

GDK 811.4 + 812.15 + 174.7 *Abies alba* (Mill.) : (497.12 Ravnik)

Prispelo / Received: 30. 9. 1997
Sprejeto / Accepted: 10. 10. 1997

Izvirni znanstveni članek
Original scientific paper

ZVEZA MED ŠIRINO BRANIKE IN ELEKTRIČNO UPORNOSTJO ŽIVIH TKIV PRI JELKI (*ABIES ALBA* MILL.) NA RAVNIKU

Tom LEVANIČ* , Niko TORELLI** , Martin ZUPANČIČ***

Izvleček

Na Ravniku smo sistematično raziskali 40 različno prizadetih jelk (*Abies alba* Mill.). Ugotovili smo, da je zveza med električno upornostjo živih tkiv (ER) in širino branike, nastale v istem letu, obratnosorazmerna in ni tesna. Višina odčitka se med leti spreminja in je v veliki meri odvisna od klime v preučevanem letu. S poškodovanostjo se je variabilnost odčitkov povečevala in to neodvisno od klimatskih razmer v preučevanem letu. Velika variabilnost odčitkov vodi ob nepoznavanju ekoloških dejavnikov v preučevanem letu k napačni oceni fiziološkega stanja drevesa.

Ključne besede: električna upornost živih tkiv, propadanje gozda, jelka (*Abies alba* Mill.), dendroekologija, Slovenija

RELATIONSHIP BETWEEN ELECTRICAL RESISTANCE OF THE LIVING TISSUE AND TREE-RING WIDTH IN SILVER FIR (*ABIES ALBA* MILL.) ON RAVNIK (SLOVENIA)

Abstract

On the research plot Ravnik 40 systematically selected silver firs (*Abies alba* Mill.) were analysed. It was established that the relationship between electrical resistance of living tissues (ER) and tree-ring formed in the year of measuring was negative and not high ($r^2=0,47$). Year to year variation of ER is highly variable and is strongly influenced by climate. The variability of ER measurements increases with decreasing tree vitality and is independent of the climate. High variability together with improper interpretation of ecological factors can lead to false assessment of physiological tree condition.

Key words: electrical resistance of living tissues, forest decline, silver fir (*Abies alba* Mill.), dendrochronology, Slovenia

* Dr., Biotehniška fakulteta, oddelek za lesarstvo, 1001 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34, SLO

** Prof. dr., Biotehniška fakulteta, oddelek za lesarstvo, 1001 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34, SLO

*** Spec., dipl. inž., Biotehniška fakulteta, oddelek za lesarstvo, 1001 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34, SLO

KAZALO / CONTENTS

1	UVOD / INTRODUCTION	127
2	MATERIAL IN METODA / MATERIAL AND METHOD	128
3	REZULTATI IN RAZPRAVA / RESULTS AND DISCUSSION ...	130
3.1	ZVEZA MED ŠIRINO BRANIKE IN VELIKOSTJO ODČITKA ER / RELATIONSHIP BETWEEN TREE-RING WIDTH AND ER	130
3.2	PRIMERJAVA ER MED LETI / YEARLY VARIABILITY OF ER	131
3.3	VPLIV KLIME NA LETNO DINAMIKO ER / CLIMATE'S IMPACT ON YEARLY ER DYNAMICS.....	133
3.4	VPLIV OSUTOSTI KROŠNJE NA LETNO DINAMIKO ER / IMPACT OF THE TREE CROWN DEFOLIATION ON THE YEARLY ER DYNAMICS	134
4	POVZETEK	137
5	SUMMARY	138
6	VIRI / REFERENCES	139
7	ZAHVALA / ACKNOWLEDGEMENTS	140

1 UVOD

Raziskave električne upornosti živih tkiv (v nadaljevanju ER) pri različnih drevesnih vrstah, zlasti iglavcih, opravljamo na Katedri za tehnologijo lesa oddelka za lesarstvo pri Biotehniški fakulteti od leta 1986.

Bazična študija odziva drevja na spremenjene razmere v okolju (TORELLI et al. 1988) je potrdila domneve, da obstaja korelacija med ER, vizualno oceno osutosti krošnje in debelinskim prirastkom. Kasnejše ugotovitve kažejo, da obstaja dokaj visoka odvisnost med širino ranike in ER (ČUFAR 1990), vendar študije časovne dinamike spreminjanja ER v odvisnosti od širine ranike zaradi premajhnega števila sezonskih meritev ni bilo mogoče opraviti.

Podrobnejša študija ER v odvisnosti od širine kambijeve cone in žive skorje ter prizadetosti (OVEN et al. 1995) je dokazala, da obstajajo značilne razlike med odčitki ER pri različno prizadetih drevesih. V isti študiji je bila tudi ugotovljena tesna odvisnost med odčitkom ER in širino kambijeve cone ter žive skorje.

