

GDK 852.1 + 852.16 : 176.1 *Fagus sylvatica*

NEKATERE SPREMEMBE V LESU ZARADI MEHANSKIH POŠKODB BUKVE (*Fagus sylvatica* L.)

Bojana KRIŽAJ^{*}

Izvleček

Proučevali smo reakcije v lesu na globinske in površinske poškodbe. Na površini plitvih ran je nastal zaščitni les, ki je učinkovito zavrl nadaljnje hitro izsuševanje in aeracijo tkiva. Posledice globinskih poškodb so bile v primerjavi s površinskimi bistveno večje.

Ključne besede: poškodba lesa, površinska poškodba, globinska poškodba, reakcija v lesu, zaščitni les, diskoloracija, Fagus sylvatica

SOME CHANGES IN WOOD DUE TO MECHANICAL WOUNDS IN BEECH (*FAGUS SYLVATICA* L.)

Abstract

Reactions in wood after deep and shallow wounding were investigated. After the shallow wounding on the exposed surface a highly effective protection wood was formed which effectively prevented further rapid tissue dehydration and aeration. The consequences of the deep wounds were much grater than those of the shallow ones.

Key words: wood and cambium response to wounding, shallow and deep wounds, protection wood, discolouration, Fagus sylvatica

^{*}

Mag. dipl. biol., Oddelek za lesarstvo Biotehniške fakultete, 61000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34,
SLO

KAZALO

1	UVOD.....	147
2	MATERIAL IN METODE.....	149
3	REZULTATI IN DISKUSIJA.....	151
4	POVZETEK.....	159
5	SUMMARY	160
6	VIRI	160

1 UVOD

Dolgoživost dreves zahteva poleg prilagajanja na spremenljive ekološke pogoje tudi uspešno premagovanje drugih vrst sprememb, kot so npr. mehanske poškodbe. Zaradi močnejše mehanizacije in gozdnogojitvenih posegov stopnja mehanskih poškodb drevja narašča, kar pomeni hkrati tudi zmanjšanje kakovosti lesa. Za uspešno sanacijo poškodb je zlasti potrebno raziskati in razumeti naravne obrambne mehanizme dreves, ki jim omogočajo preživetje in relativno dolgo življenje. Omejevanje vpliva poškodb z vzpodbujanjem naravnih zaščitnih mehanizmov bi hkrati predstavljalo tudi minimalen poseg v naravo.

Shemo procesov diskoloracij in razkroja, ki sledijo poškodbi drevesa, sta skušala pojasniti ameriška raziskovalca SHIGO in MARX (1977) z modelnim konceptom CODIT (= Compartmentalization Of Decay In Living Trees). V modelu sta podala tudi hipotetično razlago, kako naj bi se drevo uprlo vplivom mehanskih poškodb. Za razliko od živali drevesa poškodovanega tkiva ne regenerirajo, pač pa ga omejijo ali kompartmentalizirajo od zdravega, nepoškodovanega tkiva. Model CODIT, ki izhaja iz tega spoznanja, temelji na t.i. "stenah", ki naj bi zaradi specifičnih lastnosti bolj ali manj uspešno omejevale učinke poškodb. "Stena 2" (plasti gostejšega kasnega lesa v prirastnih plasteh) in "stena 3" (radialno usmerjeno trakovno tkivo) sta strukturni sestavini lesa in obstajata že v intaktnem drevesu. "Stena 1" (nastane z okluzijo osnih elementov in omejuje širjenje učinkov poškodbe v smeri drevesne osi) in "stena 4" ali barierna cona (diferenciacijska sestavina, ki jo tvori kambij po poškodbi) pa nastaneta po ranitvi. Obrambni proces naj bi se domnevno sprožil kot odziv na vdor mikroorganizmov v zdrava tkiva po poškodovanju.

V zadnjem času je modelni koncept CODIT izpostavljen kritiki. Tako po LIESEJU in DUJESIEFKENU (1988) nastanek zaščitnih sten, predvsem "stene 4" ali barierne cone verjetno ni primarno posledica okužbe, kot predvideva model CODIT, pač pa je posledica vdora zraka skozi poškodbo in izsuševanja tkiva. Vsaka poškodba pomeni torej najprej disfunkcijo tkiva in šele v naslednji

fazi okužbo ter razgradnjo. Tako naj bi po modificiranem modelu CODIT črka "D" dobila nov pomen, in sicer poškodba ("Damage") tkiv (DUJESIEFKEN s sod. 1989). Pojem vključuje izsuševanje oz. dehidracijo ("Desiccation" in "Dehydration") (TORELLI s sod. 1992), okvaro funkcij ("dysfunction") tkiv in slednjič razkroj ("Decay") tkiv kot zadnjo fazo v procesu kompartmentalizacije. Proti modelu CODIT govori tudi dejstvo, da ni jasno oblikovanih mej "stene 2" - v smeri kasnega lesa in "stene 3" - v smeri trakov (DUJESIEFKEN s sod. 1989).

