

GDK: 164.5:416.11:181.45(045)=163.6

Prispelo / Received: 13.01.2012

Sprejeto / Accepted: 14.02.2012

Pregledni znanstveni članek
Scientific review paper

Metoda preučevanja sledi iglic terminalnega poganjka

Simon POLJANŠEK¹, Primož OVEN², Risto JALKANEN³, Tom LEVANIČ⁴

Izvleček

Metoda preučevanja sledi iglic terminalnega poganjka, ali krajše metoda sledi iglic (ang.: *needle trace method*), retrospektivno beleži starost iglice v trenutku, ko odpade, ter preučuje vpliv okoljskih in biotskih dejavnikov na številne izpeljane podatke, ki temeljijo na ugotovljeni življenjski dobi iglice. Z izvedbo metode pridobimo podatke o dolžini višinskih prirastkov ter številu sledi iglic v posameznih branikah vseh višinskih prirastkov. Z izračunanimi kazalniki je mogoče oceniti fizično stanje krošnje preučevanega drevesa. Metoda je bila razvita na Finskem na rdečem boru (*Pinus sylvestris* L.), kmalu pa uporabljena tudi na drugih iglavcih. Uporablja se na področju dendrokronologije, gozdne ekologije, patologije in entomologije. V članku avtorji predstavljajo osnovno morfologijo sledi iglic, osnovno idejo metode in njeno uporabnost v okoljskih študijah ter izpeljane kazalnike, kot so relativno število sledi iglic ter zadrževanje, izguba, odmet, starost, dolgoživost, gostota, letni prirast števila in zaloga iglic.

Ključne besede: iglavec, rdeči bor, listni aparat, kazalnik, okolje, onesnaževanje, defoliacija

Needle trace method

Abstract

*Needle trace method retrospectively records the needle age at the time of its fall-off and studies the influence of the environmental and biotic factors on needle proxies. Data on height increments and number of needle traces in tree-rings of individual growth shoot are collected. With needle proxies, the tree crown's physical condition is evaluated. The method was developed in Finland on Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) and soon used on many other conifers. Its application is in dendrochronology, forest ecology, pathology and entomology. In this paper, the structure of needle trace is described, background of the method, its usage and the needle proxies: relative number of needle traces, needle retention, needle loss, needle shed, needle age, needle longevity, needle density, needle production and needle pool.*

Key words: conifer, Scots Pine, crown, needle proxy, environment, pollution, defoliation

1 Uvod

1 Introduction

Vsako pomlad zraste na obstoječih poganjkih borov (*Pinus* spp.), jelk (*Abies* spp.), smrek (*Picea* spp.) in drugih vednozelenih iglavcih nov poganjek z novim polnim setom iglic, jeseni pa povprečno en set najstarejših iglic odpade. Povprečno število hkrati obstoječih setov iglic na drevesu je vrstno značilno, odklon od povprečja pa je posledica odziva drevesa na okoljske dejavnike. Eden izmed kazalnikov stanja gozdov je osutost drevesnih krošenj. Delež manjkajočih asimilacijskih organov se najpogosteje ocenjuje okularno, kar je sicer slabost izbrane inventurne metode. Za natančnejše merjenje osutosti je bila na Finskem na rdečem boru (*Pinus sylvestris* L.) razvita

metoda preučevanja sledi iglic terminalnega poganjka (JALKANEN / AALTO / KURKELA 1994a) (ang. *needle trace method* = NTM), kar lahko poslovenimo kot metoda sledi iglic. NTM omogoča pridobitev podatkov o življenjski dobi iglic pod terminalnim poganjkom. Dolgoživost iglic vzdolž debla in vej sta značilno povezani (JALKANEN *et al.* 2000), zato dobljeni izsledki s terminalnega (vrhnjega) poganjka veljajo za vso krošnjo. NTM je bila v Sloveniji uporabljena že dvakrat; prvič pri raziskavi vpliva redčenja na rast rdečega bora (JALKANEN / LEVANIČ 2001) in drugič pri primerjavi rasti navadne smreke (*Picea abies* L.) z dveh rastišč (LEVANIČ *et al.* 2006). Kljub temu NTM v slovenskih prispevkih še ni bila podrobno opisana. Namen tega prispevka je razložiti nastanek, morfologijo in dimenzije sledi iglic, opisati izvedbo metode, definirati osnovne in izpeljane kazalnike metode ter predstaviti njeno

¹ S.P., univ. dipl. inž., Gozdarski inštitut Slovenije, SI-1000 Ljubljana, Slovenija simon.poljansek@gozdis.si

² Prof.dr., P.O., UL, BF, odd. za lesarstvo, SI-1000 Ljubljana, primoz.oven@bf.uni-lj.si

³ D.Sc., Ph.D., R.J., Finnish Forest Research Institute, FI-96301 Rovaniemi, Finland, risto.jalkanen@metla.fi

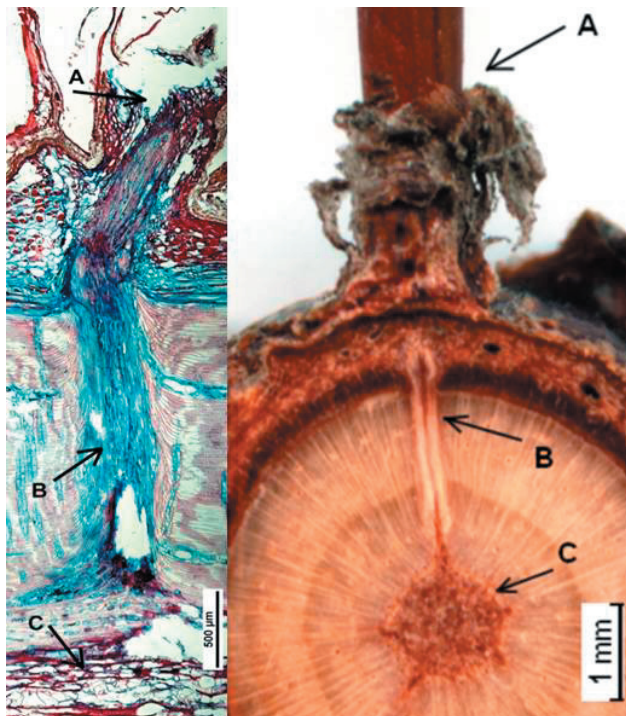
⁴ Doc.dr., T.L., Gozdarski inštitut Slovenije, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, tom.levanic@gozdis.si

uporabo v raziskavah rasti in odzivnosti drevesnih vrst na okoljske dejavnike.

1.1 Morfologija in dimenzije sledi iglic

1.1 Morphology and dimensions of needle traces

Za predstavnike *Abies*, *Cedrus*, *Larix*, *Picea*, *Pinus*, *Pseudotsuga* in *Tsuga* so značilni listi igličaste oblike. V nasprotju z luskastimi listi, ki so na primer značilni za araukarijevke (*Araucariaceae*), se pri iglastih listih pojavljata samo eden ali dva nerazvejena vaskularna pramena (MAUSETH 1988). Pramen prevodnih tkiv mnogih iglavcev vsebuje vaskularni kambij, ki proizvaja sekundarni floem, in le malo ali nič sekundarnega ksilema (MAUSETH 1988). Pramen prevodnih tkiv, ki poteka skozi ksilemske branike in povezuje notranjost iglice s prevodnim sistemom poganjka, predstavlja sled iglice (GIBSON 2010). Podobno sled v braniki imajo kratki poganjki borov (ang. *short shoot*). To so iglični ovoji, v katerih so iglice združene v skupine po 2 (npr. *P. sylvestris*, *P. nigra*), 3 (*P. ponderosa*, *P. radiata*), 4 (*P. quadrifolia*) ali 5 iglic (*P. cembra*, *P. longaeva*). Ti poganjki dodatno vključujejo še stržen, ki ga obdaja ksilem. Z izrazom sled iglic tako označujemo tudi sledi kratkih poganjkov, ki so vidne v lesu borov (Slika 1). Premer sledi iglic se

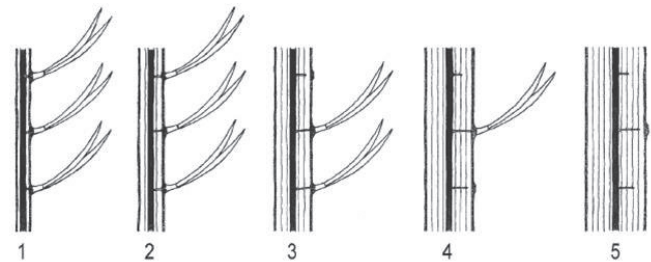


Slika 1: Mikrografija tangencialnega prereza sledi iglice pri rdečem boru (*Pinus sylvestris*) in makroskopska slika sledi iglice na prečnem prerezu dve leti starega poganjka; A označuje iglico in iglični ovoj, B sled iglice od skorje do stržena ter C stržen.

Figure 1: Micrograph of tangential section of needle trace in Scots Pine (*Pinus sylvestris*) and macroscopy of needle trace in cross-section of two years old shoot; A marks needle with needle fascicle, B needle trace from bark to pith, and C pith.

razlikuje med drevesnimi vrstami in med iglicami z različnih poganjkov istega osebka, ne pa med sledmi iglic z istega poganjka. Njihov premer je v sorazmerju z dolžino in težo suhe iglice, povezave z drugimi morfološki značilnostmi iglic (širina, debelina in morfologija) pa niso statistično značilne, zato preučevanje morfologije iglic prek njihovih sledi ni možno (PENSA / AALTO / JALKANEN 2004). V povprečju znaša premer sledi iglice pri rdečem boru $233 \pm 30 \mu\text{m}$, navadni tisi (*Taxus baccata*) $141 \pm 19 \mu\text{m}$, duglaziji (*Pseudotsuga menziesii*) $121 \pm 30 \mu\text{m}$, navadni smreki (*Picea abies*) $80 \pm 18 \mu\text{m}$ ter sibirski jelki (*Abies sibirica*) $85 \pm 21 \mu\text{m}$.

Pramen prevodnih tkiv se razteza od stržena poganjka skozi branike in skorjo poganjka do baze iglice. Ob odmrtnosti iglice celice abscizijskega tkiva prekinejo pretok snovi med iglico in deblom, zato se pecelj iglice oziroma steblo kratkega poganjka prelomi. Na tem mestu kambij ne proizvaja več parenhimskih celic, temveč začne proizvajati lesna vlakna poganjka. Zaradi tega sega sled iglice od stržena do mesta v braniki tistega leta, v katerem je bila iglica odvržena (Slika 2).



Slika 2: Razvoj od 1- do 5-letnega poganjka s sledmi iglic v radialnem prerezu; povzeto po: Jalkanen *et al.* (2000)

Figure 2: Development over five growing seasons of short shoots in radial vision; after: Jalkanen *et al.* (2000)

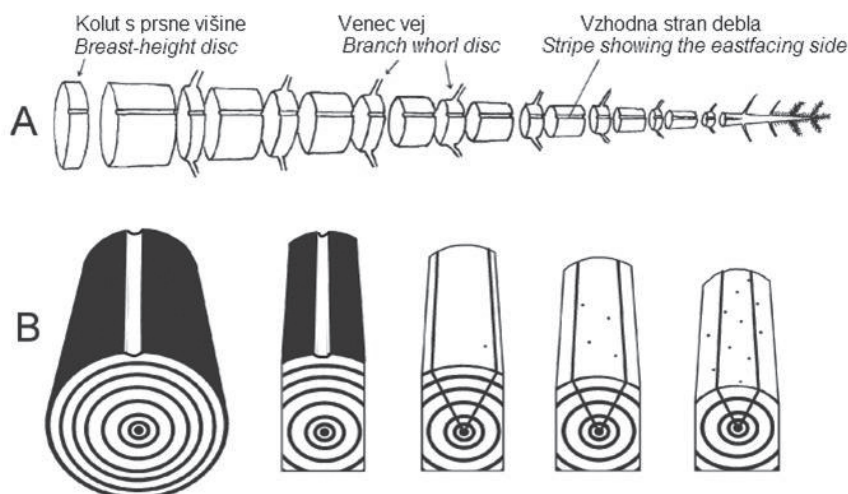
2 Opis metode

2 Method description

Za izvedbo metode je treba posekati drevo, zato jo uvrščamo med destruktivne raziskovalne metode. NTM se opravlja na vzhodni strani debla oziroma terminalnega poganjka, zato to smer na deblih posekanih dreves označimo z zarezo (Slika 3A). Vzhodna stran najbolj ponazarja variabilnost zadrževanja iglic (JALKANEN / AALTO / KURKELA 2000), zato štetje opravimo le na tem delu, število iglic celotnega oboda pa dobimo z izračunom. Po poseku drevesa najprej izmerimo višinske letne prirastke, sledi razrez stebela na letne višinske prirastke (Slika 3A). Iz sredine vsakega višinskega prirastka odrežemo kolut, na spodnji del zapišemo njegovo zaporedno številko in preštujemo branike. Število branik na teh kolutih se mora ujemati z zaporedno številko višinskega prirastka. Tudi skupno število višinskih prirastkov se mora ujemati s številom branik na kolutu s prsne višine. Dolžine kolutov

upoštevamo pri kasnejših izračunih. Sledi iglic pričakujemo samo v prvih nekaj branikah od stržena navzven, zato lahko odstranimo branike, v katerih zagotovo ni sledi iglic. Sledi iglic so lahko s prostim očesom slabo vidne, zato jih iščemo s previdnim in postopnim rezanjem tangencialne ravnine branike oziroma vzorca, v radialni smeri od skorje proti strženu (Slika 3B). Sledi iglic štejemo v kasnem lesu vsake branike na površini vzorca, ki jo določata dolžina vzorca in ostri kot (npr. 50, 60 ali 70 stopinj) trikotnika, ki ga skiciramo na prečnem prerezu vzorca (Slika 3B).

Seštevek sledi iglic za posamezen poganjek (višinski prirastek) in posamezno braniko (leto) zapišemo v vnaprej pripravljeno tabelo (Slika 4), ki vsebuje tudi podatke o kotu trikotnika, letnem višinskem prirastku ter dolžini vzorca. Število proizvedenih iglic na vzorcu po celotnem obsegu izračunamo z upoštevanjem števila sledi iglic v najstarejši (prvi) braniki ter deležu obsega vzorca, vzetega v analizo. Ob upoštevanju kota trikotnika, dolžin vzorčenih poganjkov, višin letnih prirastkov ter naštetih sledi iglic dobimo z računskimi postopki različne kazalnike sledi iglic.



Slika 3: (A) Razrez debla na letne višinske prirastke, zarezja označuje na vzhod obrnjeno stran debla (B) Del debla, označen z zarezo, izžagamo in ga uporabimo za nadaljnjo analizo. Sledi iglic se štejejo na tangencialni ravnini branike oz. vzorca; povzeto po Aalto in Jalkanen (1998).

Figure 3: (A) Cutting a stem into annual sections (bolts), cut points east. (B) Parts of disks with marked east side are additionally cut, inventory of needle traces using an arc surface is done on tangential side; after Aalto and Jalkanen (1998).

| Zap. št. prirastka | Leto rasti | Višinski prirastek [cm] | Dolžina vzorca [mm] | Kot 1/360° | Število sledi iglic v posamezni braniki | | | | | | | | | | Število sledi iglic na vzorcu | | | | |
|--------------------|------------|-------------------------|---------------------|------------|---|----|----|---|---|---|----|----|----|----|-------------------------------|----|-----|-----|----|
| | | | | | ... | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | | 2 | 1 | | |
| 1 | 2011 | 25 | 95 | 360 | | | | | | | | | | | | | 112 | 112 | |
| 2 | 2010 | 14 | 74 | 360 | | | | | | | | | | | | 85 | 85 | 85 | |
| 3 | 2009 | 19 | 99 | 360 | | | | | | | | | | | 76 | 78 | 78 | 78 | |
| 4 | 2008 | 17 | 83 | 360 | | | | | | | | | | | 62 | 65 | 68 | 68 | 68 |
| 5 | 2007 | 20 | 95 | 70 | | | | | | | 11 | 13 | 14 | 14 | 14 | | | 72 | |
| 6 | 2006 | 23 | 95 | 70 | | | | | | | 8 | 10 | 12 | 12 | 12 | | | 61 | |
| 7 | 2005 | 22 | 86 | 70 | | | | | | | | 11 | 11 | 13 | 13 | | | 65 | |
| 8 | 2004 | 19 | 92 | 70 | | | | | | | 3 | 8 | 8 | 10 | 10 | | | 50 | |
| 9 | 2003 | 21 | 90 | 70 | | | | | | | | 5 | 9 | 9 | 9 | 12 | | 61 | |
| ... | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 53 | 1959 | 32 | 85 | 70 | | | | | | | 1 | 6 | 8 | 12 | 12 | 12 | | 61 | |
| 54 | 1958 | 25 | 87 | 70 | | | | | | | | 8 | 8 | 9 | 11 | 11 | | 56 | |
| 55 | 1957 | 26 | 91 | 70 | | | | | | | | 5 | 9 | 12 | 12 | 13 | | 66 | |
| 56 | 1956 | 26 | 80 | 70 | | | | | | | 2 | 7 | 8 | 11 | 11 | 11 | | 56 | |
| 57 | 1955 | 31 | 95 | 70 | | | | | | | 1 | 5 | 5 | 9 | 13 | 14 | | 72 | |
| 58 | 1954 | 28 | 92 | 70 | | | | | | | | 8 | 8 | 12 | 12 | 12 | | 61 | |
| 59 | 1953 | 23 | 105 | 70 | | | | | | | | 7 | 9 | 11 | 11 | 13 | | 66 | |
| 60 | 1952 | 24 | 98 | 70 | | | | | | | 1 | 5 | 5 | 8 | 12 | 12 | | 61 | |

Slika 4: Primer preglednice s podatki o prešteti sledih iglic v posameznih branikah in višinskih prirastkih, upoštevanem kotu trikotnika ter dolžini vzorca. Krepke številke označujejo podatke, pridobljene na terenu.

Figure 4: Example of table with data of counted needle traces in tree-rings and height increments, according to angle and length of the sample. Bold numbers characterize values, acquired in the field.

2.1 Izpeljani kazalniki

2.1 Calculated dendrochronological proxies

Na osnovi pridobljenih podatkov izračunamo kazalnike (JALKANEN / AALTO / KURKELA 2000; JALKANEN / LEVANIČ 2001), ki so pojasnjeni in prikazani v nadaljevanju (Slika 6). Predstavljeni kazalniki so:

- Relativno število sledi iglic (ang. relative number of needle traces),
- zadrževanje iglic (ang. annual needle retention),
- izguba iglic (ang. annual needle loss),
- odmet (ang. needle shed),
- starost iglic (ang. current age),
- dolgoživost iglic (ang. longevity, needle age),
- gostota iglic (ang. needle density),
- letni prirast iglic (ang. annual needle production) in
- zaloga iglic (ang. needle pool, tudi total number of needles).

Relativno število sledi iglic (p_r) je osnova vseh izračunov. Absolutno število sledi iglic v posamezni braniki izbranega poganjka primerjamo s številom iglic v prvi braniki. Relativno število sledi (1) izračunamo:

$$p_r = \frac{x_r}{x_1} 100, \quad 1$$

pri čemer je p_r relativno število iglic (p) v izbrani braniki (r) letnega višinskega prirastka, x_r število sledi iglic (x) v braniki (r) in x_1 število sledi iglic v braniki prvega leta.

Zadrževanje iglic (ANR) ponazarja seštevek relativnih števil sledi iglic v izbrani braniki (2). Ta kazalnik nam pove skupen delež setov iglic, hkrati obstoječih na stebelu v izbranem letu. Zadrževanje iglic ugotovimo:

$$ANR = \frac{\sum(p_b, p_{b+1}, \dots, p_{b+n})}{100}, \quad 2$$

kjer ANR pomeni število starostnih razredov iglic izbranega leta, p_b delež obstoječih iglic na poganjku b v preučevanem letu, p_{b+1} delež obstoječih iglic v isti braniki, vendar na leto starejšem poganjku, itd. (b) je numerično zaporedje poganjkov, začenši od najmlajšega. Na sliki (Slika 5) je triletni poganjek z 2,66 razreda iglic v izbranem letu; prva dva razreda (letošnji in lanski poganjek) sta popolna, pri zadnjem razredu (predlanski poganjek) pa manjka 1/3 iglic, torej število starostnih razredov ni 3, temveč je ta ocena zmanjšana za 1/3 zadnjega razreda, skupaj torej 2 celoti in 2/3, oziroma 2,66 starostnega razreda v danem letu.

Izguba (ANL) seta iglic se izračuna kot razlika med dvema zaporednima starostnima razredoma (3). Število

starostnih razredov prihodnjega leta (ANR_{t+1}) odštejemo od števila starostnih razredov v letu, ki ga preučujemo (ANR_t). Konstanta +1 pomeni povečanje števila obstoječih setov za en poln set iglic.

$$ANL_t = (ANR_t - ANR_{t+1}) + 1 \quad 3$$

Odmet (NS) je kazalec relativne izgube iglic v letu t , izražen je kot razmerje med številom setov iglic dveh zaporednih let (NS_t, NS_{t+1}) (4). Vsako leto priraste nov set iglic, pričakovano pa je, da en set iglic odpade zaradi starosti. Ko je indeks 1, je zadrževanje v ravnovesju z odmetom, večja vrednost pomeni večji osip kot pridobitev novih iglic. V primeru (Slika 5B) vidimo, da v zadnjem setu ni odpadla ena iglica, zato odmet ni popoln, vrednost je tako manjša kot 1, torej 0,66 seta.

$$NS_t = \frac{NS_t}{NS_{t+1}} \quad 4$$

Starost iglic ponazarja povprečno starost hkrati obstoječih iglic na tistih poganjkih, ki imajo v izbranem letu obstoječe iglice. Gre za tehtano aritmetično sredino, ki upošteva število iglic na različno starih poganjkih.

Dolgoživost (NA) je izračunana za poganjek, to je povprečna starost iglic na izbranem poganjku. Ob tem se leto, ko so iglice preživele v brstu poganjka, ne šteje. Za izračun povprečne starosti iglic je nujno oceniti dolžino časovne periode med odprtjem brsta (začetek rastne sezone) in rumenenjem najstarejših iglic (v jeseni). Povprečno starost iglic izračunamo (5):

$$NA = \frac{\sum_{r=1}^n (p_r - p_{r+1}) \left[r - 1 + \frac{t}{12} \right]}{100} \quad 5$$

NA ponazarja povprečno starost iglic, ki so zrastle v izbranem letu, p_r delež iglic p v braniki r in t število mesecev od začetka rasti brsta do rumenjenja iglic (navadno 4 meseci). Dolgoživosti tistih iglic, ki so še pritrjene na poganjek, ni mogoče izračunati, zato izračun ne poda rezultatov za najmlajše poganjke, torej za vrh drevesa.

Gostota iglic (ND) - čeprav je gostota izraz množine česa na določeni površini, se tu uporablja kot oznaka števila sledi iglic (x) na dolžinski centimeter poganjka v prvem letu starosti. Pri izračunu sta pomembna dolžina vzorca (l_b) in kot trikotnika (α), ki označuje površino, na kateri štejemo sledi iglic (Slika 3C). Gostoto iglic izračunamo (6):

$$ND = \frac{360^\circ x}{\alpha \cdot l_b} \quad 6$$

Letni prirast iglic je število vseh iglic na novem poganjku izbranega leta. Prirast dobimo z množenjem

gostote iglic in dolžine višinskega prirastka v izbranem letu. V primeru A (Slika 5A) znaša letni prirast letošnjega in lanskega poganjka tri iglice.

Zaloga iglic (ANN) je seštevek vseh hkrati obstoječih iglic na steblu v izbranem letu. Seštevek zapišemo (7):

$$ANN = \sum(NN_b, NN_{b+1}, \dots, NN_{b+n}) \quad 7$$

ANN ponazarja celotno število iglic v izbranem letu, NN_b število iglic na poganjku b , NN_{b+1} število iglic na leto starejšem poganjku ($b+1$), itd. Oznaka b predstavlja zaporedno številko vrhnjega poganjka, začetno številko ima najvišji poganjek. Na primeru (Slika 5C) je torej zaloga iglic 6; 3 iglice na poganjku v prvem letu starosti, 2 iglici na dve leti starem poganjku ter 1 iglica na tri leta starem poganjku.

3 Uporaba metode

3 Method usage

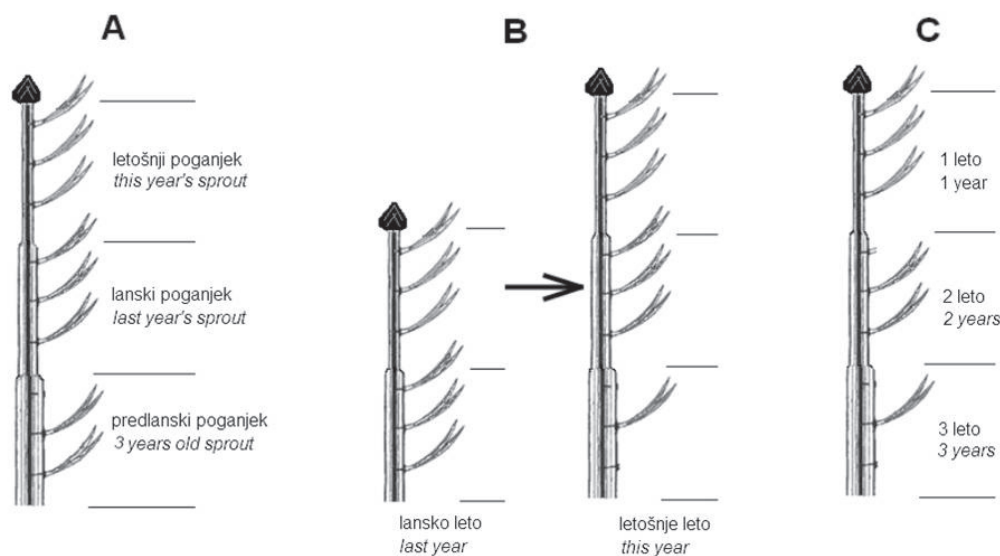
Fiziologija dreves in odziv kazalnikov na okolje

Tree's physiology and response of needle proxies to environment

Rast dreves je v veliki meri odvisna od listnega aparata. Mlade iglice rdečega bora nimajo vpliva na višinsko rast poganjka, lahko pa pozitivno vplivajo na radialno rast v zadnjih dveh tretjinah rastne sezone. Iglice, starejše od 3 let, porabijo več energije za respiracijo, kot

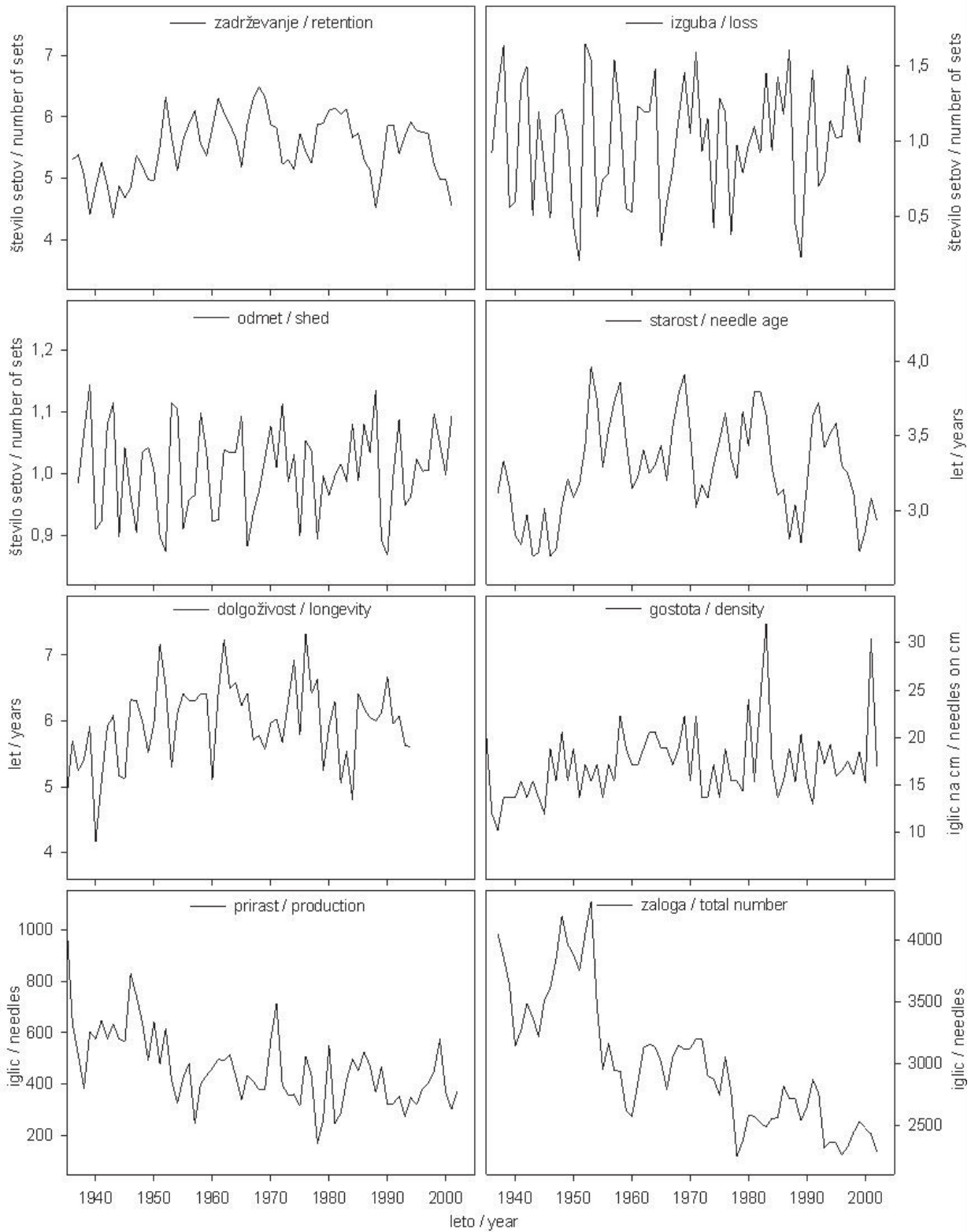
jo proizvedejo s fotosintezo, zato se na poganjkih ohranijo le v primeru ovirane asimilacije mlajših iglic, npr. zaradi okužbe (DRENKHAN / KURKELA / HANSO 2006).

Podobno velja za mladike navadne smreke, ki se jim rast, če odstranimo 70 % najmlajših iglic, zmanjša le za 30 % (BAUER *et al.* 2000). Mlajša drevesa rdečega bora imajo več kratkih poganjkov (igličnih ovojev) na steblu kot starejša, vendar je zadrževanje iglic, starih 3 in 4 leta, večje pri starejših drevesih. Razloge za to lahko iščemo v prevajanju vode, ki je pri rdečih borih najmočnejše pri drevesih starosti 15-20 let, pri starejših pa vodni potencial upade (PENSA / JALKANEN / SELLIN 2001). Na zadrževanje iglic vplivata poleg starosti dreves tudi nadmorska višina rastišč (POUTTU / DOBBERTIN 2000) ter zemljepisna širina. Zadrževalna sposobnost rdečega bora na severu Finske (68 °S) je 6 setov, na jugu (60 °S) pa le 3,4 seta (JALKANEN / AALTO / KURKELA 1995a), medtem ko iz Rusije (62 °S) poročajo o 4,6 seta in povprečni starosti iglice 3,7 leta (FEDORKOV 2002). Razlika je tudi v dolgoživosti iglic, ta je za dve leti daljša pri borih na Finskem (4 leta) kot v Estoniji (2 leti) (PENSA / JALKANEN 2005). Primerjava zadrževanja setov iglic med vrstama rdečega in rumenega bora (*P. ponderosa*) je bila opravljena na sušnem rastišču v Nemčiji (INSINNA *et al.* 2007). Vrsti sta se na okolje odzivali podobno s kazalniki letnega prirastka iglic (206/215), izgube (202/196) ter gostote iglic (6,8/7,8), razlike med rdečim in rumenim borom (v tem zaporedju) so bile značilne v starosti iglic (2,1/3,5), zadrževanju (2,6/3,7) in zalogi iglic (634/877). Pri uporabi metode na japonskem črnem (*Pinus thunbergii* Parl.) in japonskem rdečem boru (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) so našteali število obstoječih setov na vrhnjem poganjku 3,7 in 2,2 ter gostote iglic 9,4 in 7,4 v tem zaporedju



Slika 5: Letni prirastki poganjkov, obstoječe iglice in mesta odpadlih iglic (povzeto po AALTO / JALKANEN 1998). Za razlago kazalnikov glej besedilo.

Figure 5: Annual growth of long shoots, attached needles and empty spaces of fallen needles (after AALTO / JALKANEN 1998). For explanation of the needle proxies, see text.



Slika 6: Kronološki prikaz kazalnikov iglic izbrane smreke (*P. abies*)

Figure 6: Chronological introduction of needle proxies of a selected Spruce (*P. abies*)

(KONÔPKA / TSUKAHARA / JALKANEN 2000).

Na smreki so bile prve raziskave opravljene v Nemčiji in zatem na Češkem (SANDER / ECKSTEIN 2001). Pri tem sta avtorja Sander in Eckstein odkrila, da znaša povprečna letna produkcija iglic na terminalnem poganjku navadne smreke 355 iglic, gostota 13 iglic na dolžinski centimeter poganjka ter da je na poganjku vedno 6,5 seta iglic. Na vzorčni češki lokaciji so spremljali tudi stanje zračne onesnaženosti, a značilen vpliv na listni aparat ni bil potrjen. Iz Slovenije izhajajo rezultati prve raziskave rasti smreke v neonesnaženem okolju (LEVANIČ *et al.* 2006). Izmerjena smreka je imela zadrževalno sposobnost 6,5 seta, povprečno starost iglic 6 let (4,3 -11), letno produkcijo 441 iglic ter 18 iglic/cm višinskega prirastka. V raziskavah rdečega bora so opazili tudi povezavo med letno produkcijo iglic in proizvodnjo peloda rdečega bora. Kazalnik produkcije iglic pojasni do 51 % variacije letne proizvodnje peloda. Na osnovi kalibracije med produkcijo iglic, peloda ter julijske povprečne temperature prejšnjega leta je omogočena rekonstrukcija preteklih letnih proizvedenih peloda (JALKANEN *et al.* 2008). Zabeleženih in preučenih je tudi več odzivov kazalnikov iglic na različne stopnje osvetljenosti in razpoložljivosti hranil (NIINEMETS/KULL 1995; SANDER/ECKSTEIN 2001). Rodovitnost tal vpliva na dolžino iglic, krajše so na rdečih borih, rastočih na nerodovitnih tleh (PENSA / SELLIN 2002). Počasna rast dreves in majhna koncentracija hranil v iglicah ne povzročata nujno večjega zadrževanja iglic in s tem daljšega zadrževanja hranil (PENSA / JALKANEN / LIBLIK 2007b). Ena izmed prilagoditev rastlin na sušne razmere je zmanjšanje listne površine, tj. števila iglic in s tem transpiracijske površine, dodatno obstaja povezava med premerom sledi iglic rdečega bora in gostoto listnih rež, ki vpliva na transpiracijo (PENSA / AALTO / JALKANEN 2004). Rdeči in rumeni bor imata podoben odziv nekaterih kazalnikov listnega aparata (izguba, skupno število, zadrževanje) na jesenske padavine, razlike pa so pri odzivu na poletne padavine, ki imajo večji vpliv na druge kazalnike rdečega bora (INSINNA / JALKANEN / GÖTZ 2007). Na dolžino iglic in na debelinsko rast črnega bora negativno vpliva poletna suša (LEBOURGEOIS *et al.* 1998). V primerjavi s padavinami ima temperatura manjši vpliv na iglične kazalnike raziskanih vrst. Negativen vpliv na zadrževanje iglic rdečega bora na jugu Finske ima dolžina rastne sezone, izražena kot termalna vsota (mejna vrednost +5 °C), zadrževanje iglic pa se kaže kot periodično z dolžino cikla 6-12 let (JALKANEN / AALTO / KURKELA 1995b). Spremenljiva dolgoživost iglic rdečega bora pomaga kompenzirati manjšo produkcijo iglic. Glede na spremembo v klimi, od leta 1990 dalje, so se povečali produkcija iglic ter višinski in debelinski prirastek (PENSA / SEPP / JALKANEN 2006). Kazalniki iglic pa ne pokažejo vedno odziva na okolje. Tako niso pokazali razlik v vrednostih kazalnikov iglic med sestojema rdečega bora iz onesnaženega in neonesnaženega območja, se pa je s povečanim prirastkom rdeči bor odzval na zračno onesnaževanje v Estoniji (termoelektrarna in kemične

tovarne) (PENSA / LIBLIK / JALKANEN 2004).

Kombinacije z drugimi metodami

Combination with other methods

Povezovanje NTM in dendrokronologije lahko pomaga pri razumevanju sprememb v priraščanju dreves, ki jih lahko napačno ali celo ne zmoremo pojasniti z uporabo samo ene metode. NTM je bila prvič uspešno uporabljena za potrditev zabeleženih okužb rdečega bora s švedskim osipom borovih iglic (*Lopboderrella sulcigena* (Rostr.) v. Hohn.) (JALKANEN / AALTO / KURKELA 1994b). Analiza rezultatov NTM je prav tako izključila vpliv vremenskih dejavnikov na upad prirastka rdečega bora v centralni Finski v letih 1960-1985 in potrdila napad rjave borove grizlice (*Neodiprion sertifer* G.) v letih 1961 in 1981-82 (FERRETTI *et al.* 2002). Podobno lahko retrospektivno z NTM in s primerjavo debelinskih prirastkov spremljamo posledice objedanja gosenic borovega pedica (*Bupalus piniaria* L.). Največji vpliv na rast dreves rdečega bora na Škotskem je imela gostota pedicev v tekočem in predhodnem letu. Radialni in volumenski prirastek sta se v obdobju 2-3 let po vrhu številčnosti pedicev zmanjšala za največ 50 %. V tem času je bila rast močno pozitivno povezana z zadrževanjem iglic (ARMOUR / STRAW / DAY 2003). V primeru preučevanja defoliacije so NTM uporabili tudi na sitki (WILLIAMS / STRAW / DAY 2003), kjer so ugotovili, da se za 33-38 % zmanjšano zadrževanje iglic ujema z 10-letno periodo izbruha napadov grizlice *Gilpinia hercyniae*, pri čemer so najhuje napadene najmlajše iglice. Defoliacija v času prenamnožitve je povzročila upad v višinskem, radialnem in volumskem prirastku za 24-49 %, 30-59 % in 32-56 % (v tem zaporedju).

4 Zaključek

4 Conclusion

Metoda sledi iglic (NTM) preučuje starosti iglic, zapisane v branikah posameznih višinskih prirastkov vrhnjega poganjka. Od prvih raziskav rdečega bora (KURKELA / JALKANEN 1990) se je uspešno zastavljena metoda hitro razvila in bila uporabljena tudi na drugih vrstah (SANDER / ECKSTEIN 1994; KONÔPKA / TSUKAHARA / JALKANEN 2000; INSINNA *et al.* 2007). NTM se praviloma opravlja na vzhodni strani drevesa, a se navkljub temu načelu v literaturi pojavi tudi izvedba metode na severni strani (PENSA / AALTO / JALKANEN 2004). Rezultate NTM so v Švici primerjali z rezultati okularnih ocen osutosti gozdnih inventur in ugotovili, da se ocene metod ujemajo v dveh tretjinah letnih podatkov (POUTTU / DOBBERTIN 2000). Uporabnost metode potrjuje tudi analiza sestoja sitke v Walesu, kjer je metoda prepoznala umetno povzročeno 75-odstotno defoliacijo vrhnjega poganjka (WILLIAMS / STRAW / DAY 2003). Čeprav so

rezultati merjene osutosti NTM in okularnih ocen popisov skladni, se naj NTM zaradi destruktivnega pristopa, težav pri iskanju letnih višinskih prirastkov drevesa ter beleženjem izpadlih branik ne bi uporabljala kot nadomestilo gozdnih inventur (POUTTU / DOBBERTIN 2000). Poleg tega je uporaba metode na drugih družinah iglavcev (poleg borov) omejena z vidljivostjo sledi iglic. Manjša ko je sled iglic v lesu, bolj je oteženo štetje sledi in obratno. Sled igličnega ovoja pri borih je velika, pri smreki pa je iglica krajša in vedno sama pritrjena na poganjek. Podoben primer so sibirski jelka, tisa in duglazija (PENSA / AALTO / JALKANEN 2004). Kot za pomoč pri lažjem iskanju sledi iglic je bil razvit način sledenja sledi iglic s peskanjem (ang. sandblasting) branik v smeri od strženi proti skorji (SANDER / ECKSTEIN 1994). Ta sistem je bolj zahteven in zaradi tega manj uporabljen. Pri zelo tankih branikah sta natančno strganje branik in štetje sledi zahtevna, težavo pa povzročajo tudi nejasno vidni letni višinski prirastki. Venci smreke so lahko nejasno izraženi, med dvema vencema se lahko pojavljajo tudi posamezne, dimenzijsko močne veje, podobne tistim v venci. Te motijo pri določevanju vejnih vencev na odraslih drevesih in s tem pri meritvah višinskih prirastkov. Metoda je časovno potratna, vendar preprosta in ne zahteva specifičnih ter dragih orodij. Vzorčimo in preučujemo lahko tudi odmrle ali subfosilna drevesa, če je le njihova sredica trdna. Tako so npr. ugotovili raznolikost gostot iglic skozi čas in drugih kazalnikov za 4.000 let v preteklost (JALKANEN 1998). Prve raziskave z NTM so bile usmerjene k preučevanju lastnosti krošenj in starosti iglic, kmalu pa so pomagale pri preučevanju vpliva okužb gliv (JALKANEN / AALTO / KURKELA 1994a; BAUER *et al.* 2000), preteklih napadov žuželk (ARMOUR / STRAW / DAY 2003; WILLIAMS / STRAW / DAY 2003) in gojitvenih ukrepov (JALKANEN / LEVANIČ 2001). Najnovejše raziskave prihajajo s področij vplivanja stanja okolja (PENSA / LIBLIK / JALKANEN 2004), v prihodnosti pa lahko pričakujemo predvsem raziskave odvisnosti listnega aparata od klime in s klimo povezanih sprememb (PENSA / SEPP / JALKANEN 2006).

5 Summary

Every year, evergreen conifers add one needle set and every year on average one needle set falls down. The number of needle sets is influenced with environmental conditions and, to some degree, varies through years. Loss of needles can be estimated with visual forestry inventory methods, but such techniques are not reliable. To solve this problem, needle trace method (NTM) was invented. It is based on the examination of length and location of the needle traces embedded in stem wood (Figure 1). The age of every needle, at the time of its fall off, is discovered through counting the tree-rings in which the individual needle trace is seen (Figure 2). The exact age of each needle or short shoot (in pines, two or more needles grouped in

one fascicle) can be estimated. The method enables us to retrospectively detect influence of a factor, which had the greatest influence on the tree foliar system. Originally, it was introduced on Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in Finland in the late 1980's (KURKELA / JALKANEN 1990) and since then it's been applied on many other species (KONÔPKA / TSUKAHARA / JALKANEN 2000; PENSA / AALTO / JALKANEN 2004; INSINNA *et al.* 2007). The method has already been used in Slovenia in research of thinning influence on Scots Pine at Smlednik (JALKANEN / LEVANIČ 2001) and of growth parameters in Norway Spruce (*Picea abies* L.) on Pokljuka (LEVANIČ *et al.* 2006), but has never been explained in details.

Each needle or short shoot is in the first year of long shoot growth attached to the pith of the long shoot (stem). With radial growth of long shoot, the needle moves away from the pith (GIBSON 2010). In between, there is a radial increment from current year and the bark. To keep the connection with the vascular system of the stem, meristem tissue has to produce cells of conductive tissue. These cells create needle trace, which extends from needle through the annual increment(s) to the pith. After needle loss, radial increment eventually overgrows conductive tissue or needle trace (Figure 2). There is a connection between width of needle trace and needle length (PENSA / AALTO / JALKANEN 2004).

In order to obtain NTM data, the sampled tree has to be felled. The method is used on eastern side, so a longitudinal cut is made to mark the position. This side shows the highest amount of variability of needle traces. The stem is cut into sections equalling annual shoots, but omitting the branch whorls (Figure 3A). The innermost tree rings, examined ring by ring using an arc surface and a fixed angle, reveal the location and number of the needle traces (Figure 3B). Once the needle trace data have been obtained (Figure 4), chronologies of needle proxies can be produced (AALTO / JALKANEN 1998) for a single-tree or a stand (normally 5 to 10 trees) as follows: **Relative number of needle traces** compares numbers of needle traces in the following annual rings to the needle traces in the first ring, all from the same growth shoot. **Needle retention** describes how many needle sets are present on the main stem in a given year, **needle loss** how many sets are shed per year and **needle shed** relative number of lost needle sets. **Needle age** is able to produce chronology for mean age of needle classes. Separately, the NTM calculates the average age of fallen needles at any shoot; **longevity**. The number of needles in different annual shoots in a given year is called **needle pool** and the **needle production** is normal annual needle production that reveals the number of needles produced in the leader shoot. The number of needles per centimetre on the long shoot gives **needle density**. Additionally, data on height and radial increment are obtained.

Results of the needle proxies can be used in order to investigate response of trees to the climate conditions (INSINNA / JALKANEN / GÖTZ 2007; PENSA /

JALKANEN / LIBLIK 2007a), silvicultural influence (JALKANEN / LEVANIČ 2001) or environmental conditions, such as fungi attacks (JALKANEN / AALTO / KURKELA 1994a) and insects epidemics (FERRETTI *et al.* 2002; WILLIAMS / STRAW / DAY 2003). NTM has gradually extended our understanding to the whole-tree needle history of various conifer species. Future work may well concentrate more on using NTM in climate change and forest health studies (JALKANEN / AALTO / KURKELA 2000).

6 Viri

6 References

- AALTO, T. / JALKANEN, R., 1998. Neulasjälkimenetelmä. The needle trace method.- Rovaniemi, Finnish Forest Research Institute, Research Papers 681,
- ARMOUR, H. / STRAW, N. / DAY, K., 2003. Interactions between growth, herbivory and long-term foliar dynamics of Scots pine.- *Trees - Structure and Function* 17, 1: 70-80.
- BAUER / HELMUT / PLATTNER / KARIN / VOLGGER / WALTRAUD, 2000. Photosynthesis in Norway spruce seedlings infected by the needle rust *Chrysomyxa rhododendri*.- Oxford, ROYAUME-UNI, Oxford University Press, 6 p.
- DRENKHAN, R. / KURKELA, T. / HANSO, M., 2006. The relationship between the needle age and the growth rate in Scots pine (*Pinus sylvestris*): a retrospective analysis by needle trace method (NTM).- *European Journal of Forest Research* 125, 4: 397-405.
- FEDORKOV, A. L., 2002. Retrospective Assessment of the Parameters of Needle Retention in Scotch Pine.- *Russian Journal of Ecology* 33, 6: 452-454.
- FERRETTI, M. / INNES, J. L. / JALKANEN, R. / SAURER, M. / SCHÄFFER, J. / SPIECKER, H. / WILPERT, K. V., 2002. Air pollution and environmental chemistry - what role for tree-ring studies?- *Dendrochronologia* 20, 1-2: 159-174.
- GIBSON, P., 2010. Botany. An introduction to plant biology, 4th edn.- *Annals of Botany* 105, 5: viii-ix.
- INSINNA, P. / JALKANEN, R. / GÖTZ, B., 2007. Climate impact on 100-year old foliage chronologies of Scots pine and Ponderosa pine in the northeast lowlands of Brandenburg, Germany.- *Silva Fennica* 41, 4: 16.
- INSINNA, P. A. / GÖTZ, B. / JALKANEN, R. / AAS, G., 2007. One-hundred-year foliage comparison of *Pinus ponderosa* and *Pinus sylvestris* under dry growing conditions in Brandenburg, Germany.- *Scandinavian Journal of Forest Research* 22, 2: 149 - 159.
- JALKANEN, R., 1998. Needle traces-less known organs of conifer stems as environmental indicators.- The 4th Pacific Regional Wood Anatomy Conference. Kwangju, Korea, IAWA Journal. 19.
- JALKANEN, R. / AALTO, T. / KURKELA, T., 1994a. The use of needle-trace method (NTM) in retrospectively detecting *Lophodermella* needle-cast epidemic.- *European Journal of Forest Pathology* 24, 6-7: 376-385.
- JALKANEN, R. / AALTO, T. / KURKELA, T., 1994b. The use of needle-trace method (NTM) in retrospectively detecting *Lophodermella* needle-cast epidemic. (Cover story).- *European Journal of Forest Pathology* 24, 6/7: 376-385.
- JALKANEN, R. / AALTO, T. / KURKELA, T., 1995a. Development of needle retention in Scots pine (*Pinus sylvestris*) in 1957-1991 in northern and southern Finland.- *Trees - Structure and Function* 10: 125-133.
- JALKANEN, R. / AALTO, T. / KURKELA, T., 1995b. Development of needle retention in Scots pine (*Pinus sylvestris*) in 1957-1991 in northern and southern Finland.- *Trees - Structure and Function* 10, 2: 125-133.
- JALKANEN, R. / AALTO, T. / KURKELA, T., 2000. Needle trace method.- *Forestry studies* 34.
- JALKANEN, R. / AALTO, T. / OJANEN, M. / VAINIO, E., 2000. Needle trace method and crown thinning (defoliation) in pines. Final report. EU-project 97.60.SF.005.0.- Pori, Rovaniemi, Finnish For. Res. Inst., Univ. Turku,
- JALKANEN, R. / HICKS, S. / AALTO, T. / SALMINEN, H., 2008. Past Pollen Production Reconstructed from Needle Production in *Pinus sylvestris* at the Northern Timberline: a Tool for Evaluating Palaeoclimate Reconstructions.- *Silva Fennica* 42, 4: 499-513.
- JALKANEN, R. / LEVANIČ, T., 2001. Growth and needle parameter responses of *Pinus sylvestris* after release from suppression.- *Dendrochronologia* 19, 2: 189-196.
- KONÔPKA, B. / TSUKAHARA, H. / JALKANEN, R., 2000. A comparison of needle retention on Japanese black pine and Japanese red pine.- *Journal of Forest Research* 5, 3: 175-180.
- KURKELA, T. / JALKANEN, R., 1990. Revealing past needle retention in *Pinus* spp.- *Scand. J. For. Res.* 5, 4: 481-485.
- LEBOURGEOIS, F. / LÉVY, G. / AUSSÉNAC, G. / CLERC, B. / WILLM, F., 1998. Influence of soil drying on leaf water potential, photosynthesis, stomatal conductance and growth in two black pine varieties.- *Ann. For. Sci.* 55, 3: 287-299.
- LEVANIČ, T. / JALKANEN, R. / GRIČAR, J. / GAGEN, M. / OVEN, P., 2006. Use of different growth parameters of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) to study tree response to climate = Uporabnost različnih rastnih parametrov navadne smreke (*Picea abies* (L.) Karst.) za študij odziva dreves na klimo.- *ZbGL* 80: 97-109.
- MAUSETH, J. D., 1988. Plant anatomy.- Menlo Park, California, Benjamin/Cummings
- NIINEMETS, Ü. / KULL, O., 1995. Effects of light availability and tree size on the architecture of assimilative surface in the canopy of *Picea abies*: variation in needle morphology.- *Tree Physiology* 15, 5: 307-315.
- PENSA, M. / AALTO, T. / JALKANEN, R., 2004. Variation in needle-trace diameter in respect of needle morphology in five conifer species.- *Trees - Structure and Function* 18, 3: 307-311.
- PENSA, M. / JALKANEN, R., 2005. Variation in needle longevity is related to needle-fascicle production rate in *Pinus sylvestris*.- *Tree Physiology* 25, 10: 1265-1271.
- PENSA, M. / JALKANEN, R. / LIBLIK, V., 2007a. Variation in Scots pine needle longevity and nutrient conservation in different habitats and latitudes.- *Can. J. For. Res.-Rev. Can. Rech. For.* 37, 9: 1599-1604.
- PENSA, M. / JALKANEN, R. / LIBLIK, V., 2007b. Variation

- in Scots pine needle longevity and nutrient conservation in different habitats and latitudes.- Canadian Journal of Forest Research 37: 1599-1604.
- PENSA, M. / JALKANEN, R. / SELLIN, A., 2001. Age-dependent Changes in Needle-fascicle Dynamics of *Pinus sylvestris* (L.).- Scandinavian Journal of Forest Research 16, 4: 379-384.
- PENSA, M. / LIBLIK, V. / JALKANEN, R., 2004. Temporal Changes in the State of a Pine Stand in a Bog Affected by Air Pollution in Northeast Estonia.- Water, Air, & Soil Pollution 159, 1: 87-99.
- PENSA, M. / SELLIN, A., 2002. Needle longevity of Scots pine in relation to foliar nitrogen content, specific leaf area, and shoot growth in different forest types.- Canadian Journal of Forest Research 32: 1225-1231.
- PENSA, M. / SEPP, M. / JALKANEN, R., 2006. Connections between climatic variables and the growth and needle dynamics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Estonia and Lapland.- International Journal of Biometeorology 50, 4: 205-214.
- POUTTU, A. / DOBBERTIN, M., 2000. Needle-retention and density patterns in *Pinus sylvestris* in the Rhone Valley of Switzerland: comparing results of the needle-trace method with visual defoliation assessments.- Canadian Journal of Forest Research 30, 12: 10.
- SANDER, C. / ECKSTEIN, D., 1994. Reconstruction of the foliation of *Picea abies* by means of needle traces.- Scandinavian Journal of Forest Research 9, 1: 311 - 315.
- SANDER, C. / ECKSTEIN, D., 2001. Foliation of spruce in the Giant Mts. and its coherence with growth and climate over the last 100 years.- Ann. For. Sci. 58, 2: 155-164.
- WILLIAMS, D. T. / STRAW, N. A. / DAY, K. R., 2003. Defoliation of Sitka spruce by the European spruce sawfly, *Gilpinia hercyniae* (Hartig): a retrospective analysis using the needle trace method.- Agricultural and Forest Entomology 5, 3: 235-245.