

Prepoznavanje in datiranje geomorfoloških procesov s pomočjo lesnih branik

Identification and Dating of Geomorphic Processes Using Tree-Rings

Polona HAFNER¹

Izvleček:

Hafner, P.: Prepoznavanje in datiranje geomorfoloških procesov s pomočjo lesnih branik; Gozdarski vestnik, 74/2016, št. 10. V slovenščini z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 30. Prevod Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

V članku je naveden kratek pregled vplivov geomorfoloških dogodkov in odzivov dreves nanje. Zaporedja ozkih ali širokih branik, reakcijski les, poškodbe in nastanek kalusa, travmatski smolni kanali, anomalije v traheidah in traheidah lesa v deblu ter razgaljene korenine dreves na izpostavljenih območjih vsebujejo informacije, ki so bistvenega pomena pri dendrogeomorfoloških raziskavah. Rekonstrukcija in datiranje dinamike ter jakosti geomorfoloških procesov v preteklosti zagotavljata ključne informacije, ki so v pomoč pri oceni tveganja z geomorfološkimi procesi povezanih naravnih nesreč, kot so na primer skalni in kamninski podori, snežni in zemeljski plazovi.

Ključne besede: dendrogeomorfologija, datiranje dogodkov, reakcijski les, lesno-anatomske značilnosti, kalus, naravni arhiv, neme priče

Abstract:

Hafner, P.: Identification and Dating of Geomorphic Processes Using Tree-Rings. Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry), 74/2016, vol. 10. In Slovenian, abstract and summary in English, lit. quot. 30. Translated by the authors and Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

This paper presents a short review of impact of geomorphic processes and specific responses of trees. Sequences of narrow and wide tree-rings, reaction wood, wounds and callus tissue formation, traumatic resin ducts, exposed roots, and anomalies in vessels and tracheids in the wood in trunks yield important information on geomorphic processes and are therefore valuable in dendrogeomorphological research. Reconstruction and dating of dynamic and magnitude of the past geomorphological processes yield crucial information, which could help in the natural hazard assessment.

Key words: dendrogeomorphology, event dating, reaction wood, wood-anatomy, callus, natural archive, silent witnesses

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Slovenija je zaradi razgibanega reliefa in pestrosti podnebnih režimov podvržena številnim geomorfološkim (GM) procesom, kot so na primer snežni in zemeljski plazovi, skalni podori, hudourniške poplave in drobirski tokovi. Ti procesi pomenijo tveganje za naravne nesreče, ki lahko privedejo do velike gospodarske škode in celo človeških žrtev. Drevesa so neme priče in hkrati naravni arhivi GM-procesov in dogodkov na območjih, kjer nastajajo vplivi na njihovo rast. Zapisi in preostalo gradivo o GM-procesih v preteklosti so redki in ne segajo daleč v zgodovino, vendar

bi bile tovrstne informacije dragocene z vidika poznavanja dinamike pojavljanja GM-procesov na določenih območjih ter posledično blaženja njihovega vpliva oziroma preprečevanja naravnih nesreč. V zadnjem času je proučevanje GM-procesov s pomočjo drevesnih branik v velikem razmahu, še posebno v gorskih predelih Evrope in Severne Amerike (Ballesteros-Cánovas in sod., 2015; Stoffel in Bollschweiler, 2008). Slovenija pa kljub velikemu potencialu za tovrstne raziskave ostaja nepopisan list. V članku so predstavljene

¹ Dr. P. H., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za prirastoslovje in gojenje gozda, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija; polona.hafner@gozdis.si

različne motnje in anomalije v rasti dreves, ki so posledica delovanja GM-procesov, ter interpretacija informacij, shranjenih v odzivu dreves.

2 DENDROGEOMORFOLOGIJA

2 DENDROGEOMORPHOLOGY

Dendrokronologija je najbolj natančna tehnika datiranja v geoznanostih (Santilli in sod., 2005). Temelji na dejstvu, da drevesa v zmernem in hladnem podnebnem pasu vsako leto proizvedejo plast lesa (lesna branika). Z dendrokronološkimi metodami lahko natančno določimo, v katerem letu je nastala posamezna branika (Schweingruber, 1996). Na rast dreves poleg endogenih, antropogenih in biotskih dejavnikov vplivajo tudi številni abiotski dejavniki, ki so prisotni in delujejo na širšem območju, kot so temperatura, padavine, svetloba, hranila v tleh (Schweingruber, 1996). Med abiotske dejavnike štejemo tudi ekstremne vremenske dogodke, kot so žled, orkanski vetrovi, udari strele ipd. Odziv na te dejavnike je navadno skupen vsem drevesom določenega rastišča in se odraža v širini in zgradbi branik (Cook in Kairiukstis, 1990). Izpostavljena drevesa beležijo tudi vplive mehanskih poškodb in motenj, ki so posledica GM-procesov (Stoffel in Corona, 2014).