V obrambni reakciji skušajo drevesa omejiti negativne vplive poškodbe in obnoviti prvotne funkcije tkiv. Uspešnost obrambne reakcije je odvisna od več dejavnikov. Vsaj deloma je genetsko pogojena, kot je pogojena tudi struktura posameznih lesov (SHIGO s sod. 1977). Pri tem je še zlasti pomembna povezanost trahejnega omrežja (ECKSTEIN s sod. 1979), delež in razporeditev fiziološko aktivnih parenhimskih celic, ki so odgovorne za okluzijo prevodnih elementov v eksponiranem tkivu (RADEMACHER s sod. 1984, DUJESIEFKEN s sod. 1989) ter velikost pikenjskih odprtin med parenhimskimi celicami in trahejami, preko katerih poteka transport akcesornih snovi in vraščanje til (DUJESIEFKEN s sod. 1989, BAUCH s sod. 1980). Velikost diskoloracije je odvisna tudi od tipa in velikosti poškodbe, časa poškodovanja in starosti oz. vitalnosti drevesa (DUJESIEFKEN in LIESE 1988, 1990, DUJESIEFKEN s sod. 1991, GROSSER s sod. 1991).

V prispevku sem želela podati ugotovitve raziskav o odzivu drevja na globinske in površinske poškodbe predvsem z vidika sprememb v lesu, kar bo gotovo koristno izhodišče za izbiro pravih sanacijskih metod pri različnih tipih poškodb.

2 MATERIAL IN METODE

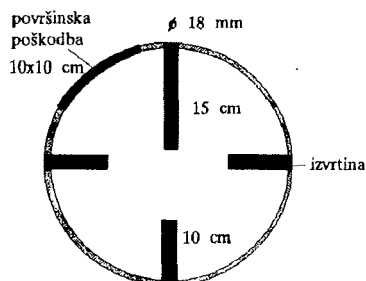
V aprilu 1987 smo na 12 testnih bukvah (*Fagus sylvatica* L.) (tabela 1) inducirali v prsni višini (1.3 m) površinsko in štiri globinske poškodbe s svedrom (slika 1). Pri površinskih pošodbah smo odstranili skorjo in kambij, pri globinskih pa smo poškodovali še lesni cilindar. V juniju 1989 smo drevesa ponovno globinsko poškodovali na višini 1.8 m z izvrtino v zdravo beljavo. Posek in analizo vzorčnega materiala smo opravili decembra 1991.

Površino diskoloracij smo določili s planimetriranjem na prečnih presekih kolotov v višini poškodb (1.3 m) ter 25 in 50 cm nad in pod mestom poškodb. Obseg diskoloracij zaradi vrtanja v vlažno beljavo smo ovrednotili kot dolžino diskoloracij nad poškodbo in pod njo v smeri drevesne osi na aksialno-radialni ravni.

Lesno vlažnost smo merili gravimetrično na lokaciji srednjega premera kolotov na višini 25 cm pod mestom poškodb in nad njim.

Električno upornost lesa smo merili vzdolž premera kolotov, izžaganih na višini poškodovanja (1.3 m), v razmakih 1 cm, z merilnimi elektrodami v smeri drevesne osi. Meritve smo izvedli s kondiciometrom - prenosnim kiloohmmetrom (Bollman Elektromik - Systeme, Rielasingen, Germany). Uporabili smo neizolirane igelne elektrode iz nerjavečega jekla, dolžine 7 mm in z razmakom 11 mm.

Meritve aksialne zračne permeabilnosti smo izvedli z napravo, izdelano na Katedri za tehnologijo lesa, na vzorcih zdravega adultnega lesa, nastalega tik pred poškodovanjem.



Slika 1: Shema induciranih poškodb.

