1294,28	1294,28	363,69	197,36	308,771	112,10709	141,69	141,69	60,12
1c12	25.7.2003	35	1917,65	1929,42	1923,54	1682,36	1410,37	1410,37	1410,37	513,17	272,00	475,794	201,26490	167,02	167,02	89,16
1c11	18.7.2003	42	1708,88	1573,69	1641,24	1311,76	1108,24	1108,24	1108,24	533,00	203,63	645,112	314,24793	169,32	169,32	112,98
1c10	11.7.2003	49	1555,88	1382,35	1469,12	1073,63	708,05	708,05	708,05	761,07	365,49	799,333	441,17537	154,22	154,22	126,93
1c9	4.7.2003	56	2041,18	1929,69	1985,39	1673,65	978,44	978,44	978,44	1006,95	695,21	929,552	571,21360	130,22	130,22	130,04
1c8	27.6.2003	63	2091,19	2029,41	2060,30	1591,18	935,95	935,95	935,95	1124,35	665,23	1033,771	685,37743	104,22	104,22	124,16
1c7	20.6.2003	70	1544,12	1576,46	1560,30	1467,65	682,61	682,61	682,61	877,89	795,04	1114,085	807,72396	80,31	80,31	112,35
1c6	13.6.2003	77	1552,94	1673,54	1613,24	1208,82	421,17	421,17	421,17	1192,08	787,86	1174,350	905,28011	60,26	60,26	97,57
1c5	6.6.2003	84	1958,82	1655,88	1807,35	1579,48	363,45	363,45	363,45	1443,90	1216,03	1218,727	987,40913	44,38	44,38	82,12
1c4	30.5.2003	91	1405,88	1420,69	1413,24	1273,68	124,49	124,49	124,49	1288,75	1149,10	1250,975	1054,88671	32,25	32,25	67,49
1c3	23.5.2003	98	1285,29	1255,88	1270,59	950	19,54	19,54	19,54	1251,05	930,46	1274,191	1109,38012	23,22	23,22	54,46
1c2	16.5.2003	105	1250	1111,78	1180,89	1070,76	0,00	0,00	0,00	1180,89	1070,76	1290,796	1152,70766	16,60	16,60	43,35
1c1	9.5.2003	112	1388,24	1255,88	1297,06	1267,64	0,00	0,00	0,00	1297,06	1267,64	1302,616	1186,84623	11,82	11,82	34,14
										Povprečje meritev						
										A		789,337				
										B		1331,18				
										k		0,0801206				