Branike so s svojo enoletno ločljivostjo dragocen arhiv informacij o dogajanju v okolju v preteklosti, vključno z nekaterimi GM-procesi, kot so denudacija, poplave, snežni plazovi ter pobočni procesi (zdrsi, plazovi, tokovi in podori (Varnes, 1978)) in tudi v kombinaciji z delovanjem vode. Veda, ki z analizo branik proučuje GM-procese, se imenuje dendrogeomorfologija (Alestalo, 1971).

3 »PROCES – DOGODEK – ODZIV«

3 »PROCESS – EVENT – RESPONSE«

Dendrogeomorfološka raziskava navadno temelji na konceptu »proces–dogodek–odziv«, ki ga je utemeljil Shroder (1978). »Dogodek« nastane, ko GM-»proces« vpliva na drevo, ta pa se na motnjo odzove s specifičnim rastnim »odzivom«, ki se shrani v branikah (Stoffel in Bollschweiler, 2008). V nadaljevanju so opisani različni specifični odzivi dreves na GM-procese.

3.1 Širina lesnih branik

3.1 Tree-ring width

GM-procesi pogosto vplivajo na zmanjšano rast izpostavljenih dreves. Teža materiala, ki se kopiči okoli debla (Slika 1) kot posledica zdrsov, plazov, podorov in poplav, povzroča močan tlak na



Slika 1: Kopičenje materiala ob deblu drevesa (foto: P. Hafner)

Figure 1: Material accumulation at the stem base (photo: P. Hafner)

kambij, sekundarni meristem, ki v centripetalni smeri tvori celice lesa, v centrifugalni pa celice floema (Torelli, 1986). Posledica tlačnih sil je zmanjšana debelinska rast in s tem ožje branike, saj se zmanjša pretok vode in hranil po drevesu (Hupp in sod., 1987).

Erozijski procesi lahko povzročijo odmrtnje večjega deleža korenin, kar povzroči pomanjkanje vode in hranil v drevesnih tkivih, zlasti meristemih, in se odraža v ožjih branikah (McAuliffe in sod., 2006). Posledice GM-procesov so tudi pogost vzrok poškodb vrhov in vej v krošnji. Padajoče skale in pršni plazovi neposredno posegajo v krošnjo in tam povzročajo poškodbe tkiv. Pri starejših drevesih lahko večje nenadne zunanje sile pri tleh (udar večjih skal, plazovi) povzročijo udarni val v deblu in posledično zlome v krošnji (Dorren in sod., 2006). Odziv dreves na take poškodbe se kaže v zmanjšani debelinski rasti v letih po dogodku (Slika 2). Pri lomu vrhov stranske veje pogosto prevzamejo vlogo glavnega poganjka, kar se odraža v značilnem videzu novonastale nadomestne sekundarne krošnje (Slika 3) (Stoffel in Corona, 2014).

Nekateri GM-procesi, predvsem plazovi, poplave in hudourniki, lahko za seboj pustijo popolno opustošenje, zaradi česar pride do odstra-

nitve celotne vegetacije na prizadetem območju, vključno s posameznimi drevesi ali celotnimi gozdnimi sestoji. Take površine navadno sčasoma zopet porastejo drevesa, čas vzkalitve semena pa posreduje informacijo o približni oceni časa nastanka dogodka. Vendar nekatera območja lahko ostanejo opustošena več let (do sto let), preden se zarastejo na novo. Čas trajanja od nastanka opustošenja do ponovnega vzklitja dreves je odvisen od drevesne vrste, talnega substrata in podnebnih razmer (Stoffel in Corona, 2014).

Propad oz. odstranitev dreves kot posledica GM-procesov lahko pozitivno vpliva na sosednja drevesa, ki v takih procesih ostanejo nepoškodovana. Zanje odstranitev sosedov (konkurentov) pomeni več svetlobe, prostora, večjo razpoložljivost hranil in vode (Stoffel in Bollschweiler, 2008). Na nove ugodne razmere se odzovejo s pospešeno rastjo, kar se odraža v širših branikah (Slika 2). Pri uporabi sproščene rasti kot indikatorja GM-procesov je potrebna posebna previdnost, saj tudi do pospešene rasti navadno pride z zamikom in ne takoj po dogodku. Prav tako je treba upoštevati druge dejavnike, ki vplivajo na širino branike (Stoffel in sod., 2010). Eden od takih primerov so široke branike kot posledica prisotnosti reakcijskega lesa.