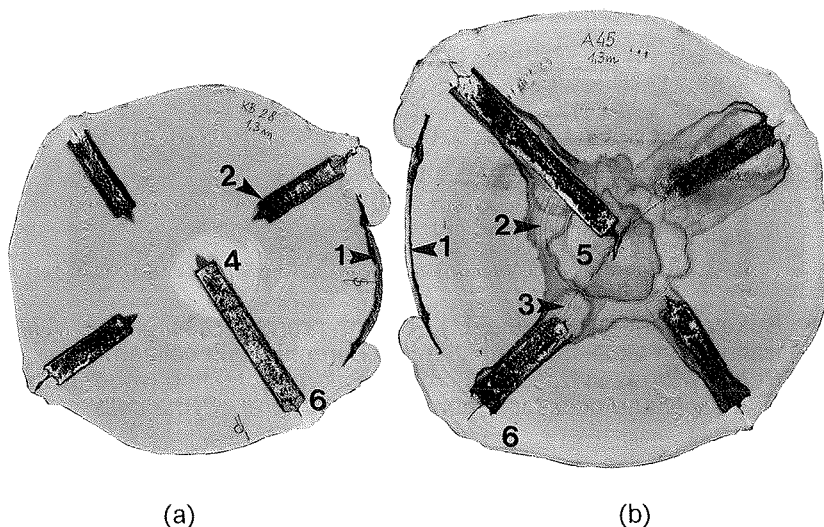
Figure 1: Scheme of artificial wounding.

Tabela 1: 12 testnih bukev (*Fagus sylvatica* L.): višina drevesa, premer v prsni višini in oznaka prisotnosti (+) rdečega srca oz. sušine.Table 1: 12 test beeches (*Fagus sylvatica* L.): tree height, diameter at the breast height and indication of red heart presence (+) or dehydrated zone presence ("ripe wood") respectively.

Št. drevesa Tree number	Višina (m) Height (m)	Premer (cm) Diameter (cm)	Prisotnost sušine Dehydrated zone presence	Prisotnost rdečega srca Red heart presence
26	27.4	32	+	
28	29.0	31	+	
29	26.2	32	+	
30	27.1	29	+	
31	27.9	29		+
34	25.2	35		+
37	35.4	31		+
38	35.6	34		+
40	30.9	34	+	
43	41.2	37		+
44	36.9	36		+
45	40.6	32		+

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

Slika 2 prikazuje posledice površinskega in globinskega poškodovanja na prečnih prerezih debel na primeru, ko je drevo uspešno omejilo poškodbe in obratno.



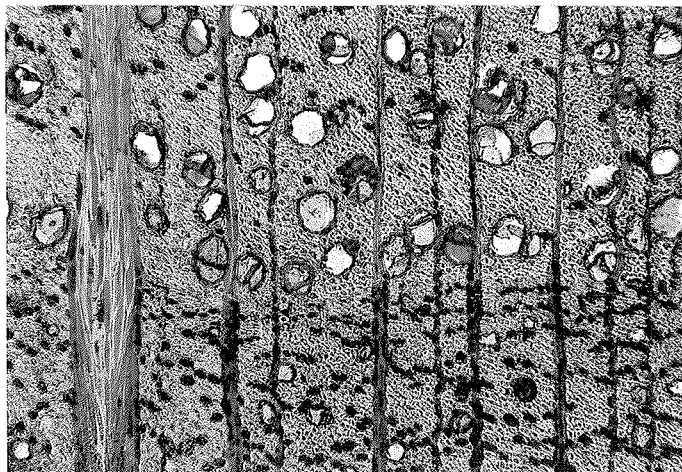
Slika 2: Bukev (*Fagus sylvatica* L.): učinek poškodb na prečnem prerezu debla na primeru, ko so učinki poškodovanja uspešno omejeni (a) in obratno (b).

(1) zaščitni les, (2) diskoloracija in (3) razkroj zaradi globinskega poškodovanja, (4) poprej nastala sušina, (5) rdeče srce, (6) les, nastal po poškodovanju

Figure 2: Beech (*Fagus sylvatica* L.): consequences of artificial wounding on stem cross-sections when the effects of wounding are successfully limited (a) and vice versa (b).

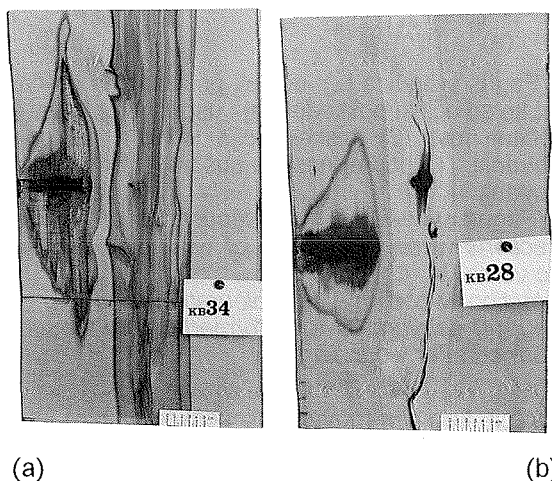
(1) protection wood, (2) discolouration and (3) decay due to deep wounding, (4) dehydrated zone formed before wounding, (5) red heart, (6) wood, formed after wounding