Meritev od 2c1 do 2c17

IZRAČUNAN PO G-MODELU (Z Gompertz-ovo funkcijo)													
Prejara Datum	Starost poskudbe	Prva meritev (1):	Trečja meritev (3):	Povprečje prve in tretje meritve ((1+3)/2):		Druga meritev (2):	Meritev Zupan B. (2005) SL	A	B	IZRAČUNAN PO G-MODELU (Z Gompertz-ovo funkcijo)			
				Prirastek ranitvenega lesa 1:	Prirastek ranitvenega lesa 2:			G - model za ranitveni les 1 (za prirastek ranitvenega lesa 1)	G - model za ranitveni les 2 (za prirastek ranitvenega lesa 2)	Teden prirastek 1 (za povprečje 1. in 3. meritev)	Teden prirastek 2 (za 2. meritev)		
2c17 29.8.2003	0	0	0	0,00	0,00	0,00	1478,54	0,00	0,00	2,060	0,001	0	0
2c16 22.8.2003	7	2064,7	2064,71	2064,71	2047,07	2017,01	47,69	30,06	30,06	12,139	0,068	10,09	0,067
2c15 15.8.2003	14	1867,64	1888,23	1877,94	1864,71	1834,04	43,90	30,67	30,67	44,250	1,745	32,11	1,677
2c14 8.8.2003	21	1441,19	1468,28	1464,74	1305,88	1252,51	212,23	53,38	53,38	113,349	15,026	69,10	13,281
2c13 1.8.2003	28	1761,77	1667,81	1714,79	1558,82	1478,61	236,18	80,21	80,21	224,643	62,886	111,29	47,670
2c12 25.7.2003	35	2285,3	2205,88	2245,59	2067,66	1917,17	328,43	150,50	150,50	389,428	161,740	144,79	99,044
2c11 18.7.2003	42	1885,35	1955,9	1920,63	1700,02	1430,23	490,40	269,80	269,80	530,440	303,291	161,01	141,551
2c10 11.7.2003	49	1726,48	1605,88	1666,18	1519,11	1151,64	514,54	367,47	367,47	680,060	460,255	159,62	155,964
2c9 4.7.2003	56	1641,2	1688,27	1664,74	1364,96	903,50	1161,24	861,37	861,37	835,548	606,970	145,49	146,715
2c8 27.6.2003	63	1767,67	1758,83	1763,25	1520,6	927,73	835,52	592,87	592,87	960,266	729,269	124,72	122,289
2c7 20.6.2003	70	1673,53	1811,77	1742,65	1605,88	761,45	981,20	844,43	844,43	1062,504	823,711	102,24	94,442
2c6 13.6.2003	77	1811,77	1767,65	1789,71	1447,07	592,06	1197,66	855,02	855,02	1143,625	893,019	81,12	69,308
2c5 6.6.2003	84	1564,7	1468,82	1511,76	1176,47	329,35	1182,41	847,12	847,12	1206,481	942,187	62,86	49,167
2c4 30.5.2003	91	1447,06	1420,59	1433,83	1282,35	177,71	1256,12	1104,64	1104,64	1254,349	976,289	47,87	34,103
2c3 23.5.2003	98	1767,64	1638,23	1702,94	1079,41	100,82	1602,12	978,59	978,59	1290,349	999,592	36,00	23,302
2c2 16.5.2003	105	1136,27	1132,37	1135,32	1011,92	0,00	1135,32	1011,92	1011,92	1317,176	1015,366	26,83	15,765
2c1 9.5.2003	112	1297,06	1197,06	1247,06	1029,41	0,00	1247,06	1029,41	1029,41	1337,034	1025,952	19,86	10,586
								Povprečje meritev					
								A					
								B					
								k					

Meritev od 3c1 do 3c16

Povprečje prve in tretje meritve										IZRAČUNAN PO G-MODELU (Z Gompertz-ovo funkcijo)			
Starost poškodbe	Prva meritev (1):	Treča meritev (3):	Druge meritve (2):		Meritev Lupan B. (2009)	A		B	IZRAČUNAN PO G-MODELU (Z Gompertz-ovo funkcijo)		Telenski prirastek 1 (za povprečje 1. in 3. meritve)	Telenski prirastek 2 (za 2. meritev)	
			Prirastek ranitvenega lesa 1:	Prirastek ranitvenega lesa 2:		G - model za ranitveni les 1 (za prirastek ranitvenega lesa 1)	G - model za ranitveni les 2 (za prirastek ranitvenega lesa 2)						
3c16 22.8.2003	0	0	0,00	0,00	260,89	0,00	0,00	0,00	1,3729	5,8995	0,00	0,00	
3c15 15.8.2003	394,39	347,17	370,78	310,46	214,04	156,75	96,43	2,8378	2,8378	49,1786	1,46	43,48	
3c14 8.8.2003	588,85	464,7	511,78	350,11	287,35	224,43	62,77	5,4549	5,4549	181,8127	2,62	132,83	
3c13 1.8.2003	523,53	450	486,77	461,78	425,12	61,65	36,66	9,8225	9,8225	401,9272	4,37	220,11	
3c12 25.7.2003	623,58	597,06	610,31	588,23	304,58	305,74	283,66	16,6772	16,6772	660,3920	6,85	248,46	
3c11 18.7.2003	497,07	547,09	522,08	488,84	228,12	293,97	230,73	26,8559	26,8559	870,9552	10,18	220,56	
3c10 11.7.2003	617,65	588,3	602,98	529,42	136,73	466,25	392,70	41,2355	41,2355	1039,7765	14,38	168,82	
3c9 4.7.2003	820,59	723,53	772,06	576,48	347,10	424,96	229,38	60,6577	60,6577	1157,7727	19,42	118,00	
3c8 27.6.2003	564,71	502,95	533,83	441,17	195,92	337,92	245,26	86,8609	86,8609	1235,7961	25,19	78,02	
3c7 20.6.2003	523,53	561,96	542,75	600,01	161,14	381,61	438,87	117,3606	117,3606	1285,6750	31,51	49,88	
3c6 13.6.2003	685,29	688,24	686,77	441,18	75,06	611,71	366,12	155,4986	155,4986	1316,9134	38,14	31,24	
3c5 6.6.2003	970,63	873,53	922,08	770,59	104,46	817,62	686,13	200,3153	200,3153	1336,2351	44,82	19,32	
3c4 30.5.2003	576,47	594,18	585,33	588,23	78,72	506,61	509,51	251,5977	251,5977	1346,0958	51,28	11,86	
3c3 23.5.2003	1029,41	964,71	997,06	947,1	34,23	962,83	912,87	308,8894	308,8894	1355,3431	57,29	7,25	
3c2 16.5.2003	952,94	944,12	948,53	920,59	0,00	948,53	920,59	371,5289	371,5289	1359,7591	62,64	4,42	
3c1 9.5.2003	1035,31	1097,07	1066,19	1017,86	0,00	1066,19	1017,86	438,8981	438,8981	1362,4454	67,17	2,89	
						Povprečje meritev		879,889264					
						A		1366,6					
						B		1,70105					
						k		0,07138480					

