

Pregled metod monitoringa dinamike ogljika v drobnih koreninah in z dekompozicijo opada

Review of Monitoring of C Dynamics in Fine Roots and Litter Decomposition

Peter ŽELEZNIK¹, Tine GREBENC², Hojka KRAIGHER³

Izvleček:

Železnik, P., Grebenc, T., Kraigher, H.: Pregled monitoringa dinamike ogljika v drobnih koreninah in z dekompozicijo opada. *Gozdarski vestnik*, 70/2012 št. 1. V slovenščini v izvlečkom v angleščini, cit. lit. 30. Jezikovni pregled angleškega besedila Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

V kopenskih ekosistemih so največje zaloge ogljika (C) v gozdnih tleh. Ponor razpoložljivega C v kemične in biološke strukture v tako heterogenem ekosistemu kot je gozd in predvsem del krogotoka C, ki poteka v tleh, je zaradi omejenega vpogleda v talne procese še posebno slabo znan. Izpust CO₂ z respiracijo korenin in mikroorganizmov in pretok C v organsko komponento tal z dekompozicijo odmrlih organizmov ali njihovih delov je pomemben del krogotoka C v gozdnih tleh. Za namene študije in boljšega poznavanja dinamike C na Gozdarskem inštitutu Slovenije uporabljamo in razvijamo več metod za ocenjevanje parametrov, ki so potrebni za modeliranje dinamike C v gozdnih tleh. V prispevku predstavljamo pregled uporabljenih metod za študije izbranih procesov v gozdnih tleh, predvsem obrata drobnih korenin in dekompozicije opada.

Ključne besede: bilanca C, drobne korenine, dekompozicija, talni ogljik, monitoring

Abstract:

Železnik, P., Grebenc, T., Kraigher, H.: Review of Monitoring of C Dynamics in Fine Roots and Litter Decomposition. *Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry)*, 70/2012, vol. 1. In Slovenian, abstract and summary in English, lit. quot. 30. Proofreading of the English text Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

Carbon (C) storage in forest soils represents the largest terrestrial C pool. The sink of the available carbon into the chemical and biological structures in such a heterogeneous ecosystem as forest and, above all, processes in the soil part of C cycle, are poorly understood because of our limited ability to observe them. The release of CO₂ through respiration of roots and microorganisms is an important part of carbon fluxes; the same is the role of litter decomposition for C flux in the soil organic matter (SOM). At the Slovenian Forestry Institute several research methods for estimation of parameters needed for modeling of C dynamics in forest soils and used in modeling of C budgets in forest ecosystem have been applied and/or developed. In this article we present a short review of methods for studies of the selected processes in forest soils, especially fine root turnover and litter decomposition.

Key words: C budget, fine roots, decomposition, soil carbon, monitoring

1 UVOD

V gozdnih tleh pomeni ogljik (C) njegovo največjo kopensko zalogo (WATSON et al., 2001). Tok ogljika iz tal in vanje je relativno preprosto oceniti, malo pa vemo o procesih v ozadju pretokov. Zelo poenostavljene predstavitve dinamike C v gozdnih tleh, uporabljene v splošnih, velikopovršinskih modelih, so v nasprotju z rezultati novejših raziskav dinamike C v tleh. Vnos C v tla poteka z odmiranjem delov ali celote primarnih producentov in z njimi povezanih organizmov oziroma organizmov, ki se selijo v tla in tam odmrejo ali vplivajo na skupno podzemno biomaso. Ocene vrednosti obrata korenin, t. j. obdobje od začetka njihove rasti do njihovega odmrtnja (ŽELEZNIK et

al., 2008, GREBENC/KRAIGHER 2009) so zelo nezanesljive, poleg tega pa v preračunih pogosto zanemarimo številne procese, na primer vnos C skozi hife mikoriznih simbiotov ali učinek povečanih koncentracij CO₂ in temperature v okolju.

Čeprav drobne korenine (premer <2 mm) gozdnih dreves prispevajo manj kot 2 % k drevesni biomasi v odraslih sestojih (t. j. 6 do 8 t/ha v zmernih in borealnih gozdovih), veliko prispevajo

¹ P. Ž. Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana

² T. G., dr., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana

³ H. K., prof. dr., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana

k talnim zalogam C, saj gre za organe, ki lahko preživijo od nekaj tednov do nekaj let in imajo torej različno hiter obrat/različno dolgo življenjsko dobo (GODBOLD/BRUNNER, 2007, GREBENC/KRAIGHER, 2009).