Po odstranitvi skorje in kambija (površinsko poškodovanje) je zgornja plast celic na površini izpostavljenega ksilema odmrla zaradi hitre izsušitve, pod njo in pod skorjo na robovih rane pa je nastala 7 - 9 mm debela strnjena plast zaščitnega lesa ("protecting layer"), podobna zaščitni plasti na bazi odmirajočih vej (prim. VON AUFSESS 1984). Za zaščitni les je značilno močno otiljenje trahej, nastanek gumoznih snovi in drugih akcesornih substanc, ki zatesnijo prevodne poti (slika 3). Tako se prepreči nadaljnje izsuševanje lesa in ohrani hidravlično integriteto drevesa.



Slika 3: Bukev (*Fagus sylvatica* L.), prečni prerez: zaščitni les. Glej tile v trahejah in akcesorne substance v parenhimskih celicah.

Figure 3: Beech (*Fagus sylvatica* L.) cross section: protection wood. Note tyloses in vessels and accessory compounds in parenchyma cells.

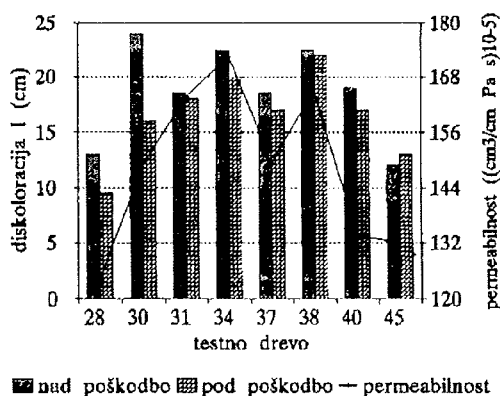


(a)

(b)

Slika 5: Bukev (*Fagus sylvatica* L.): učinek globinskih poškodb, nastalih z vrtnjem v vlažno beljavo, v radialno aksialni-ravnini na primeru, kjer je poškodba neuspešno omejena (a) in obratno (b).

Figure 5: Beech (*Fagus sylvatica* L.): the effect of deep wounding caused by boring into the outer moist sapwood on the radial-axial plain for the case of unsuccessfully compartmentalizing tree (a) and vice versa (b).



Slika 4: Bukev (*Fagus sylvatica* L.), 12 testnih dreves: dolžina diskoloracij (cm), nastalih zaradi vrtanja v vlažno beljavo, merjenih v radialno-aksialni ravnini nad poškodbo in pod njo ter aksialna zračna permeabilnost.

Figure 4: Beech (*Fagus sylvatica* L.), 12 test trees: length (cm) of discolouration columns appearing as a consequence of wounds in outer moist sapwood measured above and below the wound and axial air permeability.

Rezultati kažejo, da zaščitni les daleč najučinkoviteje zavaruje drevo pred učinki poškodb, saj je še pet let po ranitvi pod njim ležeči les ostal zdrav in ohranil svojo prevodno funkcijo. Zaščitni les je izgubil svojo vlogo v primerih fizičnih poškodb zaradi lesnih insektov ali nastanka razpok kot posledice izsušitve.

Zaščitni les je rezultat aktivnega reagiranja parenhimskih celic na poškodbo. Le-te so najvitalnejše v zunanjem najmlajšem letnem ksilemskem prirastku. Proti strženu vitalnost parenhimskih celic pada (BOSHARD 1968) in hkrati tudi njihova zmožnost za tvorbo til in akcesornih snovi oz. zaščitnega lesa.

Najvitalnejše parenhimske celice v perifernem delu beljave in hkrati počasno izsuševanje tkiva v primeru površinskih ran (ker je lesni cilinder ostal praktično nepoškodovan) so ključni dejavniki, ki pogojujejo uspešno omejitev učinkov poškodbe na sorazmerno majhni površini. Omejitev površinskih ran je bila pri vseh testnih drevesih bolj ali manj enako uspešna (tabela 2).

Tabela 2: Površine diskoloracij (cm^2), nastalih zaradi površinskih in globinskih poškodb, merjene na prečnih prerezih kolotov, izžaganih na višini poškodb (1.30 m) ter 25 in 50 cm pod (0.80 m, 1.05 m) in nad (1.55 m, 1.80 m) mestom poškodovanja.

Table 2: The extent of discolourations (cm^2) due to shallow and deep wounding measured on cross sections of discs cut from the middle of wounds (1.3 m) as well as 25 and 50 cm below (0.80 m, 1.05 m) and above (1.55 m, 1.80 m) the wounds.