Meritev od 4c1 do 4c17

IZRAČUNAN PO G-MODELU (z Gompertz-ovo funkcijo)											
Preparat	Datum	Starost poškodbe	Poprečje prve in tretje meritve			Meritev Zupan B. (2005)	IZRAČUNAN PO G-MODELU (z Gompertz-ovo funkcijo)		Tedenski prirastek 1 (za poprečje 1. in 3. meritev)	Tedenski prirastek 2 (za 2. meritev)	
			Prva meritev (1):	Tretja meritev (3):	Druga meritev (2):		Prirastek ranitvenega lesa 1: (za prirastek ranitvenega lesa 1)	Prirastek ranitvenega lesa 2: (za prirastek ranitvenega lesa 2)			
4c17	29.8.2003	0	0	0	0,00	1594,40	0,00	0,00	27,16701904	21,92867	0,00
4c16	22.8.2003	7	1958,84	2003,07	1980,96	1821,98	148,98	70,97	70,8425	49,2066	43,68
4c15	15.8.2003	14	2144,5	2047,19	2095,85	2057,38	38,47	22,41	148,6118	95,8153	77,77
4c14	8.8.2003	21	2220,59	2038,23	2129,41	1818,88	310,53	195,88	263,4943	165,4583	114,88
4c13	1.8.2003	28	1988,24	1855,89	1922,07	1764,71	1653,96	110,75	410,2307	258,9311	146,74
4c12	25.7.2003	35	2055,89	2205,89	2130,89	2041,6	1684,65	356,96	577,6188	373,7900	167,39
4c11	18.7.2003	42	2255,88	2341,32	2298,61	2005,88	1630,14	375,75	752,5203	505,0521	174,90
4c10	11.7.2003	49	2094,11	2297,15	2195,63	1773,53	635,26	1560,37	923,2454	646,3804	170,73
4c9	4.7.2003	56	2111,76	2138,23	2125,00	1876,47	1179,72	945,28	1081,3297	791,2783	158,08
4c8	27.6.2003	63	2414,71	2285,3	2350,01	2073,46	1316,44	1033,57	1221,8476	933,9841	140,52
4c7	20.6.2003	70	1958,85	1988,31	1973,58	1870,62	484,09	1489,49	1342,8615	1089,9710	121,01
4c6	13.6.2003	77	1920,68	1952,94	1936,76	1785,29	642,25	1294,52	1444,5576	1196,0949	101,70
4c5	6.6.2003	84	2244,11	2097,05	2170,58	1873,53	1024,86	1145,72	1528,4168	1310,5021	83,86
4c4	30.5.2003	91	1991,17	1935,29	1963,23	1950	557,70	1405,53	1596,5591	1412,4077	68,14
4c3	23.5.2003	98	1864,72	1867,64	1866,18	1682,35	140,57	1725,61	1651,3083	1501,8315	54,75
4c2	16.5.2003	105	2164,71	2029,41	2097,06	1941,17	0,00	2097,06	1694,9123	1579,3467	43,60
4c1	9.5.2003	112	1532,35	1668,82	1595,69	1500	0,00	1595,69	1729,4053	1645,8672	34,49
							Poprečje meritev				
							A			1985,62	
							B			1,50642	
							k			0,02638880	