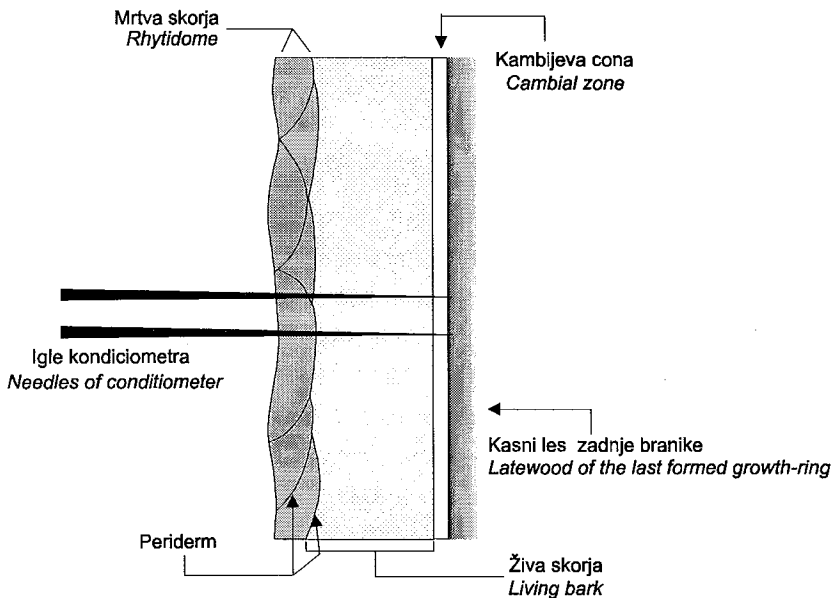
Raziskave kažejo, da električna upornost ni odvisna le od števila živih celic, temveč tudi od njihove fiziološke aktivnosti (TORELLI / KRIŽAJ 1991). Ugotovili so tudi, da imajo rastna drevesa ob enaki debelini žive skorje odčitke nižje kot poškodovana drevesa, pravtako pa tudi nižje kot sicer zdrava drevesa z nižjim cenotskim statusom (TORELLI et al. 1990). Analize kalijevih, magnezijevih, kalcijevih in manganovih ionov v živih tkivih različno prizadetih jelk so pokazale, da je njihova koncentracija najvišja v najaktivnejših tkivih t.j. kambijevi coni in da imajo močnejše poškodovana drevesa verjetno prizadeto funkcijo sprejemanja kalija (KRIŽAJ / ŠTUPAR 1996, KRIŽAJ 1997).

Dosedanje raziskave so bile pretežno usmerjene v anatomske in fiziološke posebnosti živih tkiv in njihove električne upornosti, manj pa v časovno dinamiko spreminjanja ER v odvisnosti od širine ranike in klime. Naša raziskava se je osredotočila na jelko na rastišču v GE Ravnik (OE Ljubljana), kjer od leta 1988 sistematično spremljamo 300 jelk. V analizi smo želeli odgovoriti predvsem na naslednja vprašanja:

- kakšna je zveza med širino ranike in ER,
- ali je velikost odčitka ER povezana s klimo v preučevanem letu,
- kako se med leti spreminja višina odčitka ER pri različno prizadetih jelkah.

2 MATERIAL IN METODA

Na raziskovalni ploskvi Ravnik smo od 300 izbrali 40 različno prizadetih dreves. ER smo merili z uporovnim merilnikom firme Bollman Elektronik Systeme, Nemčija, ki je bil opremljen z Delmhorstovimi neizoliranimi igelnimi elektrodami iz nerjavečega jekla dolžine 54 mm in medsebojnim razmakom 11 mm. Meritve opravljamo tako, da elektrode v prsni višini (1,30 m) potisnemo skozi skorjo do kasnega lesa zadnje zaključene branike. Igle pri tem prebodejo ritidom, živo skorjo in kambijevo cono (slika 1). Glede na zelo majhno poškodbo, ki nastane pri meritvi, spada metoda med nedestruktivne načine ugotavljanja stanja živih tkiv.



Slika 1: Princip merjenja električne upornosti živih tkiv. Igle prebodejo mrtvo skorjo, periderm, živo skorjo in kambijevo cono ter se ustavijo v kasnem lesu zadnje branike.

Figure 1: Principle of electrical resistance measuring. Needles penetrate rhytidome, peryderm, living bark and cambial zone and stop in the latewood of the last fully formed tree-ring.