Površina diskoloracij (cm^2) / Discolouration area (cm^2)						
Poškodba: / Wound:	Globinska / Deep					Površinska* / Shallow
Višina / Height	0.80 m	1.05 m	1.30 m	1.55 m	1.80 m	1.30 m
Št. drevesa / Tree no.						
26	0.0	5.9	87.9	3.8	0.0	8.3
28	0.0	0.0	78.5	0.0	0.0	7.3
29	8.7	17.1	82.1	14.1	5.6	6.5
30	4.0	21.6	86.1	12.3	0.0	7.0
31	43.6	53.7	135.1	72.2	71.6	7.6
34	51.2	71.4	151.1	103.1	97.9	6.6
37	109.5	135.5	180.2	128.9	110.0	7.1
38	100.6	117.1	178.3	101.4	71.8	7.6
40	30.5	72.1	130.9	91.3	66.7	8.2
43	252.5	286.1	350.3	324.4	276.7	7.7
44	113.4	151.6	242.8	162.3	156.8	7.5
45	162.0	180.9	263.3	189.7	203.0	6.8

*.....površino diskoloracij zaradi površinskih ran smo merili le na višini poškodovanja, ker se diskoloracije v aksialni smeri niso razvile več kot nekaj mm od roba poškodb.

*.....due to shallow wounds the discolouration area has been measured only at the wound height, for in the axial direction the discolourations have not developed more than just a few mm away from the wounded area.

Posledice globinskih poškodb so bile bistveno večje (tabela 2 in slika 2). Pri globinskih ranah je namreč neposredno prizadet prevodni sistem in manj vlažna sredica debla, kar povzroči hitrejšo izsuševanje in odmiranje tkiva, še preden se to lahko odzove s tvorbo strnjene plasti zaščitnega lesa okrog poškodbe, kot je

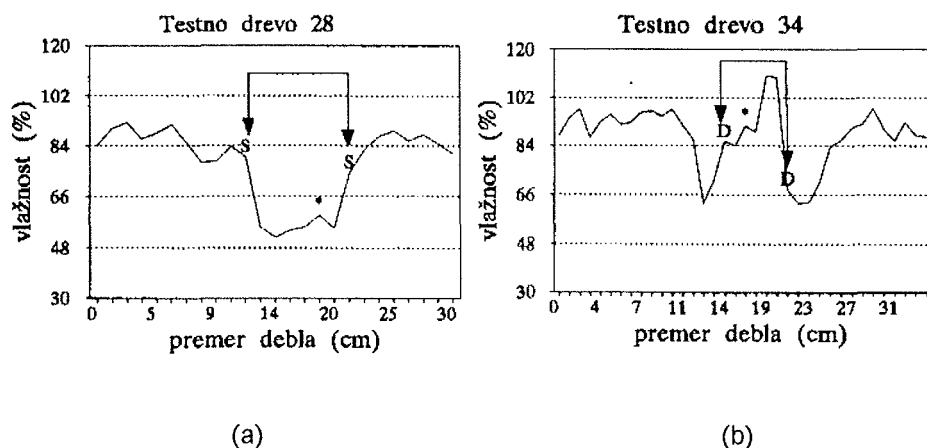
to značilno za površinske rane. Dodaten dejavnik za manj uspešno kompartmentalizacijo globoke poškodbe je tudi zmanjšana fiziološka aktivnost parenhimskih celic v smeri proti strženu. Zaščitni les se je sicer tvoril fragmentarno (OVEN 1993), vendar ni imel bistvenega varovalnega učinka.

Ko so poškodbe segale v sredico debla, t.j. na področje sušin ali rdečega srca, je obseg diskoloracij narekovala predvsem razporeditev vlažnosti v deblu v trenutku poškodbe. Diskoloracije so se po petih letih od poškodbe v glavnem razširile na lokacije poprej nastalih sušin. Sušina je posledica naravnega fiziološkega izsuševanja drevesa, njen obseg pa narekujejo zunanje dimenzije drevesa (TORELLI 1984). V visokih, debelih drevesih s kratko krošnjo, kjer naj bi bil premer sušine večji, so se tudi diskoloracije intenzivneje razširile (primer: drevesa 37, 38, 43, 44, 45) in obratno (primer: drevesa 26,28, 29,30).