Meritev od 5c1 do 5c17										IZRAČUNAN PO G-MODELU (Z Gompertz-ovo funkcijo)			
Preparat	Datum	Starost poskodbe	Prva meritev (1)	Treča meritev (3)	Povprečje prve in treče meritve (1+3)/2		Druga meritev (2)		Meritev Zupan B. (2005)	A	B	IZRAČUNAN PO G-MODELU (Z Gompertz-ovo funkcijo)	
									SL	Prirastek ranitvenega lesa 1: ranitvenega lesa 2	Prirastek ranitvenega lesa 2: ranitvenega lesa 2	G - model za ranitveni les 1 (za prirastek ranitvenega lesa 1)	G - model za ranitveni les 2 (za prirastek ranitvenega lesa 2)
5c17	29.8.2003	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	634,53	0,00	0,00	50,515	5,771
5c16	22.8.2003	7	1252,95	1276,47	1264,71	1264,71	1216,64	1204,72	1204,72	59,99	11,92	96,571	19,313
5c15	15.8.2003	14	1402,95	1373,54	1388,25	1388,25	1282,35	1136,08	1136,08	252,17	146,27	163,711	49,721
5c14	8.8.2003	21	861,77	867,65	864,71	864,71	694,12	641,23	641,23	223,49	52,90	251,650	104,247
5c13	1.8.2003	28	1591,24	1608,86	1600,05	1600,05	1405,91	1297,14	1297,14	302,91	108,77	357,181	186,112
5c12	25.7.2003	35	1335,29	1259,94	1297,12	1297,12	1194,17	791,57	791,57	505,55	402,61	475,086	292,975
5c11	18.7.2003	42	1426,52	1344,11	1385,32	1385,32	1205,97	881,35	881,35	503,97	324,62	599,351	417,927
5c10	11.7.2003	49	1061,78	1173,54	1117,66	1117,66	886,76	633,52	633,52	464,14	203,24	724,229	551,917
5c9	4.7.2003	56	1782,35	1767,67	1775,01	1775,01	1602,94	535,25	535,25	1239,76	1087,69	844,942	686,158
5c8	27.6.2003	63	1811,76	1676,49	1744,13	1744,13	1647,07	459,16	459,16	1284,97	1187,92	957,991	813,864
5c7	20.6.2003	70	1402,94	1405,91	1404,43	1404,43	1311,76	614,11	614,11	790,32	687,66	1061,162	929,808
5c6	13.6.2003	77	1514,77	1588,23	1551,50	1551,50	1402,95	399,60	399,60	1151,90	1003,35	1153,368	1032,191
5c5	6.6.2003	84	1468,87	1400	1429,44	1429,44	1358,83	330,39	330,39	1089,05	1028,44	1234,344	1120,149
5c4	30.5.2003	91	1544,11	1611,8	1577,96	1577,96	1438,23	507,98	507,98	1069,98	930,25	1304,495	1194,209
5c3	23.5.2003	98	1567,64	1532,36	1550,00	1550,00	1405,88	118,19	118,19	1431,81	1287,69	1364,572	1255,590
5c2	16.5.2003	105	1600,02	1591,17	1595,60	1595,60	1476,47	0,00	0,00	1595,60	1476,47	1415,547	1305,837
5c1	9.5.2003	112	1435,29	1462,38	1458,64	1458,64	1382,35	0,00	0,00	1468,84	1382,35	1458,471	1346,573
										Povprečje meritev:		794,983	665,421
										A		1662,95	1504,29
										B		1,25107	1,71618
										k		0,03939420	0,03949860