Slika 2: Zmanjšana in sproščena rast pri bukvi (foto: P. Prislan)

Figure 2: Growth suppression and growth release in *Fagus sylvatica* L. (photo: P. Prislan)



Slika 3: Stranske macesnove veje prevzemajo vlogo poškodovane krošnje (foto: P. Hafner)

Figure 3: Lateral branches of *Larix decidua* Mill. are replacing the broken crown (photo: P. Hafner)

3.2 Reakcijski les in ekscentrična rast

3.2 Reaction wood and eccentric growth

Nagibanje dreves je pogosta posledica pobočnih masnih premikov. Pojavi se zaradi nenadnega pritiska materiala na deblo drevesa kot posledica snežnih plazov, skalnih podorov površinskega plazenja materiala ipd. Pogost vzrok so tudi počasni, a neprekinjeni procesi erozije in plazenja pobočij (Stoffel in Corona, 2014; Winchester in sod., 2007). Ekscentrična rast je pogost pojav pri drevesih v takih razmerah in je posledica nastanka reakcijskega lesa, s katerim drevesa izravnavajo svojo rast v ponovno pokončno lego (Slika 4) (Hupp in sod., 1987; Stoffel in sod., 2010). Nastane značilna t.i. »sabljava rast« (Slika 5). Pri iglavcih se reakcijski les imenuje kompresijski les; nastaja na spodnji strani debla, je brez leska in ima manj izrazit prehod iz ranega v kasni les (Torelli 1986). Je temneje obarvan, kar je posledica večjega deleža kasnega lesa in lignina ter večje gostote. Branike so bistveno širše kot na zgornji strani debla, kar povzroča ekscentričnost debla (Ruelle, 2014). Reakcijski les listavcev oziroma tenzijski les nastaja na zgornji strani debla. Pogostejše kot

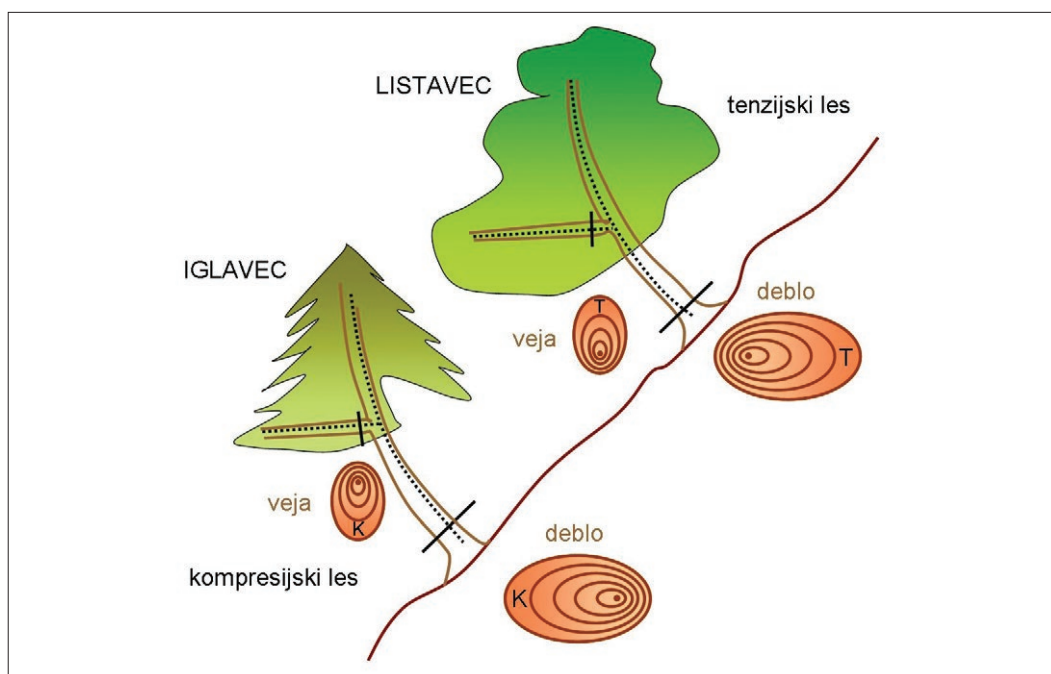
v kasnem lesu se pojavi v ranem. Zanj je značilna prisotnost želatinaste plasti ter manj trahej, večja vsebnost celuloze in večji delež vlaken kot pri normalnem lesu (Ruelle, 2014; Timell, 1986). Pojav reakcijskega lesa v braniki zanesljivo določa leto pojava GM-dogodka (Winchester in sod., 2007).

Spremembe v smereh ekscentričnosti debla odražajo spremembe smeri masnih premikov (Winchester in sod., 2007), trajanje procesov pa se odražata v številu branik s prisotnim reakcijskim lesom (Stoffel in Corona, 2014).