Napredovanje in obseg diskoloracij, ki so se razvile kot posledica vrtnja v vlažno beljavo, sta odvisna predvsem od hitrosti izsuševanja. Ta pa je odvisna od tenzije vodnih stolpcev v trahejah v trenutku poškodbe (ZIMMERMANN 1983), difuzivnosti in permeabilnosti lesa oz. od števila in velikosti trahej ter intenzivnosti bočnega povezovanja trahej (KRIŽAJ 1993). Drevesa z nižjo aksialno permeabilnostjo lesa so uspešneje kompartmentalizirala poškodbo in obratno (slika 4). O enakih rezultatih so poročali ECKSTEIN in sodelavci (1979) pri različnih topolovih klonih.

V vseh primerih je bila oblika diskoloracij v radialno-aksialni ravnini vretenasta z najmanjšim aksialnim razponom v bližini kalusa, t.j. tam, kjer je lesna vlažnost najvišja in parenhimske celice najvitalnejše (slika 5). Ker je iz mehanskih in dimenzijskih razlogov vpoteg vodnih stolpcev v trenutku ranitve večji na zgornji strani rane in kasneje tudi zaradi transpiracijskega toka, so se diskoloracije vedno intenzivneje razvijale na zgornji strani poškodb (slika 4 in 5).

Diskoloracijske procese, ki sta jih po ranitvi sprožila izsuševanje in aeracija ter razkrojne procese, ki so sledili, je redno spremljalo sekundarno povišanje vlažnosti (slika 6) in znižanje električne upornosti lesa (slika 7).

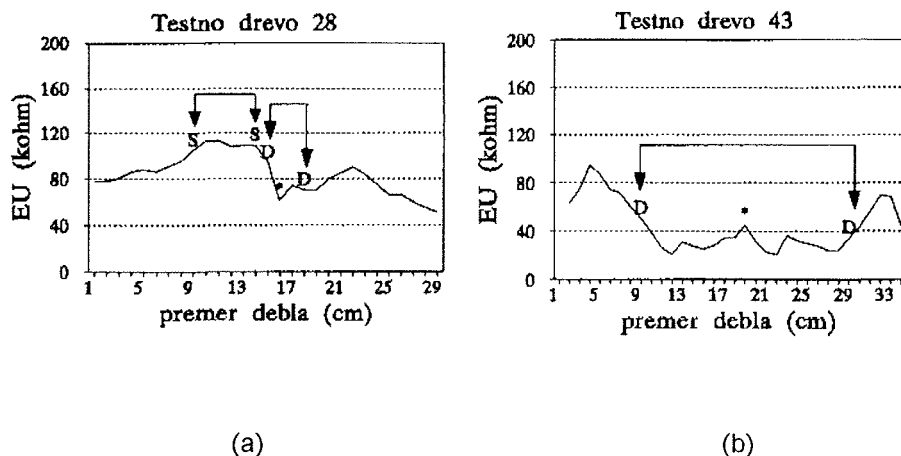


Slika 6: Bukev (*Fagus sylvatica* L.): vlažnostna profila na višini 1.05 m: (a) padec vlažnosti proti strženu zaradi naravnega fiziološkega izsuševanja sredice in (b) sekundarni dvig vlažnosti na poprej nastali sušini zaradi diskoloracije lesa po ranitvi.

D - diskoloracija, S - sušina, * - stržen

Figure 6: Beech (*Fagus sylvatica* L.): moisture content profile at the 1.05 m stem height: (a) decrease of moisture content towards the pith due to natural physiological dehydration of stem core (S-dehydrated zone) and (b) secondary increase of moisture content due to wood discoloration after wounding extending on the area of previously formed dehydrated zone.

D - discolouration, S - dehydrated zone, * - pith



Slika 7: Bukev (*Fagus sylvatica* L.): profila vertikalne električne upornosti (EU) na višini poškodb (1.3 m). V primeru (a) je še prisoten del primarno nastale sušine, v primeru (b) je diskoloriran celoten centralni del debla.

D - diskoloracija, S - sušina, * - stržen.

Figure 7: Beech (*Fagus sylvatica* L.): electrical resistance profiles at the height of induced wounds (1.3 m). In case (a) a part of the previously formed dehydrated zone is still present, in (b) the entire central part of the stem is discoloured.

D - discolouration, S - dehydrated zone, * - pith

Nižja električna upornost lesa je primarno posledica povečane koncentracije prostih ionov, ki je rezultat aktivnosti infektivnih gliv (SHIGO 1982). Električna upornost je močno padla posebno v delih, kjer je bil že viden biološki razkroj.

Diskoloracije in razkrojni procesi so bili vedno omejeni le na les, nastal pred poškodovanjem. Verjetno predstavlja bistveno prepreko diskoloracijskim in razkrojnim procesom visoka vlažnost lesa, nastalega po poškodovanju.