Talne razmere v gozdnih ekosistemih lahko vrednotimo tudi na temelju drobnih korenin. Drobne korenine lahko uspešno določujemo do vrste z anatomskimi, morfološki in molekularnimi postopki, njihova prisotnost in številčnost pa je v korelaciji z razmerami v okolju. V pregledni študiji (CUDLIN et al., 2007) smo ugotovili, da se biomasa in dolžina značilno zmanjšujeta v primeru zakisovanja rastišč (kisli depoziti) in sušnega stresa oziroma se kaže pozitiven učinek povečane koncentracije CO₂ na celotno biomaso. Depozit dušikovih spojin in povečane koncentracije troposfernega ozona so različno vplivale na drobne korenine, kar je bilo odvisno od konkretnih poskusnih razmer. Drobne korenine različnih vrst se lahko vrstno specifično odzivajo na razmere v okolju (FINÉR et al., 2007.)

Na Gozdarskem inštitutu Slovenije smo razvili ali vpeljali več metod za študije izbranih procesov v gozdnih tleh, s katerimi dobivamo vpogled v delovanje talnega ekosistema, še posebno v dinamiko razvoja in razkroja rastlinskih korenin, hkrati pa tudi gliv in drugih talnih organizmov.

2 PREGLED UPORABLJENIH METOD

2.1 Vzorčenje tal s sondo

Standardizirano in sistematično vzorčenje je pogoj za vsako uspešno analizo (KRAIGHER/AGERER, 2000). Za vzorčenje tal (organske in anorganske komponente) s standardizirano sondo odvajamo vzorec do različnih globin, lahko tudi do matične podlage. Nadaljnja analiza poteka v laboratoriju, kjer določene frakcije vzorca (npr. korenine, ektomikoriza, pedofavna) od celote izločimo s pomočjo ali v odsotnosti vode, odvisno od tega, ali na zemljini opravljamo dodatne kemične analize ali pa nas zanima samo živa komponenta tal.

V Sloveniji smo metodo uporabljali od začetka raziskav tipov ektomikorize na različno onesnaženih območjih (Kraigher, 1995; 1999), predvsem kot sekvenčno vzorčenje. Z zaporednim vzorčenjem tal med letom dobimo podrobnejše

informacije o stanju v tleh, o rasti in razkroju drobnih korenin in sukcesijah tipov ektomikorize (npr. KRAIGHER et al., 1996, 2007; KRAIGHER, 1999, GREBENC et al., 2009, AL SAYEGH PETKOVŠEK, 2004, 2005).

V okviru monitoringov stanja gozdnih ekosistemov smo metodo uporabili kot dopolnitev projekta v okviru programa Forest Focus (2005–2006) z imenom BioSoil (ŽELEZNIK et al., 2007). Omejen projekt je bil kot demonstracijski pilotni poskus monitoringa sprememb v gozdnih tleh, s posebnim poudarkom na količini talnega C kot indikatorja delovanja tal in glavnega parametra pri modeliranju procesov v tleh. Shema poskusa je predvidevala odvzem petih vzorcev tal s sondo na 15 od 45 vzorčnih ploskev 16 km x 16 km mreže. Posamezen vzorec je bil vzorčen po plasteh (plast opada, organski horizont, mineralni horizont po vnaprej določenih globinah) do matične podlage. Debele in drobne korenine smo ročno izločili iz vzorcev in jih očistili pod tekočo vodo. Nato smo z optičnim čitalcem zajeli njihove obrisne in jih analizirali s programskim orodjem za analize korenin WinRhizo Pro (Regent Instruments Inc., Kanada). Po sušenju smo izmerili še njihovo suho težo (biomaso) ter del očiščenih korenin namenili za analize vsebnosti hranil, težkih kovin in drugih anorganskih elementov. Del drobnih korenin smo še pred sušenjem odvzeli za analizo prisotnosti mikoriznih gliv in na drobne korenine vezanih populacij bakterij.

Z metodo lahko ocenimo spreminjanje biomase talnega rastlinstva, živalstva in različnih skupin mikroorganizmov. Izmerjeni parametri so tudi podlaga za izračunavanje talne produkcije rastlin.

2.2 Dekompozicijske mrežice

Dekompozicijske mrežice so žepi, narejeni iz inertnega mrežastega plastičnega materiala. Velikost (stična površina s tlemi) se spreminja glede na namen poskusa, v našem primeru smo uporabili mrežice velikosti 11 cm x 11 cm z velikostjo odprtih mreže okoli 1 mm x 1 mm. Velikost por je bistvena, saj omejuje vstopanje makrofavne in debelejših korenin ter posledično njihov vpliv na dekompozicijski proces. Mrežice so napolnjene z različnimi materiali (opadom). Kot referenčni

material uporabljamo čisto celulozo, kot primere opada pa liste, vejice različnih premerov ter drobne korenine, vedno iz istega odvzemnega mesta. Tako lahko proučujemo dinamiko razkroja za vsako kategorijo opada ločeno. Dekompozicijske mrežice vstavimo v tla vertikalno ali pod kotom v zgornjih 10 cm tal oziroma na organski horizont, vanj ali podenj. Dekompozicijske mrežice vzorčimo v izbranih časovnih intervalih, določenih glede na njihovo vsebino in predvideno dinamiko razkroja. Po izpostavitvi vzorčene dekompozicijske mrežice v plastičnih vrečkah prenesemo v laboratorij, kjer jih do analiz razpadanja substrata, sprememb v kemijski sestavi ali na substrat vezane mikrobiote shranjujemo v hladilniku. Hitrost razkroja ocenjujemo kot zmanjševanje mase vzorcev glede na njihovo začetno težo (BOCOCK/GILBERT, 1957, GREBENC/KRAIGHER, 2009).

Na Gozdarskem inštitutu Slovenije v trenutno potekajočih poskusih dekompozicijske mrežice uporabljamo v treh raziskovalnih sklopih:

- raziskave dinamike drobnih korenin različnih provenienc bukve v različnih bukovih sestojih, različnih fazah razvoja in raziskave vpliva težke mehanizacije na tla in korenine (ploskve Kamenski hrib, Blegoš, Snežna jama, Rajhenavski Rog ter na Osankarici na Pohorju (npr. ŽELEZNIK et al., 2011),
- raziskave rizoremediacije tal s pridelavo lesa (deponija TEŠ, Paški Kozjak (LESKI et al., 2009, AL SAYEGH PETKOVIŠEK et al., 2010)),
- raziskave dekompozicije na naravnih rastiščih različnih drevesnih vrst v submediteranu (dob, bodika, skorš, poljski jesen, termofilna rastišča bukve).

Analiza dekompozicijskih mrežic omogoča oceniti hitrost razgradnje ter razpolovni in terminalni čas razgradnje za posamezno komponento opada. Iz preostanka opada v mrežicah lahko nadalje ugotavljamo spremembe v količini hranil ali pa analiziramo populacije dekompozitorskih organizmov – razkrojevalcev opada. Vse to omogoča pridobiti parametre hitrosti razgradnje, ki jih lahko neposredno uporabimo v modelih kroženja ogljika (npr. eksperimentalni model ANAFORE (DECKMYN ET AL., 2011) idr.)

2.3 Vrstne mrežice

Metoda vrstnih mrežic temelji na izpostavljanju zemljine brez korenin v porozno posodo (»mrežico«), vstavljeno v tla (PERSSON, 1979, LUKAC/GODBOLD, 2001). Omogoča nam proučevanje vraščanja drobnih korenin, t. j. korenin, tanjših od 2 mm, ki opravljajo funkcijo privzema vode in hranil. V naših raziskavah smo uporabili mrežice z odprtini 2 in 5 mm, narejene iz odporne inertne plastične mase. Mrežice so napolnjene s presejano zemljino, največkrat izkopano kar na ploskvah.

Drobne korenine iz nedotaknjene okolice preko odprtin znane velikosti neovirano vraščajo v notranjost mrežice. Po določenem času vrstne mrežice odstranimo iz zemlje in analiziramo vrasle korenine. Iz vzorcev zemlje izločimo korenine s pomočjo sistema sit s padajočo velikostjo odprtini in spiranja z vodo. Korenine razdelimo na korenine lesnatih in nelesnatih vrst. Nadalje korenine lesnatih vrst razdelimo na vitalne in na stare neturgescentne korenine in jih po potrebi (na primer vzorci mešanih sestojev) glede na morfološke in anatomske ali/in molekularne značilnosti določamo do vrste. Slike izbranih skupin korenin nato zajamejo na optičnem čitalcu in obdelamo s programom WinRhizo, ki izmeri parametre korenin (dolžina, premer, volumen, število vršičkov ...). Zatem korenine posušimo in stehamo, da ugotovimo njihovo suho težo. V okviru potekajočih poskusov na Gozdarskem inštitutu Slovenije vrstne mrežice uporabljamo in analiziramo na več raziskovalnih ploskvah s prevladujočo bukvijo (Kamenski hrib, Blegoš, Snežna jama, Rajhenavski Rog ter na Osankarici na Pohorju).

Podatki iz vrstnih mrežic so v kombinaciji z rezultati vzorčenj tal s sondo temelj za izračunavanje dinamike razvoja korenin, nastanka biomase, dolgoživosti korenin oz. obrata korenin in s tem povezanega pretoka ogljika.

2.4 Minirizotroni

Minirizotroni omogočajo najmanj destruktivno metodo opazovanja dinamike razvoja korenin skozi daljše časovno obdobje. Pred samim začetkom analiz moramo minirizotrone vstaviti

v vrtine v tleh. Gre za vstavitev cevi, narejenih iz prozornih umetnih mas, ki omogočajo tesen stik s substratom ter trajno prosojnost in možnost zajemanja slike površine cevi v daljšem časovnem obdobju (več let, desetletje). V ceveh v poljubnih intervalih zajemamo slike s pomočjo posebne opreme, ki je sestavljena iz prilagojene video kamere na držalu, ki pošilja video signal (sliko površine cevi, ki je v stiku s tlemi) v pretvornik video signala. Ta posreduje digitalni signal na prenosni računalnik, na katerem s posebnim uporabniškim vmesnikom zajemamo slike. Ker kamero vpneemo v cev s posebnim držalom, slike vedno snemamo na istih mestih, kar omogoča določanje in spremljanje razvoja vedno istih korenin v poljubno dolgih zaporednih časovnih intervalih (MAJDI, 1996). Zajete slike analiziramo z računalniškim programom WinRhizoTron MF (Regent Instruments Inc., Kanada).

V zadnjem desetletju so raziskave rasti drobnih korenin z uporabo minirizotronov hitro napredovale, predvsem na področju materialov prozornih cevi, njihove prosojnosti in vplivov na neposredno okolico (WITHINGTON et al., 2003). Na uporabnost rezultatov vpliva tudi pogostost vzorčenja in kakovost (ločljivost) zajetih slik (JOHNSON et al., 2001, TINGEY et al., 2003). Podatki, pridobljeni z analizami v minirizotronih, so se v preteklosti izkazali kot najzanesljivejša ocena produkcije korenin (HENDRICKS et al., 2006), čeprav v praksi analiziramo le dvodimenzionalno sliko površine cevi. V tleh vstavljanje cevi povzroči določeno motnjo, zato moramo od vstavljanja do zajemanjem prvih slik počakati od pol do enega leta, da se struktura tal neposredno ob cevi stabilizira (BURKE/RAYNAL, 1994, JOSLIN/WOLFE, 1999, JOSLIN et al., 2000), kar lahko bistveno podaljša na novo začete poskuse. Analize korenin z minirizotroni v že vzpostavljenem sistemu omogočajo redno in dolgotrajno neinvazivno analiziranje dinamike pojavljanja, rasti in odmiranja korenin v gozdnih tleh.

Na Gozdarskem inštitutu Slovenije uporabljamo minirizotrone v okviru potekajočih poskusov na bukovih raziskovalnih ploskvah (Kamenski hrib, Blegoš, Snežna jama, Rajhenavski Rog ter na Osankarici na Pohorju).

Pri analizi posnetkov iz minirizotronov imamo

možnost spremljanja posamezne korenine ali skupine korenin skozi daljša časovna obdobja, kar omogoča vpogled v dinamiko razvoja korenin in njihovo dolgoživost, kar je temelj za izračunavanje obrata korenin.

3 POVZETEK

Na Gozdarskem inštitutu Slovenije uporabljamo pester nabor metod za raziskave dinamike ogljika v rizosferi. Podatki, potrebni za modeliranje C v slovenskih gozdovih, so še vedno pomanjkljivi, zato je pomembno, da se omenjene metode raziskav korenin v tleh uporabijo na čim večjem številu rastišč, saj so gozdna tla zelo heterogen sistem celo znotraj posameznega rastišča. Pogostejša uporaba omogoča tudi potreben razvoj starih in uvajanje novih metod raziskav življenjske dobe drobnih korenin, kar vodi k izboljšanju naših končnih ocen pretokov ogljika v gozdnem ekosistemu.

4 VIRI

- AL SAYEGH-PETKOVŠEK, S., 2004. Raznovrstnost tipov ektomikorize v bukovih sestojih različno onesnaženih gozdnih ploskev = Biodiversity of types of ectomycorrhizae in fagus stands in differently polluted forest research plots.- Zbornik gozdarstva in lesarstva, 75, s. 5–19.
- AL SAYEGH-PETKOVŠEK, S., 2005. Vrstna sestava ektomikoriznih talnih združb bukovih sestojev različno onesnaženih gozdnih ploskev. = Belowground ectomycorrhizal fungal communities at fagus stands in differently polluted forest research plots.- Zbornik gozdarstva in lesarstva, 76, s. 5–38.
- AL SAYEGH-PETKOVŠEK, S./BOŽIČ, G./KRAIGHER, H./LEVANIČ, /POKORNY, B., 2010. Fitoremediacija s kovinami onesnaženih tal z uporabo sadik dreves = Phytoremediation of metal contaminated soil with the use of tree seedlings.- Zbornik gozdarstva in lesarstva, 92, s. 67–86.
- BOCOCK, K. L./GILBERT, O. J., 1957. The disappearance of leaf litter under different woodland conditions.- Plant and Soil, 9, s. 179–185.
- BURKE, M. K./RAYNAL, D. J., 1994. Fine root growth phenology, production, and turnover in a northern hardwood forest ecosystem.- Plant and Soil, 162, 1, s. 13–146.
- CUDLIN, P./KIELISZEWSKA-ROKICKA, B./

- RUDAWSKA, M./GREBENC, T./ALBERTON, O./LEHTO, T./BAKKER, M. R./BØRJA, I./KONOPKA, B./LESKI, T./KRAIGHER, H./KUYPER, T. W., 2007. Fine roots and ectomycorrhizas as indicators of environmental change.- *Plant Biosystems*, 141, 3, s. 406–425.
- DECKMYN, G. I./CAMPIOLI, M./MUYS, B./KRAIGHER, H., 2011. Simulating C cycles in forest soils : including the active role of microorganisms in the ANAFORE forest model.- *Ecological modelling*, 222, 12, s. 197–1985.
- FINER, L./HELMISAARI, H. S./LÖHMUS, K./MAJDI, H./BRUNNER, I./BØRJA, I./ELDHUSET, T./GODBOLD, D./GREBENC, T./KONOPKA, B./KRAIGHER, H./MÖTTÖNEN, M.-R./OHASHI, M./OLEKSYN, J./OSTONEN, I./URI, V./VANGUELOVA, E., 2007. Variation in fine root biomass of three European tree species: Beech (*Fagus sylvatica* L.), Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.), and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Plant Biosystems*, 141, 3, s. 394–405.
- GREBENC, T./KRAIGHER, H., 2009. Interakcije v mikorizosferi določajo dinamiko ogljika v ekosistemu bukovih gozdov. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 88, s. 1–62.
- GREBENC, T./CHRISTENSEN, M./VILHAR, U./ČATER, M./MARTIN P. M./SIMONČIČ, P./KRAIGHER, H., 2009. Response of ectomycorrhizal community structure to gap opening in natural and managed temperate beech-dominated forests. *Canadian journal of forest research*, 39, 7, s. 1375–1386.
- GODBOLD, D. L./BRUNNER, I., 2007. The platform for European root science, COST E38: An introduction and overview. *Plant Biosystems*, 141, 3, s. 390–393.
- GREEN, J./DAWSON, L./PROCTOR, J./DUFF, E./ELSTON, D., 2005. Fine root dynamics in a tropical rain forest is influenced by rainfall. *Plant and Soil*, 276, 1, s. 23–32.
- HENDRICKS, J. J./HENDRICKS, R. L./WILSON, C. A./MITCHELL, R. J./PECOT, S. D./GUO, D., 2006. Assessing the patterns and controls of fine root dynamics: an empirical test and methodological review. *Journal of Ecology*, 94, 1, s. 40–57.
- JOHNSON, M. G./TINGEY, D. T./PHILLIPS, D. L./STORM, M. J., 2001. Advancing fine root research with minirhizotrons. *Environmental and Experimental Botany*, 45, 3, s. 263–289.
- JOSLIN, J. D./WOLFE, M. H., 1999. Disturbances during minirhizotron installation can affect root observation data. *Soil Science of America Journal*, 63, s. 218–221.
- JOSLIN, J. D./ WOLFE, M. H./HANSON, P. J., 2000. Effects of altered water regimes on forest root systems. *New Phytologist*, 147, 1, s. 117–129.
- KRAIGHER, H./BATIČ, F./AGERER, R., 1996. Types of ectomycorrhizae and mycobioremediation of forest site pollution. *Phyton*, 36, 3, s. 115–120.
- KRAIGHER, H., 1997. Mikobioindikacija onesnaženosti dveh gozdnih rastišč = Mycobioremediation of pollution of two forest sites. V: ROBEK, Robert (ur.). *Proučevanje propadanja gozdov v Sloveniji v obdobju 1985–1995* (Zbornik gozdarstva in lesarstva, Tematska številka, 52). Ljubljana: Gozdarski inštitut: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo: Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, s. 279–322.
- KRAIGHER, H., 1999. Diversity of types of ectomycorrhizae on Norway spruce in Slovenia. *Phyton*, 39, 3, s. 199–202.
- KRAIGHER, H. / AGERER, R., 2000. Identification and characterisation of types of ectomycorrhizae. V: MARTÍN, María P. (ur.). *Methods in root-soil interactions research : protocols compiled for the Technical Workshop of the COST E6 Action Eurosilva »Forest Tree Physiology Research« held in Gozd Martuljek, Slovenia, September 8, 1999.*- Ljubljana: Slovenian Forestry Institute, s. 29–34.
- KRAIGHER, H. / AL SAYEGH-PETKOVŠEK, S. / GREBENC, T. / SIMONČIČ, P., 2007. Types of ectomycorrhiza as pollution stress indicators : case studies in Slovenia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 128, 1, s. 31–45.
- LESKI, T. / BAJC, M. / AL SAYEGH-PETKOVŠEK, S. / RUDAWSKA, M. / KRAIGHER, H., 2009. Ectomycorrhizal community structure on roots of trees planted in the mixture of soils and ashes from the thermal power plant. V: UKONMAANAHO, Liisa (ur.), NIEMINEN, Tiina M. (ur.), STARR, Mike (ur.). BIOGEOMON 2009, 6th International Symposium on Ecosystem Behaviour, June 29th - July 3rd, 2009, Helsinki. *Conference programme & abstracts*. (Working papers of the Finnish forest research institute, vol. 128).- Helsinki: University of Helsinki, s. 417.
- LUKAC, M. / GODBOLD, D. L., 2001. A modification of the ingrowth-core method to determine root production in fast growing tree species.- *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 164, 6, s. 613–614.
- MAJDI, H., 1996. Root sampling methods- applications and limitations of the minirhizotron technique.- *Plant*

- and Soil, 185, s. 255-258.
- PERSSON, H. A., 1979. Fine-root production, mortality and decomposition in forest ecosystems.- *Vegetatio*, 41, 2, s. 101-109.
- TINGEY, D. T. / PHILLIPS, D. L. / JOHNSON, M. G., 2003. Optimizing minirhizotron sample frequency for an evergreen and deciduous tree species.- *New Phytologist*, 157, 1, s. 155-161.
- WATSON, R.T. / NOBLE, I.R. / BOLIN, B. / RAVINDRANATH, N.H. / VERERDO, D.J. / DOKKEN, D.J., 2001. IPCC Special Report on Land Use, Land-Use Change and Forestry. Print version URL: http://www.grida.no/climate/ipcc/land_use/index.htm. (Last visited on 10.08.2007).
- WITHINGTON, J. M. / ELKIN, A. D. / BULAJ, B./ OLESINSKI, J. / TRACY, K. N. / BOUMA, T. J. / OLEKSYN, J. / ANDERSON, L. J. / MODRZYNSKI, J. / REICH, P. B. / EISENSSTAT, D. M., 2003. The impact of material used for minirhizotron tubes for root research.- *New Phytologist*, 160, s. 533-544.
- ŽELEZNIK, P. / SIMONČIČ, P. / KRAIGHER, H. 2007. Root growth parameters in monitoring of forest soils in Slovenia. V: *Book of abstracts*.- Bangor: University of Wales, s. 164.
- ŽELEZNIK, P. / MALI, B. / ROBEK, R. / SIMONČIČ, P. / KRAIGHER, H. 2011. Vpliv težke mehanizacije na strojno sečnjo na tla in drobne korenine. V: KRČ, Janez (ur.). *Odzivi gozdne tehnike in gozdarstva na spremenjene razmere gospodarjenja : zbornik razširjenih izvlečkov*. 1. izd.- Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, s. 39-41.