Natančne meritve sezonske dinamike ER so pokazale, da se velikost odčitka znotraj vegetacijske sezone spreminja (TORELLI et al. 1992). V pričujoči študiji smo zato upoštevali samo odčitke na višku vegetacijske sezone - v prvem tednu avgusta, ko so razlike med različno prizadetimi drevesi največje. Meritve smo na vsakem drevesu ponovili na štirih mestih (S, J, V, Z del debla), v nadaljnje analize pa smo vključili samo povprečje štirih meritev.

Osutost krošnje smo ocenjevali po modificirani Bosshardovi lestvici, ki obsega 5 stopenj (BOSSHARD 1986). Drevesa, katerih osutost krošnje je presegala 25%, smo šteli za poškodovana (HOČEVAR 1990). Lestvica za ocenjevanje je podana v preglednici 1.

Preglednica 1: Lestvica za ocenjevanje presvetljenosti krošnje (modificirana Bosshardova lestvica).

Table 1: Modified Bosshard's scores for assessing crown transparency.

Ocena Score	Osutost krošnje Tree crown defoliation	Opis stanja Condition
1	Do / Up to 25 %	Navidezno zdrava drevesa <i>Unaffected trees</i>
2	26-50 %	Rahlo prizadeta drevesa <i>Slightly affected trees</i>
3	51-75 %	Prizadeta drevesa <i>Affected trees</i>
4	76-90 %	Močno prizadeta drevesa <i>Heavily affected trees</i>
5	Nad / Over 90 %	Umirajoča drevesa <i>Dying trees</i>

V prsni višini (1,30 m) smo s prirastoslovnim svedrom znamke SUUNTO, dolžine 450 mm in zunanjim premerom 12 mm, odvzeli po en izvrtak debeline 5 mm. Vzorec smo takoj po odvzemu zalepili v lesen nosilec z utorom, opremili s šifro in shranili. Zalepljene vzorce smo po odvzemu nekaj dni sušili v laboratoriju, nato pa smo jih pobrusili z ročnim vibracijskim brusilnikom.

Širine branik smo izmerili z natančnostjo 1/100 mm na merilni mizici LINTAB (proizvajalec Rinn, Nemčija), ki je povezana z osebnim računalnikom, na katerem teče program TSAP/x (RINN 1989). S programom TSAP/x podatke grafično in numerično preverjamo, navzkrižno primerjamo (sinhroniziramo) in analiziramo z različnimi matematično - statističnimi metodami. Posebno pozornost smo posvetili manjkajočim branikam pri močno prizadetih jelkah. Problematične vzorce smo zato primerjali s kronologijo za Dinarsko fitogeografsko območje.

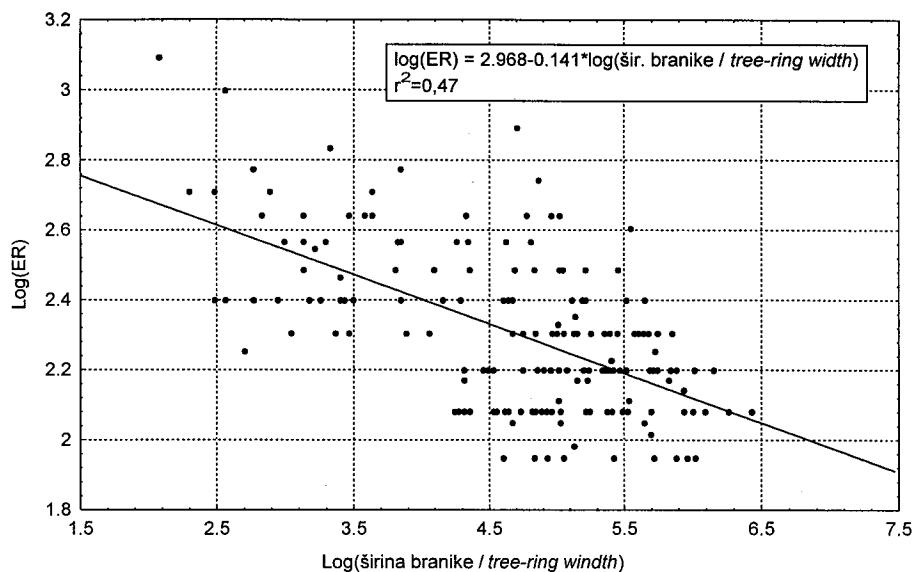
Odločili smo se, da bomo za odvisnost med ER in širino branike ter klimo analizirali samo obdobje 1988 - 1993, ker so izvrtki tik pod skorjo ponavadi nekoliko poškodovani in to moti natančnost meritev.

Za enostavno analizo klime smo vzeli povprečne mesečne temperature in skupno količino padavin z najbližje meteorološke postaje Vrhnika za obdobje 1896-1995. Vse podatke smo dobili na Hidrometeorološkem zavodu R Slovenije.