Reakcija dreves na poškodovanje je kompleksna in vključuje odziv lesa, nastalega pred poškodovanjem, kambija in lesa, nastalega po poškodovanju. Prva, na zunaj razločno vidna reakcija drevesa na poškodbo, je kalusno preraščanje odprte rane. V tkivu pod poškodbo pa se pojavi diskoloracija in kasneje razkroj. Odziv lesa, nastalega pred poškodovanjem, in njegova usoda sta neodvisna od ksilogeneze po poškodovanju. Hitro in uspešno preraščanje rane nikakor ne pomeni, da so se sekundarne spremembe (diskoloracije in razkroj) v lesu že ustavile (DUJESIEFKEN in LIESE 1990).

Prva sprememba v poškodovanem in eksponiranem lesu je izsuševanje tkiva. Zaščitni mehanizmi v drevesu se sprožijo pravzaprav kot odziv na izsuševanje in aeracijo (TORELLI s sod. 1992), ki ogrožata prevodni sistem, in nikakor ne primarno na okužbo, kot to predvideva model CODIT (SHIGO in MARX 1977). Uspešna kolonizacija je možna šele, ko vlažnost lesa pade v meje tolerance, ki dopuščajo uspevanje infektivnih mikroorganizmov (optimalna lesna vlažnost za uspevanje gliv je v območju 30 - 60 %). Beljava ima že zaradi svoje prevodne vloge visoko lesno vlažnost (80 - 90 % sveža bukovina na periferiji debla) in je tako zaščitena pred okužbo.

Zaščitni les, ki se v strnjeni plasti tvori na površini plitvih ran, dokaj uspešno zavaruje drevo pred učinki poškodb na način, ki omogoča ohraniti les, nastal pred poškodovanjem, kar je pomembno predvsem z vidika tehnološke izrabe lesa, ni pa življenjsko pomembno za preživetje drevesa. Opazovanja reagiranja drevja na globinske poškodbe so namreč pokazala, da drevo lahko očitno uspeva neodvisno od odmrtja in kasnejšega razkroja lesa, nastalega pred poškodovanjem, in gradi svoje preživetje na lesu, ki nastaja po ranitvi. Način lesnega priraščanja v lupinah drevesu onemogoča, da bi odvrгло mrtev les, ki tako ostaja v njegovi notranjosti (TORELLI s sod. 1990). S tem v zvezi je visoka starost dreves le navidezna in ta navideznost se je izrazila prav pri globinskih pošodbah.

Uspešna sanacija je verjetno možna samo pri površinskih poškodbah, ki so tudi najpogostejše, in sicer z eksogenim vzpodbujanjem mehanizma za tvorbo zaščitnega lesa. Na kakšen način pospešiti naravni obrambni mehanizem dreves, t. j. nastanek zaščitnega lesa, pa ostaja predmet nadaljnjih raziskav.

4 POVZETEK

Namen proučevanj je bil raziskati vpliv globinskih in površinskih poškodb pri bukvi (*Fagus sylvatica* L.), predvsem z vidika sprememb v lesu, nastalem pred poškodovanjem.

Prva sprememba v poškodovanem in eksponiranem lesu je izsuševanje in aeracija, ki jima sledijo procesi abiotske in biotske diskoloracije ter slednjič razkroj. Spremembe v lesu redno spremlja sekundarno povišanje vlažnosti in znižanje električne upornosti tkiv, ki kaže na ionizacijske procese v lesu zaradi okužbe.

Po odstranitvi skorje in kambija (površinsko poškodovanje) je na površini eksponiranega ksilema nastala tanka plast zaščitnega lesa. Po petih letih je spodaj ležeči ksilem ostal nepoškodovan in ohranil prevodno funkcijo.

Posledice globinskega poškodovanja so v primerjavi s površinskimi poškodbami bistveno večje, saj je v prvem primeru močno poškodovan prevodni sistem. Obseg in napredovanje diskoloracij sta odvisna od razporeditve vlažnosti v deblu v trenutku poškodbe, hitrosti izsuševanja lesnega tkiva in od vitalnosti parenhimskih celic, ki so odgovorne za nastanek zaščitnega lesa.

Diskoloracije in razkrojni procesi so vedno omejeni le na les, nastal pred poškodovanjem. Drevo gradi svoje preživetje na lesu, ki nastaja po ranitvi.

5 SUMMARY

The objectives of the research were to investigate the influence of deep and shallow wounds in beech (*Fagus sylvatica* L.), upon the changes in the wood formed before wounding.

The first change of the damaged and exposed wood is dehydration and aeration, followed by abiotic and biotic discolouration and decay in the final stage.

After bark and cambium removal (shallow wounding) protection wood was formed on the surface of the exposed xylem. After five years of exposure the underlying wood was still undamaged and could conduct water.