3.3 Poškodbe in nastanek kalusa

3.3 Injuries and callus formation

Delna odstranitev skorje in v les segajoče poškodbe so pogosta značilnost dreves na območjih, kjer je velika GM-aktivnost (Slika 6). Poškodba lahko nastane na koreninah, deblu ali vejah (Lundström in sod., 2008). Takoj po poškodbi se začne tvorba kalusa – tkiva, ki ga sestavljajo neurejeno razporejene parenhimske celice (Schweingruber, 2007). Kalusno tkivo je obrambni mehanizem drevesa, da čim prej zapre rano ter čim bolj zmanjša nastajanje trohnobe in napade insektov (Shigo,



Slika 4: Kompresijski les (K) pri iglavcih in tenzijski les (T) pri listavcih (avtor: J. Gričar)

Figure 4: Compression wood (K) in conifers and tension wood (T) in deciduous trees (author: J. Gričar)

1984). Zapiranje rane lahko traja različno dolgo in je odvisno od letnega prirastka, starosti drevesa in velikosti rane (Stoffel in Bollschweiler, 2008; Stoffel in Corona, 2014). Prisotnost rane, kalusa, poranitvenega lesa ali brazgotine (zaprte rane) je zanesljiv pokazatelj GM-aktivnosti v preteklosti. Z vidika datiranja dogodkov je pojav kalusa izjemno pomemben, saj omogoča natančno določanje časa nastanka poškodbe znotraj enega leta (Stoffel in Bollschweiler, 2008). Pri tem se upošteva tudi število floemskih branik, vizualno oceno izpostavljenega lesa (barva, stopnja razgradnje lesa,

prisotnost gliv) (Slika 7), značilnosti poškodovane skorje (barva, stopnja razkroja) ter razmerje med starostjo drevesa in obsegom rane (Trappmann in Stoffel, 2015). Pri oceni intenzivnosti dogodka je v pomoč še velikost, oblika in globina rane (Schweingruber, 1996). Pomembno je upoštevanje drevesne vrste, saj pri vrstah z gladko skorjo (npr. bukev) ostane brazgotina vidna dolgo časa, medtem ko se pri vrstah z debelejšo skorjo (npr. macesen) lahko popolnoma zabriše (Stoffel in Corona, 2014).



Slika 5: »Sabljasta rast« pri macesnu (*Larix decidua* Mill) (foto: P. Hafner)

Figure 5: »Sabre« growth of tilted *Larix decidua* Mill (photo: P. Hafner)



Slika 6: Sveža poškodba pri macesnu (*Larix decidua* Mill.) z mestoma popolnoma odstranjeno skorjo (foto: P. Hafner)

Figure 6: Fresh wound of *Larix decidua* Mill. and completely removed part of the bark (photo: P. Hafner)

3.4 Travmatski smolni kanali

3.4 Traumatic resin ducts

Za večino iglavcev je značilna prisotnost normalnih smolnih kanalov v lesu (Gärtner in Heinrich, 2009). Smola, s katero so zapolnjeni, služi kot obramba pred potencialnimi poškodbami pri objedanju, napadih žuželk, gliv in patogenih organizmov ter pri mehanskih poškodbah. Pojav travmatskih smolnih kanalov (TSK) (Slika 8) je povezan z mehanskimi poškodbami (Nagy in sod., 2000). TSK so navadno razporejeni v tangencialni nizih. Z analizo TSK lahko določimo, v katerem delu leta so nastale mehanske poškodbe drevesa. V rastni sezoni se tvorba TSK začne že nekaj dni po poškodbi, zato njihova prisotnost omogoča datiranje nastanka poškodbe do meseca natančno (Stoffel, 2008), prisotnost TSK v bližini poranitvenega tkiva ob poškodbi pa natančnost datiranja lahko še izboljša (Gričar, 2007). TSK se pojavijo tudi v primeru, kadar mehanski vpliv GM-procesa nastane v dormantnem obdobju, ko je kambij neaktiven. V takem primeru se TSK pojavijo z zamikom do pet mesecev. To dejstvo je

pomembno z vidika proučevanja dinamike plazov in podorov, ki so najpogostejši v pozno jesenskih in zimskih mesecih (Gärtner in Heinrich, 2009). TSK se ob poškodbah pojavijo tudi pri vrstah, ki sicer nimajo normalnih smolnih kanalov, npr. jelka, brin in tisa (Gričar, 2007), medtem ko drevesa iz rodu borov proizvajajo veliko smolnih kanalov in smole neodvisno od poškodb in se TSK pri njih ne pojavljajo (Stoffel in Corona, 2014). Pri proučevanju GM s pomočjo TSK je torej pomembno upoštevati proučevano drevesno vrsto in njene lesno-anatomske značilnosti, letni čas vzorčenja in geografsko lokacijo rastišča. Prav tako mora biti v raziskavo vključeno zadostno število dreves (Gärtner in Heinrich, 2009; Stoffel, 2008).

3.5 Anomalije v trahejah in traheidah v deblu

3.5 Anomalies in vessels and tracheids in trunk

Spremembe v anatomske zgradbi branike so razmeroma novo, a uporabno orodje za spremljanje dinamike GM-procesov in njihovega vpliva na

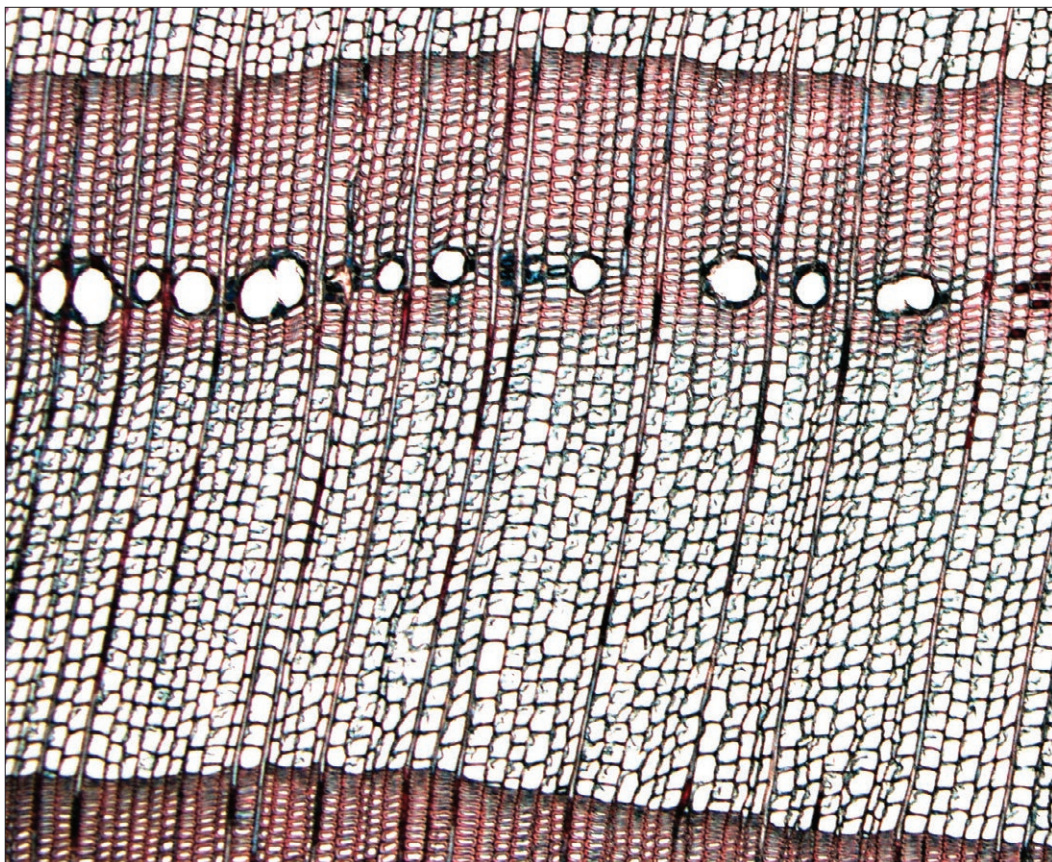


Slika 7: Deloma s kalusom zaprta rana pri bukvi (*Fagus sylvatica* L.). Vidna je temnejša obarvanost lesa in prisotnost gliv. (foto: P. Hafner)

Figure 7: Callus tissue had partly overgrown wound of *Fagus sylvatica* L. Dark colouration of wood and presence of fungi is visible (photo: P. Hafner)

zgradbo lesa v koreninah in tudi deblih dreves. So uporabno orodje predvsem v primerih, kadar proučujemo drevesa, ki so izpostavljena poplavam ter z njimi povezano akumulacijo materiala in erozijo (Stoffel in Corona, 2014). Najpogostejši skupni lesno-anatomski odziv v deblih listopadnih vrst na poplave (Slika 9) in tlačne sile na deblo zaradi nanosov je znatno povečanje števila trahej (t.i. gostota trahej) in hkrati zmanjšanje povprečne površine trahej ($> 50\%$) v branikah, ki nastanejo v letu dogodka (Ballesteros-Caanos in sod., 2015).

Pri posameznih drevesnih vrstah lahko nastane sprememba v razporeditvi trahej; na primer pri hrastu iz venčasto-porozne razporeditve v difuzno-porozno razporeditev (den Ouden in sod., 2007). Ob dolgotrajnih poplavam se pojavi spremenjena zgradba kasnega lesa z manjšim deležem vlaken (St. George in sod., 2006). Pri iglavcih so raziskave anomalij v traheidah kot posledica GM-procesov bolj ali manj omejene na proučevanje anatomske zgradbe lesa v koreninah.



Slika 8: Tangencialni nizi travmatskih smolnih kanalov pri navadni jelki (*Abies alba* Mill.) (foto: J. Gričar)

Figure 8: Tangential row of traumatic resin ducts in *Abies alba* Mill. (photo: J. Gričar)



Slika 9: Dlje trajajoče poplave povzročajo anomalije v trahejah listavcev. (foto: P. Hafner)

Figure 9: Long-term floods cause anomalies in vessels of deciduous trees (photo: P. Hafner)

3.6 Razgaljene korenine

3.6 Exposed roots

Večina raziskav korenin v povezavi z GM-procesi je bila opravljena na iglavcih v goratih območjih. Razgaljenje večjega deleža korenin (Slika 10) je lahko vzrok, da korenine odmrejo in s tem izgubijo sposobnost opravljanja njihove primarna naloge prevajanja vode in mineralnih snovi. Kadar pa nastane nenadno razgaljenje le dela korenin in koreninski vršiček ostane v zemlji, korenine še naprej lahko črpajo ter prevajajo vodo in anorganske snovi. Vendar se v takih koreninah pojavijo spremembe v njihovi lesno-anatomski zgradbi. S prepoznavanjem teh sprememb je mogoča točna določitev časa nastanka dogodka, ki je povzročil razgaljenje korenin. Lesno-anatomska zgradba

branik v razgaljenih koreninah postane podobna branikam v deblu. V primerjavi s strukturo zakritih korenin se premer celic ranega lesa zmanjša za 60 % in njihovo število se poveča; poveča se delež kasnega lesa. Stene celic kasnega lesa so debelejše, s čimer se izrazito zmanjšajo lumni celic. Pogosto so prisotni tudi TSK. Meja med ranim in kasnim lesom postane jasno vidna (Gärtner in sod., 2001).

Do sprememb v lesno-anatomski zgradbi korenin pogosto privedejo neprekinjeni procesi denudacije, ki povzročajo postopno odnašanje površinskih plasti zemlje in posledično postopno razgaljenje korenin (Slika 11). Čas popolnega razgaljenja korenine je z lesno-anatomskimi analizami tudi v tem primeru mogoče natančno določiti z ločljivostjo enega leta (Gärtner in sod., 2001).



Slika 10: Popolnoma razgaljene borove korenine (*Pinus* sp.) (foto: P. Hafner)

Figure 10: Exposed roots of *Pinus* sp. (photo P. Hafner)

Rezultati novjših študij, opravljenih na koreninah listavcev, kažejo, da se tudi pri njih spremeni lesno-anatomska zgradba razgaljenih korenin. Lumen vlaken izpostavljenih korenin se zmanjša, medtem ko je lumen trahej bolj spremenljiv, lahko ostane nespremenjen oz. se zmanjša tudi za 50 %. Raziskave na listavcih so še posebno zanimive z vidika proučevanja erozije rečnih bregov, poplav in hudournikov (Hitz in sod., 2008).

V nekaterih primerih drevesa z delno zasutimi debli poženejo adventivne (nadomestne) korenine v na novo naneseo talno podlago. Adventivne korenine se navadno pojavijo v začetnih letih po zasutju debla in tako omogočajo približno določanje časa pojava odlaganja materiala (sedimentacije). Sosledje večkratnega zasutja in pojava adventivnih korenin omogoča oceno količine nanesenega materiala (Strunk, 1997).



Slika 11: Delno razgaljene korenine rdečega bukve (*Fagus sylvatica* L.) kot posledica postopne denudacije (foto: P. Hafner)

Figure 11: Partly exposed roots of *Fagus sylvatica* L. caused by gradual denudation (photo P. Hafner)

4 INTERPRETACIJA PROCESOV IN ODZIVOV DREVES

4 INTERPRETATION OF PROCESSES AND TREE RESPONSES

Pri interpretaciji rastnih odzivov pri dendrogeomorfološki analizi je treba upoštevati naslednja dejstva (povzeto po Stoffel in Corona, 2014):

- intenzivnost rastnega odziva na GM-proces je pogosto odvisna od drevesne vrste, starosti dreves in njihovega zdravstvenega stanja. Stara in manj vitalna drevesa so manj občutljivi pokazatelji GM-procesov,
- pri drevesnih z debelejšo skorjo je potreben večja intenzivnost GM-dogodka, da nastane poškodba debla,
- pojav rastnih anomalij je v primeru poškodb in nastanka kalusnega tkiva v deblu dreves lokalno omejen, medtem ko so sproščena rast, zatrta rast ali anomalije trahej vidne vzdolž celotnega debla,
- različni GM-procesi se odražajo v različnih odzivih dreves; ločijo se po tem, kako intenzivno, na kakšen način in v kolikšnem obsegu vplivajo na rast dreves. Na primer: snežni plazovi imajo lahko velik prostorski vpliv in pustijo posledice na številnih drevesih. Po drugi strani pa skalni podori z nekaj večjimi skalami (< 5 m³) navadno poškodujejo le nekaj dreves vzdolž svoje trajektorije,
- določevanje dogodka mora temeljiti na analizi zadostnega števila dreves ter upoštevanju topografije rastišča.

5 ZAKLJUČKI

5 CONCLUSIONS

Dendrogeomorfološka analiza omogoča natančno rekonstrukcijo dinamike GM-procesov, intervalov njihovega pojavljanja ter njihove jakosti. Številni GM-procesi pomenijo tveganje za naravne nesreče, zato razumevanje njihove porazdelitve in pogostnosti pojavljanja zagotavlja ključne informacije, ki so v pomoč pri napovedovanju možnosti pojava naravnih nesreč, zaščiti pred njimi ter pri blaženju njihovih posledic. Datiranje in rekonstrukcija GM-procesov v preteklosti imata pomembno vlogo tudi pri napovedovanju topografskih sprememb v prihodnosti, kar je še posebno izrazito v luči podnebnih sprememb,

saj segrevanje ozračja in napovedano pogostejše pojavljanje ekstremnih vremenskih dogodkov potencialno zelo vpliva na jakost in pogostnost pojavljanja GM-procesov ter z njimi povezanih naravnih nesreč.

6 POVZETEK

Branike so neme priče in dragocen arhiv informacij o minulem dogajanju v okolju. Z analizo njenih značilnosti lahko natančno določimo čas pojavljanja geomorfoloških procesov in dogodkov, ki vplivajo na rast dreves na izpostavljenih območjih. Veda, ki s pomočjo branik proučuje geomorfološke procese (denudacija, poplave, snežni plazovi ter pobočni procesi itd.), se imenuje dendrogeomorfologija. Dendrogeomorfološka analiza temelji na proučevanju rastnega odziva dreves, ki ga je povzročil dogodek kot posledica geomorfološkega procesa. V članku je naveden pregled vplivov geomorfoloških dogodkov in odzivov dreves nanje: ozke oziroma široke branike kot posledica zatrte oziroma sproščene rasti, reakcijski les, poškodbe in nastanek kalusa, tangencialni travmatski smolni kanali, anomalije v trahejah in traheidah v deblu ter razgaljene korenine. Pri dendrogeomorfoloških raziskavah je poleg odzivov dreves nujno treba upoštevati še druge dejavnike, kot so topografija proučevanega rastišča, starost in vrsta proučevanih dreves, število v raziskavo zajetih dreves, prostorska razsežnost geomorfološkega dogodka. Datiranje in rekonstrukcija dinamike geomorfoloških procesov sta pomembna z vidika napovedovanja topografskih sprememb v prihodnosti ter iz vidika posredovanja informacij, ki so v pomoč pri študijah možnosti pojava naravnih nesreč in obrambi pred njimi.

6 SUMMARY

Tree-rings are silent witnesses and precious records of information on the past events in the environment. Analyzing their features we can accurately date the occurrence of geomorphological processes and events affecting the growth of the trees on exposed areas. The science studying geomorphological processes (denudation, floods, avalanches and slope processes etc.) by the use of tree-rings is called dendromorphology. Dendromorphological analysis is based on the study of

tree growth response, caused by an event occurring due to geomorphological process. The article presents a review of impacts of geomorphological events and responses of trees: narrow or wide tree-rings as a consequence of growth suppression or growth release, reaction wood, injuries and callus formation, tangential traumatic resin ducts, anomalies in vessels and tracheids in trunk, and exposed roots. In dendromorphological studies, also other factors, e.g. topography of the studied site, age and species of the studied trees, number of trees comprised in the study, spatial dimension of the geomorphological event, must be considered in addition to tree response. Dating and reconstruction of the dynamic of geomorphological processes are important from the viewpoint of predicting topographical changes in the future and also for passing the information, helpful in predicting the possibilities of natural hazards and protection from them.

7 ZAHVALA

7 ACKNOWLEDGEMENT

Prispevek je bil pripravljen v okviru raziskovalnega programa Gozdna biologija, ekologija in tehnologija P4-0107. Avtorica se zahvaljuje dr. Petru Prislanu in dr. Jožici Gričar za slikovni material.

8 VIRI

8 REFERENCES

- Alestalo, J. 1971. Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. *Fennia*, 105, 1–139.
- Ballesteros-Caňanovas, J. A., Stoffel, M., St George, S., Hirschboeck, K. 2015. A review of flood records from tree rings. *Progress in Physical Geography*, 36, 6: 749–816.
- Cook, E. R., Kairiukstis, L. A. 1990. *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences*. Dordrecht, Kluwer academic publishers: 394 str.
- den Ouden, J., Sass-Klaassen, U., Copini, P. 2007. Dendrogeomorphology - A new tool to study drift-sand dynamics. *Netherlands Journal of Geosciences*, 86, 4: 355–363.
- Dorren, L. K. A., Berger, F., Hir, C. I., Mermin, E., Tardif, P. 2006. Mechanisms, effects and management implications of rockfall in forests. *Forest Ecology and Management*, 215, 183–195.

- Gärtner, H., Heinrich, I. 2009. The of traumatic rows of resin ducts in *Larix decidua* and *Picea abies* (Pinaceae) as a result of wounding experiments in the dormant season. *IAWA Journal*, 30, 2: 199–215.
- Gärtner, H., Schweingruber, F. H., Cikau, R. 2001. Determination of erosion rates by analyzing structural changes in the growth pattern of exposed roots. *Dendrochronologia*, 19, 1: 81–91.
- Gričar J. 2007. Ksilo- in floemogeneza pri beli jelki (*Abies alba* Mill.) in navadni smreki (*Picea abies* (L.) Karst.). (Strokovna in znanstvena dela, 131). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 106 str.
- Hitz, O. M., Gartner, H., Heinrich, I., Monbaron, M. 2008. Wood anatomical changes in roots of European ash (*Fraxinus excelsior* L.) after exposure. *Dendrochronologia*, 25, 145–152.
- Hupp, C. R., Osterkamp, W. R., Thornton, J. L. 1987. Dendrogeomorphic Evidence and Dating of Recent Debris Flows on Mount Shasta, Northern California. Washington, U.S. Geological Survey: 45 str.
- Lundström, T., Jonsson, M. J., Volkwein, A., Stoffel, M. 2008. Reactions and energy absorption of trees subject to rockfall: a detailed assessment using a new experimental method. *Tree Physiology*, 29, 3: 345–359.
- McAuliffe, J. R., Scuderi, L. A., McFadden, L. D. 2006. Tree-ring record of hillslope erosion and valley floor dynamics: Landscape responses to climate variation during the last 400yr in the Colorado Plateau, northeastern Arizona. *Global and Planetary Change*, 50, 184–201.
- Nagy, N. E., Franceschi, V. R., Solheim, H., Krekling, T., Christiansen, E. 2000. Wound-induced traumatic resin duct development in stems of Norway spruce (Pinaceae): anatomy and cytochemical traits *American Journal of Botany*, 87, 3: 302–313.
- Ruelle, J. 2014. Morphology, Anatomy and Ultrastructure of Reaction Wood. V: The Biology of Reaction Wood. Gardiner B. in sod. (ur.). Berlin, Springer: 13–35.
- Santilli, M., Pelfini, M., Cittero, M., Turri, S. 2005. Landscape history in the subalpine karst region of Monocodeno (Lombardy Prealps, Northern Italy). *Dendrochronologia*, 23, 1: 19–27.
- Schweingruber, F. H. 1996. Tree Rings and Environment. *Dendroecology*. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research: 609 str.
- Schweingruber, F. H. 2007. Wood Structure and Environment. Berlin, Springer-Verlag: 269 str.
- Shigo A. L. 1984. Compartmentalization: A Conceptual Framework for Understanding How Trees Grow and Defend Themselves. *Annual Review of Phytopathology*, 22, 189–214.
- Shroder, J. F. 1978. Dendrogeomorphological analysis of mass movement on Table Cliffs Plateau, Utah. *Quaternary Research*, 9, 168–185.
- St. George, S., Outridge, P. M., Nielsen E. 2006. High-resolution dendrochemical analysis of flood-affected oaks using laser ablation ICP-mass spectrometry. *IAWA Journal*, 27, 1: 19–31.
- Stoffel, M. 2008. Dating past geomorphic processes with tangential rows of traumatic resin ducts. *Dendrochronologia*, 26, 53–60.
- Stoffel, M., Bollschweiler, M. 2008. Tree-ring analysis in natural hazards research – an overview. *Natural Hazards and Earth System Science*, 8, 187–202.
- Stoffel, M., Bollschweiler, M., Butler, D. R., Luckman, B. H. 2010. An Introduction. V: Tree Rings and Natural Hazards: A State-of-Art. Stoffel M. in sod. (ur.) Heidelberg, Springer: 3–23.
- Stoffel, M., Corona, C. 2014. Dendroecological dating of geomorphological disturbance in trees. *Tree-ring research*, 70, 1: 3–20.
- Strunk, H. 1997. Dating of geomorphological processes using dendrogeomorphological methods. *Catena*, 31, 137–151.
- Timell, T. E. 1986. Compression Wood in Gymnosperms. Berlin, Springer: 625 str.
- Torelli N. 1986. Zgradba lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 52 str.
- Trappmann, D., Stoffel, M. 2015. Visual dating of rockfall scars in *Larix decidua* trees. *Geomorphology*, 245, 62–72.
- Varnes, J. D. 1978. Slope movement types and processes. V: Landslides, analysis and control. Schuster R. L. in Krizek, R J (ur.). Transportation Research Board: 11–33.
- Winchester, V., Gärtner, H., Bezzi, M. 2007. Dendrogeomorphological applications. V: Geomorphological Variations. Goudie A. S. in sod. (ur.). Nakladatelstvi P3K: 183–203.