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3.1 ZVEZA MED ŠIRINO BRANIKE IN VELIKOSTJO ODČITKA ER

Z analizo enostavne odvisnosti med višino odčitka ER in širino branike smo dobili osnovni vpogled v dejavnike, ki so bili osrednjega pomena za pričujočo analizo (grafikon 1). Odnos med širino branike in ER smo najlažje ponazorili z alometrijsko funkcijo oblike $\hat{Y} = aX^b$. Z logaritmiranjem obeh spremenljivk dobimo linearno enačbo oblike $\ln Y = \ln a + b \cdot \ln X$.



Grafikon 1: Odvisnost med širino branike in ER.

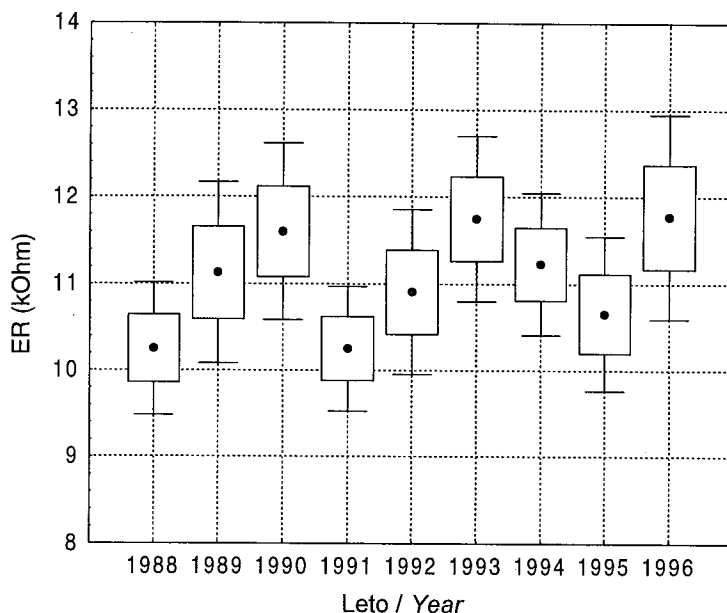
Graph 1: Relationship between tree-ring width and ER.

Pokazalo se je, da je odvisnost med ER in širino branike, nastale v istem letu, obratno sorazmerna in ni tesna ($r^2=0,47$). Dobljeni rezultat pomeni, da bolj ko so branike široke in s tem drevo vitalnejše, nižji je ER. Na osnovi zgornjega rezultata lahko v splošnem potrdimo, da lahko z metodo merjenja električne upornosti živih tkiv ugotavljamo vitalnost drevja.

3.2 PRIMERJAVA ER MED LETI

Analiza dinamike spreminjanja ER za celotno populacijo na višku vegetacijske sezone je pokazala, da se ER ne glede na stopnjo prizadetosti drevja, med leti znatno spreminjajo (grafikon 3). Na grafikonu 3 vidimo, da so bile povprečne vrednosti za ER leta 1990 v primerjavi z letom 1991 bistveno višje. Nepoškodovana drevesa (spodnjih 5 % Box-Whisker grafa) imajo v letu 1990 primerljivo visok odčitek kot močno poškodovane jelke (zgornjih 5% Box-Whisker grafa) v letu 1991. Podobno, vendar nekoliko manj izrazito situacijo smo opazovali tudi leta 1993 in 1994.

Zanimivo je, da se vrednosti ER v zadnjih letih nekoliko višajo ob hkratnem povečevanju variabilnosti odčitkov, čeprav sta bili poletji 1995 in 1996 s padavinami bogato oskrbljeni.



Grafikon 2: Spreminjanje ER po letih na ploskvi Ravnik. Pike v grafu predstavljajo aritmetično sredino za odčitke ER, kvadrati predstavljajo standardno napako vzorca, črtice pa standardno napako pri $\pm 1,960 \sigma$.

Graph 2: Yearly variability of ER on the Ravnik plot. Points in the graph represent arithmetic mean, boxes standard error and whiskers standard error at $\pm 1,960 \sigma$.

Na osnovi zgornjih ugotovitev povzemamo, da lahko z bioelektrično metodo napačno ocenimo fiziološko kondicijo drevesa, če ne poznamo oz. ne upoštevamo ekoloških dejavnikov, ki vplivajo na velikost odčitka ER.

Ravno tako lahko s premajhnim številom zaporednih vsakoletnih meritev napačno ocenimo stanje analiziranih sestojev. Tako bi lahko na osnovi izrazitega

padca vrednosti ER v letu 1991 v primerjavi z letom 1990 napačno sklepali, da se stanje v sestojih hitro in izrazito izboljšuje. Nasprotno pa bi lahko na osnovi poviševanja vrednosti v letih 1988 - 1990 ravno tako napačno sklepali, da se stanje v sestojih hitro poslabšuje. Za korektno oceno stanja sestoja je torej potrebno ponavljati meritve vsako leto skozi daljše časovno obdobje in spremljati spremembe dolgoročnih trendov.

3.3 VPLIV KLIME NA LETNO DINAMIKO ER

Na osnovi prejšnjih raziskav (TORELLI et al. 1990; TORELLI in KRIŽAJ 1991; TORELLI et al. 1992), ki so dokazale, da so drevesa v juliju in avgustu na višku fiziološke aktivnosti, kambijeva cona pa najširša, smo se odločili podrobneje analizirati povprečne temperature in količino padavin v juliju in avgustu.

V preglednici 2 so opisane klimatske razmere julija in avgusta v obdobju 1988-1993.

Preglednica 2: Opis klimatskih posebnosti mesecev julij in avgust v letih 1988-1993.

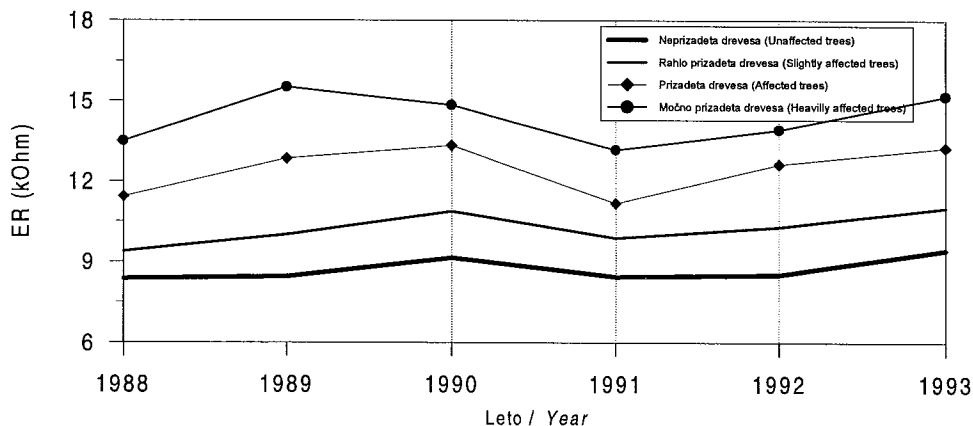
Table 2: Description of the climate in July and August between 1988 and 1993.

Leto Year	Opis Description
1988	Julij in avgust nadpovprečno topla, padavinsko je bil julij suh, avgust pa zelo moker. <i>July and August higher temperatures from the average; July little precipitation, August strong precipitation.</i>
1989	Julij in avgust sta bila povprečno topla. Oskrbjenost s padavinami je bila v obeh mesecih nadpovprečna. <i>July and August average temperatures. The quantity of precipitation above the average in both months.</i>
1990	Julij je bil povprečno topel, avgust pa nadpovprečno. Padavin je bilo v juliju dovolj, avgust je bil izrazito suh. <i>July average temperatures, temperatures in August above the mean. Sufficient precipitation in July, August extremely dry.</i>
1991	Ne temperaturno ne padavinsko julij in avgust ne odstopata od dolgoletnega povprečja. <i>Neither as to the temperatures nor the precipitation quantity in July and August, deviate from a yearly long average.</i>
1992	Julij in avgust sta bila izrazito vroča meseca in sta precej odstopala od dolgoletnega povprečja. Oskrbjenost s padavinami je bila v juliju komaj zadostna, v avgustu pa izrazito majhna. <i>In July and august extremely high temperatures with strong deviations from the average of many years. Precipitation supply in July hardly sufficient and in August extremely poor.</i>
1993	Julij in avgust nista v ničemer odstopala od dolgoletnega povprečja, padavinsko pa je bil avgust nekoliko pod povprečjem. <i>No deviations from the average of many years evidenced. In July and August in many aspect as to precipitation August was slightly below the average.</i>

Glede na vire sklepamo, da so klimatske razmere v juliju in avgustu eden izmed najpomembnejših zunanjih dejavnikov, ki vplivajo na višino odčitka ER. Domnevamo, da se vpliv ekstremno suhih let (npr. leta 1992) čuti še v letih, ki jim sledijo. Dokaz za to je, da so vsi ER v klimatsko razmeroma ugodnem letu 1993 zelo visoki, čeprav to leto ni odstopalo od dolgoletnih povprečij. ER-i v klimatsko izrazito neugodnem letu 1992 so nižji od pričakovanih. Julij in avgust leta 1992 sta bila vroča in suha, kar za drevesa ni ugodno. Opazovanja namreč kažejo, da se v juliju in predvsem v avgustu formira kasni les in skladiščijo hranilne snovi za naslednjo vegetacijsko sezono (prim. KOZLOWSKI 1971). Tako je splet neugodnih okoliščin povzročil višje odčitke ER tudi v naslednjem letu.

3.4 VPLIV OSUTOSTI KROŠNJE NA LETNO DINAMIKO ER

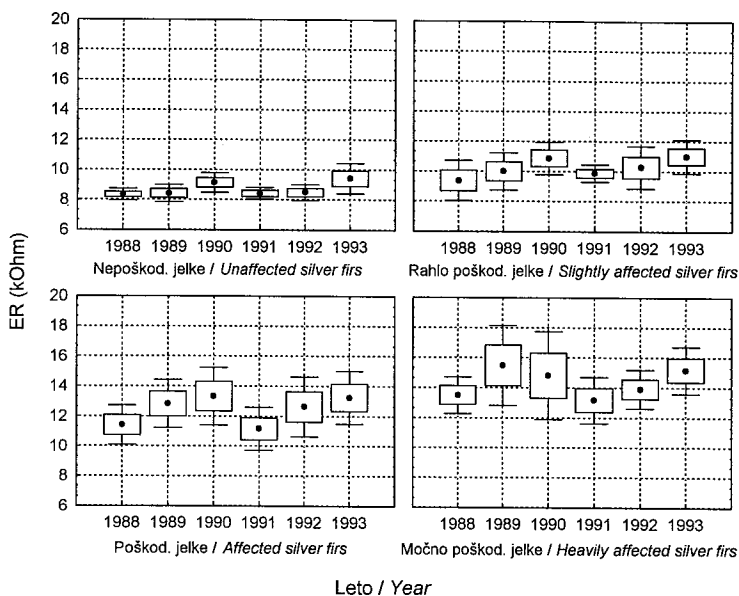
Naslednji korak pri analizi meritev ER je bila primerjava letnih spreminjanj meritev v odvisnosti od osutosti krošnje. Drevesa smo po vizualni oceni osutosti krošnje razdelili v štiri skupine poškodovanosti - navidezno zdrava, rahlo poškodovana, poškodovana in močno poškodovana drevesa (prim. preglednico 1). Zadnje, pete skupine - odmirajočih dreves v raziskavo nismo vključili. V vzorcu je 35 % navidezno zdravih, 20 % rahlo poškodovanih, 30 % poškodovanih in 15 % močno poškodovanih dreves.



Grafikon 3: Spreminjanje ER v skupinah različno poškodovanih dreves od leta 1988 do 1993.

Graph 3: The fluctuation of ER in groups of differently affected silver firs between 1988 and 1993.

Dinamika spreminjanja ER po letih ob vključitvi parametra poškodovanosti drevja je pokazala (grafikona 4 in 5), da so razlike med aritmetičnimi sredinami za skupine poškodovanosti statistično značilne. Analiza posameznih odnosov z LSD testom pri 5 % stopnji tveganja je pokazala, da se odčitki ER statistično značilno razlikujejo med vsemi skupinami poškodovanosti. Najizrazitejša so nihanja ER v skupini močno poškodovanih in najmanj v skupini nepoškodovanih dreves. Tudi variabilnost in s tem zanesljivost odčitkov (grafikon 5) pokaže, da je variabilnost najmanjša v skupini nepoškodovanih dreves in največja v skupini močno poškodovanih dreves.

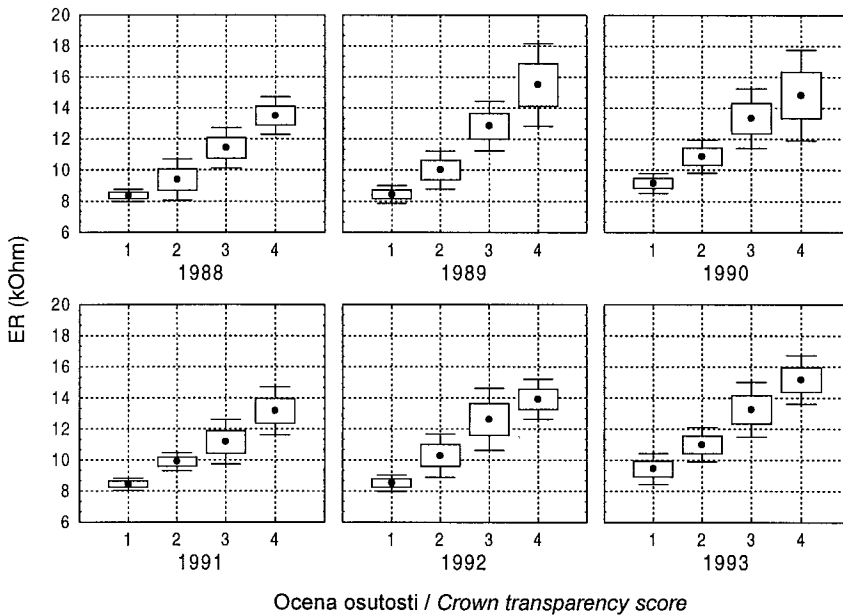


Grafikon 4: Nihanje ER v skupinah različno poškodovanih jelk po letih in skupinah ocen vitalnosti. Pike v grafu predstavljajo aritmetično sredino za odčitke ER, kvadrati predstavljajo standardno napako vzorca, črtice pa standardno napako pri $\pm 1,960 \sigma$.

Graph 4: Yearly fluctuation of ER in groups of variously affected silver firs. Points in the graph represent arithmetic mean, boxes standard error and whiskers standard error at $\pm 1,960 \sigma$.

Variabilnost meritev je med leti dokaj različna in jo težko pripišemo samo klimatskim dejavnikom. Primerjava variabilnosti ER istega leta pri različno poškodovanih drevesih pokaže, da ni skladnosti v variabilnosti meritev. Tako je variabilnost v suhem in vročem letu 1992 v razredu nepoškodovanih in močno poškodovanih jelk majhna, medtem ko je v razredu rahlo poškodovanih in poškodovanih dreves velika.

Ugotovljamo, da se z osutostjo krošnje variabilnost odčitkov povečuje. V skupini nepoškodovanih dreves je variabilnost odčitkov ER v splošnem zelo nizka v primerjavi z ostalimi tremi skupinami poškodovanosti. Variabilnost ER-a se s poškodovanostjo povečuje neodvisno od klimatskih danosti v preučevanem letu (grafikon 5). Razlogi za povečevanje variabilnosti s povečevanjem stopnje poškodovanosti so različni, verjetno pa gre večina variabilnosti na račun spremenljive širine in kvalitete živih tkiv pri močneje poškodovanih drevesih.



Grafikon 5: Variabilnost odčitkov ER v odvisnosti od ocene osutosti krošnje in leta. Pike v grafu predstavlja aritmetično sredino za odčitke ER-a, kvadrati predstavljajo standardno napako vzorca, črtice pa standardno napako pri $\pm 1,960 \sigma$.

Graph 5: Yearly variability of ER measurements in relation to the estimate of tree crown defoliation and a year. Points in the graph represent arithmetic mean, boxes standard error and whiskers standard error at $\pm 1,960 \sigma$.

Ker se variabilnost in s tem zanesljivost meritev med leti spreminjata, pomeni, da je možnost uvrstitve drevesa v napačni razred enkrat večja, drugič manjša. Analize so pokazale, da je eden izmed največjih problemov pravilne ocene kondicije drevesa variabilnost odčitkov pri bolj poškodovanih drevesih. Ker nam vse fiziološke posebnosti dreves še niso znane, bodo potrebne še dodatne raziskave, ki bodo pojasnile ozadje variiranja meritev ER.

4 POVZETEK

Na raziskovalni ploskvi Ravnik (GE Ravnik, OE Ljubljana) smo od 300 testnih jelk (*Abies alba* Mill.) izbrali 40 različno prizadetih dreves. V analizi smo želeli odgovoriti predvsem na naslednja vprašanja:

- kakšna je zveza med širino branike in ER;
- ali je velikost odčitka ER v povezavi s klimo v preučevanem letu;
- kako se med leti spreminja višina odčitka ER pri različno prizadetih jelkah.

Pokazalo se je, da je odvisnost med ER in širino branike, nastale v istem letu, obratno sorazmerna in ni tesna ($r^2=0,47$). Ugotovljena zveza pomeni, da bolj ko so branike široke in s tem drevo vitalnejše, nižji je ER.

Primerjava spreminjanja ER med leti je pokazala, da se ER, ne glede na prizadetost drevja, spreminja, in da je velikost odčitkov tesno povezana s klimatskimi razmerami v preučevanem letu in letu pred njim. Pri interpretaciji meritev ER je potrebno poznati oz. upoštevati številne ekološke dejavnike, sicer lahko z bio-električno metodo napačno ocenimo fiziološko kondicijo dreves.

Zveza med spreminjanjem ER in stopnjo poškodovanosti drevja je statistično značilna. Pri nepoškodovanih drevesih je variabilnost odčitkov ER najmanjša, pri močno poškodovanih pa največja.

Z osutostjo krošnje se variabilnost odčitkov ER povečuje. Pri nepoškodovanih drevesih je v splošnem zelo nizka v primerjavi z ostalimi tremi skupinami. Variabilnost ER se s poškodovanostjo povečuje neodvisno od klimatskih razmer v preučevanem letu.

5 SUMMARY

On the research plot Ravnik (SW Slovenia) 40 systematically selected variously affected silver firs (*Abies alba* Mill.) were analysed. The research plot belongs to a group of research plots which are used for long term observations of silver fir decline. The aim of the study was:

- to analyse the relationship between tree-ring widths and electrical resistance of the living tissues (ER)
- to study the relationship between ER and climate
- to study year to year variability of ER measurement in differently affected silver firs

The relationship between ER and tree-ring width formed in the year of measuring is not high ($r^2=0,47$). The relationship between ER and tree-ring width is negative which means the wider tree-ring, and thus vigorous the tree, the lower ER readings.

Comparison of year to year ER readings has shown that year to year variability is independent from tree vitality. ER readings depends on climate of actual year and the year before. For the interpretation of ER readings many ecological factors has to be taken into account. If this is not the case, wrong interpretation of ER reading and thus wrong physiological assessment of the tree condition is possible.

The relationship between ER readings and the degree of crown damage is statistically significant. Unaffected trees has lower ER readings than heavily affected ones. In the same time the variability of ER reading is lower in group of unaffected trees than in the group of heavily affected ones.

The variability of ER readings increase with increasing crown transparency and decreasing tree vitality. Unaffected trees exhibit lower ER readings and lower variability in comparison with other three vitality classes. Variability increases with crown transparency independently from climatic conditions in studied year.

6 VIRI

- BOSSHARD, W., 1986. Kronenbilder.- Birmensdorf, Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, 72 s.
- ČUFAR, K., 1990. Električna upornost tkiv, prirastne značilnosti in odziv na poškodbe pri zdravih in obolelih jelkah.- Doktorska disertacija, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za lesarstvo, 167 s.
- HOČEVAR, M., 1990. Poškodovanost in rast smrekovega gorskega gozda na poključsko-jeloviški planoti.- Zbornik gozdarstva in lesarstva, 36, s. 27-68.
- KOZLOWSKI, T. T., 1971. Growth and Development of Trees - Cambial growth, Root growth and Reproductive growth.- New York, London, Academic Press, 514 s.
- KRIŽAJ, B., 1997. Zveza med vsebnostjo kalija, magnezija, kalcija in mangana v živih tkivih ter prizadetostjo jelke (*Abies alba* Mill.) in anatomsko fiziološka interpretacija električne upornosti.- Doktorska disertacija, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 168 s.
- KRIŽAJ, B. / ŠTUPAR, J., 1996. Potassium Content in Living Bark, Cambium and Wood in Relation to Electrical Resistance and Tree Condition in the Silver Fir (*Abies alba* Mill.).- PHYTON Annales Rei Botanicae, 36, 3, s. 39-42.
- OVEN, P. / TORELLI, N. / ZUPANČIČ, M., 1995. Anatomy of cambial zone and living bark as related to electrical resistance readings in healthy and affected silver fir (*Abies alba* Mill.).- Acta Pharmaceutica, 45, s. 375-377.
- RINN, F., 1989. TSAP - Time Series Analysis Programme, Version 2.3. Reference Manual.- Heidelberg, Frank Rinn Distribution, 187 s.
- TORELLI, N. / KRIŽAJ, B., 1991. Bioelektrična določitev kondicije navadne jelke (*Abies alba* Mill.) in prognoziranje preživetja v območjih z zračno polucijo.- Biološki vestnik, 39, 4, s. 49-62.
- TORELLI, N. / KRIŽAJ, B. / OVEN, P. / ZUPANČIČ, M. / ČUFAR, K., 1992. Bioelectrical resistance and its seasonal variation as the indicator of tree condition as illustrated by silver fir (*Abies alba* Mill.).- Holz als Roh- und Werkstoff, 50, s. 252.
- TORELLI, N. / ROBIČ, D. / ZUPANČIČ, M. / OVEN, P. / FERLIN, F. / KRIŽAJ, B., 1990. Electrical resistance as indicator of state of health and survival prognosis of silver fir from air polluted areas.- Research Reports Forestry

and Wood Technology, 36, s. 17-26.

TORELLI, N. / SHORTLE, W. / ČUFAR, K. / ROBIČ, D. / ZUPANČIČ, M. / KERMAVNAR, A., 1988. Possible Alterations of Wood in Air Polluted Trees - Phase Report, 1st year.- Ljubljana. University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology,

7 ZAHVALA

Raziskave je financiralo Ministrstvo za znanost in tehnologijo Republike Slovenije, terensko pomoč pa je omogočil Zavod za gozdove Republike Slovenije, OE Ljubljana.