The consequences of deep wounding were much greater compared to the ones of shallow wounding, as in the former case the transport damage system took place. The extent and progress of discolouration depend on the water distribution in the stem in the moment of wounding, on the desiccation velocity and on the vitality of the parenchyma cells which form protection wood.

The discolouration and decay processes are always restricted to the wood formed before wounding. The tree survival depends on new wood, which is formed after wounding.

6 VIRI

- BAUCH, J./ Shigo, A.L./ Starck, M., 1980. Wound effects in the xylem of *Acer* and *Betula* species. - *Holzforschung* 34(5), s. 153-160.
- BOSSHARD, H.H., 1968. On the formation of facultatively colored heartwood in *Beilschmedia tawa*. - *Wood Sci. Technol.* 2, s. 1-12.

- DUJESIEFKEN, D./ Ebenritter, S./ Liese, W., 1989. Wundreaktionen in Holzgewebe bei Birke, Buche und Linde. - Holz als Rohr- und Werkstoff 47, s. 495-500.
- DUJESIEFKEN, D. in Liese, W., 1988. Holzbiologische Untersuchungen über Einzelbaumsanierungen an Stadtbäumen. - Naturwissenschaft-und Landschaftspflege in Hamburg 22, s. 289-302.
- DUJESIEFKEN, D. in Liese, W., 1990. Einfluss der Verletzungszeit auf die Wundheilung bei Buche (*Fagus sylvatica* L.). - Holz als Rohr- und Werkstoff 48, s. 95-99.
- DUJESIEFKEN, D./ Peylo, A./ Liese, W., 1991. Einfluss der Verletzungszeit auf die Wundreaktionen verschiedener Laubbäume und der Fichte. - Forstw. 110, s. 371-380.
- ECKSTEIN, D./ Shigo, A.L./ Liese, W., 1979. Relationship of wood structure to compartmentalization of discoloured wood in hybrid poplar. - Can. J. For. Res. 9 (2), s. 205-210.
- GROSSER, D./ Lesnino, G./ Schulz, H., 1991. Histologische Untersuchung über das Schutzholz einheimischer Laubbäume. - Holz als Rohr- und Werkstoff 49, s. 65-73.
- KRIŽAJ, B. 1993. Odziv lesa in kambija na mehanska poškodovanja ter les, nastal po poškodovanju pri bukvi (*Fagus silvatica* L.) in navadni jelki (*Abies alba* Mill.). - Magistrsko delo. Univeza v Ljubljani.
- LIESE, W. in Dujesiefken, D., 1988. Reaktionen von Bäumen auf Verletzungen. - Das Gartenamt 37, s. 436-440.
- OVEN, P. 1993.. Anatomija skorje in njen odziv na mehanska poškodovanja pri zdravih in prizadetih jelkah (*Abies alba* Mill.). - Magistrsko delo. Univeza v Ljubljani.
- RADEMACHER, P./ Bauch, J./ Shigo. A.L., 1984. Characteristics of xylem formed after wounding in *Acer*, *Betula*, and *Fagus*. - IAWA Bulletin 5(2), s. 141-151.
- SHIGO, A.L., 1982. Decaying Douglas-fir Wood: Ionization Associated With Resistance to Pulsed Electric Current. - Wood Sci. 15(1), s. 289-32.

- SHIGO, A.L. in Marx H., 1977. Compartmentalization of decay in trees (CODIT). - U.S.Dep.Agric. Inf. Bull.405.
- SHIGO, A.L./ Shortle, W.C./ Garrett, P.W., 1977. Genetic control suggested in compartmentalization of discolored wood associated with tree wounds. - Forest sci. 23(2), s. 79 - 82.
- TORELLI, N., 1984. The ecology of wood as illustrated by beech (*Fagus sylvatica* L.). IAWA Bulletin 5(2), s. 121-127.
- TORELLI, N./ Oven, P./ Župančič, M., 1990. Nastanek in značilnosti barierne cone ter lesa, nastalega po ranitvi. Zbornik gozdarstva in lesarstva 36, s. 3-16.
- TORELLI, N./ Križaj, B./ Oven, P., 1992. Barrier zone (CODIT) and wound-associated wood in beech (*Fagus sylvatica* L.). - International Congress on Beech Pamplona, Proceedings, s. 279-285.
- VON AUFSESS, H., 1984. Some examples of wood discolourations related to mechanisms for potential protection of living trees against fungal attack. - IAWA Bull. 5(2), s. 133-138.
- ZIMMERMANN, M.H., 1983. Xylem Structure and the ascent of the sap. - Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo.