

GDK 176.1 *Fagus sylvatica* L.: 42 -- 0.15.25

VARIABILNOST BIOELEKTRIČNEGA POTENCIALA DREVES KOT MOŽNEGA KAZALNIKA VPLIVA ENDOGENIH IN EKSOGENIH RASTNIH DEJAVNIKOV V BUKOVIH SESTOJIH

Franc FERLIN*

Izvleček

Proučena je variabilnost bioelektričnega potenciala dreves v enodobnih bukovih sestojih znotraj dreves in sestojev (po socialnih razredih in razvojnih fazah) in v mikrorastišču. Analizirani so vplivi endogenih (naravnega izločanja ter negovalnih ukrepov) in eksogenih - stresnih dejavnikov (zračna polucija, ekstremna suša) na bioelektrični potencial. Rezultati kažejo, da so bioelektrične meritve zelo občutljiv kazalnik pretekle ravnosti (življenjske moči) dreves, kot posledice dolgotrajnega vpliva endogenih dejavnikov in precej slabši kazalnik sedanje ravnosti (zdravstvenega stanja) kot posledice kratkotrajnih in trenutnih endogenih ali eksogenih stresov.

Ključne besede: Fagus sylvatica, električna upornost, življenjska moč dreves, zdravstveno stanje dreves, negovanost sestojev, mikrorastišče, zračna polucija, sušni stres

THE VARIABILITY OF BIOELECTRICAL TREES' POTENTIAL AS A POSSIBLE INDICATOR OF THE INFLUENCE OF ENDOGENOUS AND EXOGENOUS GROWTH FACTORS IN BEECH FOREST STANDS

Franc FERLIN*

Abstract

The variability of the bioelectrical potential of trees in even-aged beech stands within trees and stands (by social classes and developmental phases) and in micro-site has been researched. The influences of endogenous (natural selection and tending measures) and exogenous - stress factors (air pollution, extreme drought) on the bioelectrical potential have been analysed. It has been proven by the results that bioelectrical measurements are a highly sensitive indicator of the past growth (vitality) of trees as the consequence of a long lasting influence of endogenous factors and a much worse indicator of the present growth (health condition) as the consequence of transitory and momentary endogenous or exogenous stresses.

Key words: Fagus sylvatica, electrical resistance, vitality of trees, health condition of trees, tending degree, micro-site, air pollution, drought stress

* mag., dipl. ing. gozd., asistent, Oddelek za gozdarstvo Biotehniške fakultete, Večna pot 83, 61 000 Ljubljana, SLO

KAZALO

1	UVOD.....	53
2	DOSEDANJA RAZISKOVANJA IN OPREDELITEV PROBLEMA.....	54
3	MATERIAL IN METODE.....	55
4	IZSLEDKI RAZISKAVE.....	56
4.1	Analiza variabilnosti bioelektričnega potenciala dreves.....	56
4.1.1	Variabilnost med drevesi in znotraj dominantnih dreves..	56
4.1.2	Variabilnost po socialnih razredih in starosti sestojev.....	57
4.2	Vpliv mikrorastiščnih in notranje-sestojnih dejavnikov na bioelektrični potencial dreves.....	60
4.2.1	Vpliv mikrorastiščnih razmer.....	60
4.2.2	Vpliv negovalnih ukrepov.....	60
4.2.3	Vpliv ravnosti dreves.....	62
4.2.3.1	Vpliv debeline dreves znotraj sestoja in po razvojnih fazah.....	62
4.2.3.2	Vpliv velikosti krošenj dominantnih dreves in negovanosti sestojev.....	64
4.2.3.3	Vpliv debeline in debelinskega prirastka dreves.....	65
4.2.3.4	Skupni vpliv kazalnikov ravnosti.....	66
4.3	Vpliv eksogenih stresov na bioelektrični potencial dreves.....	67
4.3.1	Vpliv stresnih dejavnikov dolgotrajnejšega značaja v negovanih in nenegovanih sestojih.....	67
4.3.2	Vpliv stresnih dejavnikov trenutnega značaja.....	68
4.4	Napovedovalna moč in uporabnost bioelektričnih meritev.....	69
4.4.1	Električna upornost kot napovedovalnik cenotskega statusa dreves.....	69
4.4.2	Električna upornost kot napovedovalnik priraščanja dreves.....	70
5	SKLEPI IN RAZPRAVA.....	72
6	POVZETEK.....	73
	SUMMARY.....	76
	VIRI.....	79

1 UVOD

Rast in razvoj bukovih sestojev, za katere je tako v gospodarskem gozdu, kot tudi v pragozdu značilna velika enomernost vertikalne zgradbe, predvsem v mladosti odločilno usmerjajo endogeni (notraje-sestojni) dejavniki. Med njimi je v populacijsko-ekološkem smislu najpomembnejša konkurenca, ki vodi v socialni sestop in naravno izločanje manj vitalnega drevja. Zaradi velike življenjske in konkurenčne moči bukve je naravno izločanje drevja v splošnem počasno. To še posebej velja za enodobne bukove sestoje, nastale na večjepovršinski zastorni način, v katerih so zaradi nenadne odstranitve matičnega sestoja izostali pomembni oblikovalni in izločitveni mehanizmi. Posledica tega je (pre)velika gostota sestojev, ki jo spremlja razmeroma slaba vitalnostna diferenciacija drevja. Zato je nujno intenzivno dodatno uravnavanje naravnega izločitvenega procesa oziroma konkurence med osebki z nego (redčeenji).

Pri sonaravnem oblikovanju in usmerjanju izločitvenih procesov, ki temelji na življenjski moči in razvojni težnji posameznih (skupin) dreves, se v mladem gozdu srečujemo z veliko, bukvi lastno nezanesljivostjo razpoznavanja oziroma izbire teh dreves (MLINŠEK / FERLIN 1992). S starostjo sestoja se le-ta sicer povečuje, vendar pa je subjektivnost ocenjevanja življenjske moči in razvojnih teženj ter zdravstvenega stanja dreves prisotna tudi v odraslem gozdu.

Vpliv endogenih dejavnikov s starostjo in razvojem sestoja na splošno pojema, vpliv eksogenih pa pridobiva na pomenu. Pri proučevanju vpliva obeh vrst rastnih dejavnikov, med katerimi eksogeni lahko delujejo tudi stresno, moramo v enomernih sestojih vsekakor upoštevati tudi njihovo vzajemno delovanje. V iskanju objektivnejega merila za presojo vpliva endogenih in eksogenih rastnih dejavnikov, ki se na zunaj odražajo v različni življenjski moči in (ali) različnem zdravstvenem stanju dreves, se ponuja objektivnejša metoda, ki temelji na meritvah kambialne električne upornosti (npr. SHORTLE et al. 1977) oziroma električnega potenciala vseh živih tkiv v skorji, t.j. kambijeve cone in prevodnega ter neprevodnega floema (ROBIČ et al. 1990).

2 DOSEDANJA RAZISKOVANJA IN OPREDELITEV PROBLEMA

Meritve električne upornosti so bile v gozdni fiziologiji že uporabljene kot indikator stresa (WARGO / SKUTT 1975), učinkov sprostitve dreves ter gnojenja (SMITH et al. 1976), kot kazalnik volumenskega prirastka in listne biomase (PIENE et al. 1984, MacDOUGHAL et al. 1988) ter rasti in vitalnosti drevja (MacDOUGHAL et al. 1988). Pri nas smo jih pri bukvi uporabili kot enega od kazalnikov vitalnosti in učinkov redčenj (FERLIN 1988). Intenzivne raziskave v povezavi z zdravstvenim stanjem in prognoziranjem preživetja zaradi polucije so potekale pri jelki (TORELLI et al. 1990), raziskovanja o vplivu cenotskega statusa na bioelektrični potencial pa tudi pri smreki (ROBIČ et al. 1990) in bukvi (TORELLI et al. 1992). Pri slednji je posebej omeniti izsledke o variabilnosti električne upornosti glede na debelino (žive) skorje in ekscentričnost debla ter študij sezonskih nihanj.

Električna upornost je na splošno odvisna od debeline živih tkiv, zlasti kambijeve cone (BLANCHARD et al. 1983) in se z rastočo debelino živih tkiv zmanjšuje. Pri bukvi je odvisnost zelo tesna (TORELLI et al. 1992). Bolj rastle (vitalnejše) bukve imajo zato nižjo električno upornost (FERLIN 1988). V električnem potencialu živih tkiv obstajajo značilna sezonska nihanja z najnižjo vrednostjo na vrhuncu vegetacijske periode (v avgustu); slednja so večja pri mlajšem, sproščenem in vitalnejšem drevju (TORELLI et al. 1992). Električna upornost dreves v bukovih sestojih značilno narašča s slabšanjem cenotskega statusa (TORELLI et al. 1992). Raziskave pri jelki kažejo, da je električna upornost povezana tudi z zdravstvenim stanjem (poškodovanostjo) in debelino dreves ter širino zadnjih branik (TORELLI et al. 1990). Električna upornost je odvisna tudi od negovanosti sestojev; v nenegovanih bukovih sestojih je bioelektrični potencial, zaradi velike konkurence in utesnjenosti krošenj manjši (FERLIN 1988).

Cilj te raziskave je proučevanje variabilnosti bioelektričnega potenciala dreves v enodobnih bukovih sestojih pod vplivom endogenih (konkurence in naravnega izločanja ter negovalnih ukrepov) in eksogenih rastnih dejavnikov (suša, polucija) oziroma njihovega stresnega delovanja. Raziskava naj bi utemeljila praktično uporabnost bioelektričnih meritev kot objektivnejšega kazalnika življenjske moči (rastnosti in odzivnosti) in kazalnika (zgodnje) stresne prizadetosti drevja v bukovih sestojih.

Raziskati želimo glavne vire bioelektrične variabilnosti v različnih smereh na deblu, v sestoju (po socialnih razredih in razvojnih fazah) ter v

mikrorastišču oziroma najpomembnejše dejavnike, ki vplivajo na bioelektrični potencial dreves: negovalni ukrepi in gostota sestojev, rastnost (prsni premer, tekoči prirastek, velikost krošenj) in zdravstveno stanje dreves (defoliacija krošenj). Pri tem bomo skušali analizirati občutljivost in uporabnost meritev električne upornosti tudi glede na trajanje vplivov. Preskusili bomo tudi, kolikšna je "napovedovalna ostrina" bioelektričnih meritev za oceno cenotskega statusa in debelinskega prirastka dreves.

3 MATERIAL IN METODE

Objekti raziskovanja so v enodobnih bukovih sestojih na Dolenjskem (Brezova reber) na nadmorski višini okrog 400 m, pretežno na rastišču *Quercus Fagetum* /KOŠIR/, kjer je izločenih 5 ploskev različnih velikosti, in sicer:

- Zmerno redčena in neredčena ploskev (starost 80 let, velikost 25 arov, izločeni leta 1970), na katerih Gozdni obrat Straža spremlja učinke redčenj. Na teh ploskvah smo v letu 1987 izmerili električno upornost le na dominantnih drevesih (nosilcih funkcij, cca. 150 dreves). Ponovne meritve električne upornosti in 3-letnega debelinskega prirastka smo pri teh drevesih izvedli v letu 1990, na delu redčene ploskve pa smo električno upornost izmerili vsem drevesom. Meritve so bile vsakokrat izvajane v juliju.
- Dve na novo izločeni ploskvi v redčenem in neredčenem sestoju (starost 80 let, velikost 50 arov, izločeni leta 1988), kjer smo meritve električne upornosti najdebelejših dreves (po Pardeju) izvedli v avgustu letu 1990 in 1992, meritve 3-letnega debelinskega prirastka pa v letu 1991 (skupaj 100 dreves).
- Ploskev v šibko redčenem odraslem bukovem sestoju (starost 110 let, velikost 1 ha, izločena leta 1988). V tem sestoju smo meritve električne upornosti (avgust 1990 in 1992) in 3-letnega debelinskega prirastka (leta 1991) izvedli pri 100 najdebelejših drevesih (po Pardeju), na delu ploskve (25 arov) pa pri vseh drevesih.

Raziskavo smo v letu 1992 razširili še na začasne raziskovalne ploskve spremenljivih velikosti (do 25 dominantnih dreves) in analizirali le najdebelejša drevesa:

- v mlajših sestojih do drogovnjaka (skupaj 75 dreves, meritev električne upornosti v avgustu);
- v starejšem, močnejše presvetljenem sestoju (30 dreves, meritev električne upornosti v začetku septembra).

Na stalnih ploskvah smo dominantnim drevesom, razen električne upornosti izmerili tudi prsni premer in debelinski prirastek (na osnovi razlik) ter ocenili cenotski status, velikost in utesnjenost krošenj ter trenutno zdravstveno stanje (na podlagi gostote krošnje in izgube listja). Na prvih dveh ploskvah smo merili celo velikost krošenj (dolžino, širino). Pri ostalih drevesih smo izmerili le prsni premer, deloma pa tudi prirastek in (ali) ocenili cenotski status. Posneli smo tudi koordinate vseh dreves na treh ploskvah. Na začasnih ploskvah smo meritve in ocene izvedli le pri dominantnih drevesih.

Električno upornost smo merili s kondiciometrom (*Bollman Elektronik Systeme, BRD*) v prsni višini drevesa, na štirih mestih (smereh). Meritve smo na primerjalnih ploskvah izvedli vsakokrat v istih pogojih (v enem dnevu). Podatke smo obdelali z običajnimi statistično-grafičnimi metodami (paket STATGRAPHICS).

4 IZSLEDKI RAZISKAVE

4.1 Analiza variabilnosti bioelektričnega potenciala dreves

4.1.1 Variabilnost med drevesi in znotraj dominantnih dreves

Variabilnost meritev električne upornosti med drevesi in znotraj dreves, t.j. na različnih straneh debla, prikazuje preglednica št. 1. Variabilnost znotraj dominantnih dreves ni zelo velika in celo ne kaže značilnih razlik po razvojnih fazah sestojev. Povprečni variacijski koeficient se namreč v sestojih, starosti 50 - 110 let, giblje med 9 in 12 %. Proti pričakovanju pa je variabilnost električne upornosti majhna tudi med dominantnimi drevesi znotraj sestojev (12 - 15 %), ne glede na starost.

Preglednica 1: Srednje vrednosti in variacijski koeficienti bioelektrične upornosti (CER) znotraj dominantnih dreves in med drevesi glede na starost sestojev

Table 1: Mean values and coefficients of variation in bioelectrical resistance (CER) between and within dominant trees according to stand age

	starost sestojev/stand age			Test ³⁾
	50	80	110	
število dreves/number of trees ¹⁾	25	25	25	
srednja CER/mean CER	15.88	14.69	13.64	F=7.96***
KV%(koef. var./coeff. of var.)	12.58	12.80	15.20	F=0.94
srednji KV%/mean KV ²⁾	11.68	10.71	9.39	F=1.63

Opomba:

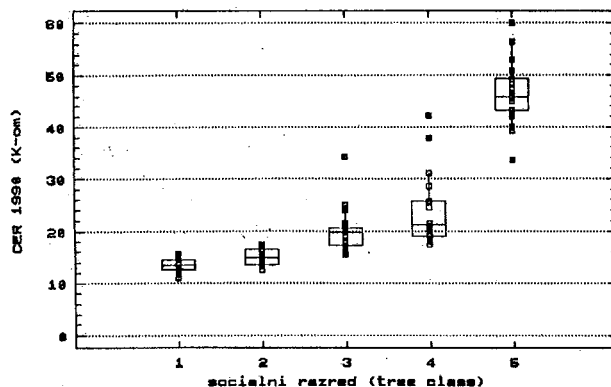
- 1) Prikazano je 100 najdebelejših na hektar (po Pardeju);
- 2) Srednji variacijski koeficient (KV %) znotraj dreves temelji na razlikah štirih meritev (smerti) na deblu, izvedenih v avgustu 1992.
- 3) Primerjava srednjih CER in srednjih koeficientov variacije CER znotraj dreves je izvedena z F-testom, primerjava variacijskih koeficientov po starosti sestojev (najvišji - najnižji) pa z Z-testom.

V bioelektričnem potencialu dominantnih dreves znotraj sestojev torej ni zelo velikih razlik. Variabilnost bioelektričnih meritev med dominantnimi drevesi (12 - 15 %) je le nekoliko večja od notranje variabilnosti v različnih smereh debla (9 - 12 %) in se po razvojnih fazah sestojev, tako znotraj kot med dominantnimi drevesi, ne razlikuje značilno. Majhna variabilnost meritev bioelektričnega potenciala nakazuje njihovo manjšo občutljivost na fiziološke razlike pri najvitalnejšem delu populacije dreves enodobnih bukovih sestojev.

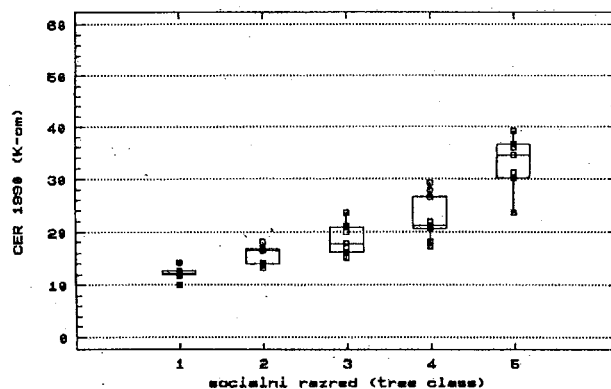
4.1.2 Variabilnost po socialnih razredih in starosti sestojev

Analiza variabilnosti bioelektričnega potenciala dreves po socialnih razredih se nanaša le na srednjedobni in starejši sestoj (slika 1 a, b in pregl. 2). Iz grafikonov je razvidno, da se variabilnost med drevesi povečuje s slabšanjem cenotskega statusa. Razlike v variabilnosti po socialnih razredih so statistično značilne, posebej v srednjedobnem sestoju ($Z = 3.76^{***}$). Variabilnost dreves posameznih socialnih razredov pa se razlikuje tudi v strehi srednjedobnega sestoja ($Z = 3.03^{**}$). V odraslem sestoju je homogenost precej večja ($Z = 1.85^{\circ}$), tako da med socialnimi razredi strehe sestoja ni značilnih razlik. Ne glede na starost sestojev so koeficienti variacije električne upornosti v prvem socialnem razredu najmanjši (10 %), v četrtem pa največji (19 - 28 %). V najnižjem, petem socialnem razredu variabilnost med drevesi zaradi zmanjšane odzivne moči (relativno) upade. Variabilnost bioelektričnega potenciala je po vseh socialnih razredih večja od debelinske

variabilnosti dreves (pregl. 2). Zanimivo je, da so razlike najmanjše v drugem, največje pa v tretjem socialnem razredu. Tu je bioelektrična variabilnost 2.1 do 2.9-krat večja od debelinske variabilnosti dreves, kar je eden od znakov povečane vitalnostne diferenciacije dreves zaradi socialnega sestopanja iz strehe sestojev.



a) srednjedobni sestoj (middle-aged stand)



b) odrasel sestoj (mature stand)

Slika 1: Variabilnost bioelektričnih meritev (CER) po socialnih razredih (po Kraftu)

Figure 1: Variability of bioelectrical (CER) measurements according to tree classes (Kraft)

Opomba:

Prikazane so mediane in razmiki zaupanja aritmetičnih sredin (po Boxu / Wiskerju) po socialnih razredih. Meritve CER se v srednjedobnem sestoju nanašajo na mesec junij (1990), v odraslem pa na avgust (1990).

Bioelektrična variabilnost cele "populacije" je torej bistveno večja od variabilnosti dominantnih dreves. V mlajših sestojih je skupna variabilnost (54 %) večja kot v starejših (38 %). Tudi variabilnost po socialnih razredih je, zaradi živahnije vitalnostne diferenciacije drevja, v mlajših sestojih večja. Naraščanje bioelektrične variabilnosti po socialnih razredih med drugim potrjuje veliko "plastičnost" in sencovzdržnost socialno sicer nazadujočih bukev. Bioelektrična variabilnost po socialnih razredih je večja od debelinske variabilnosti dreves, za sestoj kot celoto pa to velja le v mlajših razvojnih fazah.

Preglednica 2: Koeficienti variacije bioelektričnih meritev in prsnega premera dreves po socialnih razredih (po Kraftu)

Table 2: Coefficients of variation in bioelectrical measurements (CER) and diameter at the breast height (DBH) according to tree classes (Kraft)

starost sestoja (stand age)	socialni razred (tree class)					Test		
	1-5	1	2	3	4	5	Z ₁₋₅	Z ₁₋₃
srednjedobni KVCER	53.9	10.2	9.9	20.5	27.7	13.0	3.76***	3.03**
(middle-old) KVDBH	34.7	5.8	8.8	7.1	15.9	10.6	3.70***	1.35
n	102	21	22	21	19	19		
odrasel KVCER	37.8	9.6	11.0	16.0	19.0	15.8	1.85	1.43
(mature) KVDBH	34.5	5.9	10.4	7.6	9.8	10.7	1.49	1.50
n	41	8	8	9	9	7		

Opomba:

KVCER - koeficienti variacije električne upornosti dreves;

KVDBH - koeficienti variacije prsnega premera dreves;

Za primerjavo variacijskih koeficientov (najmanjši-največji) po socialnih razredih 1 - 5 in 1 - 3 je uporabljen Z-test.

Razlike v srednjih vrednostih električne upornosti po socialnih razredih so kljub veliki variabilnosti (nehomogenosti) seveda značilne (slika 1). Vendar precejšnje razlike v bioelektrični variabilnosti po socialnih razredih otežujejo primerjave oziroma bioelektrično opredelitev teh razredov. Zanimivo pa je, da postane bioelektrična ločljivost prvih treh socialnih razredov zaradi manjše variabilnosti večja, če izločimo ostale socialne razrede. Vendar se dejanske zgornje oziroma spodnje vrednosti električne upornosti dreves sosednjih socialnih razredov precej prekrivajo, tako da bi bilo na podlagi bioelektričnih meritev pri posameznih drevesih mogoče zanesljiveje razlikovati le skrajne socialne razrede, npr. prvi socialni razred od četrtega in petega. Vrednosti okrog 15 K-omov tako v srednjedobnem sestojih lahko pričakujemo v vseh treh socialnih razredih strehe sestoja, vrednosti okrog 35 K-omov pa v tretjem, četrtem in petem socialnem razredu.

4.2 Vpliv mikrorastiščnih in notranje-sestojnih dejavnikov na bioelektrični potencial dreves

4.2.1 Vpliv mikrorastiščnih razmer

Vpliv mikrorastiščnih razmer na bioelektrični potencial dominantnih dreves smo, zaradi izključitve človekovih vplivov, analizirali znotraj nenegovanega enodobnega sestoja. Primerjave smo izvedli na večjem številu ploskev (8) na sicer (navidezno) precej homogenem rastišču. Rezultati so prikazani v preglednici 3. Primerjava srednjih premerov dominantnih dreves med ploskvami kaže, da med njimi ni značilnih razlik. Obstaja torej precejšnja homogenost po debelini dominantnih dreves znotraj rastišča. Nasprotno pa so razlike v bioelektričnem potencialu dominantnih dreves med posameznimi ploskvami zelo značilne in kažejo pomembne mikrorastiščne razlike. Razlike v bioelektričnem potencialu postanejo po "izenačenju" vpliva srednjih premerov dominantnih dreves še bolj očitne.

Preglednica 3: Test razlik v debelini in električni upornosti dominantnih dreves znotraj rastišča v nenegovanih sestojih

Table 3: Test of differences in DBH and CER of dominant trees within micro-site in self-thinned stands

spremenljivka (variable)	n	Fobs.	Fadj.	KV %
premer (DBH)	8	0.63		3.23
električna upornost (CER)	8	4.11***	5.14***	8.62

Opomba:

Poleg testa dejanskih (Fobs.), je prikazan tudi test prilagojenih (Fadj.) srednjih vrednosti CER (po izenačitvi debeline dreves). Primerjava obsega 8 sosednjih ploskev (velikosti 25 X 25 m), znotraj na videz precej homogenega rastišča

Mikrorastišče torej pomembno vpliva na bioelektrični potencial dreves. Različen bioelektrični potencial enako debelih in enako starih dominantnih dreves (pri podobnem zdravstvenem stanju) je verjetno posledica razlik v vodnem režimu oziroma vlažnosti tal. Meritve bioelektričnega potenciala dreves se zato ponujajo tudi kot zanimiv kazalnik mikrorastiščnih razlik.

4.2.2 Vpliv negovalnih ukrepov

Negovalni ukrepi bistveno vplivajo na srednjo debelino, s tem pa posredno tudi na bioelektrični potencial dominantnih dreves, ki je v nenegovanih sestojih nižji (FERLIN 1988). Vendar nas poleg posrednega zanima tudi

neposredni (fiziološki) vpliv negovalnih ukrepov na bioelektrični potencial pri enaki povprečni debelini dreves. Parne primerjave bioelektričnega potenciala dominantnih dreves med enako starimi negovanimi in nenegovanimi sestoji so po odstranitvi posrednega vpliva debeline dreves prikazane v preglednici 4.

Preglednica 4: Primerjava prilagojenih vrednosti električne upornosti (CER) dominantnih dreves v negovanih (pred redčenjem in po njem) in nenegovanih sestojih (v 95 % mejah zaupanja)

Table 4: Comparison of CER adjusted means of dominant trees in thinned (before and after thinning) and self-thinned stands (with 95 % confidence intervals)

starost (age)	mesec-let (month-year)	redčeno (thinned)		neredčeno (self-thinned)	Test Fadj
		pred/before	po/after		
30 let (years)	AVG-1992 n	18.6 - 20.5 24	17.1 - 18.8 26	-	6.39**
par A)	JUN-1987	14.5 - 15.3	-	14.6 - 15.4	0.22
	JUN-1990	14.7 - 15.6	-	14.7 - 15.6	0.01
80 let (years)	n	51		50	
par B)	AVG-1990	-	14.4 - 16.3	20.7 - 22.3	3.89**
	AVG-1992 n	-	14.3 - 16.0 25	14.4 - 15.9 34	0.01

Opomba:

Prikazani so intervali t.i. prilagojenih (adjusted) srednjih vrednosti CER, pri katerih je odstranjen vpliv razlik v debelini dreves. V 30-letnem sestoji obstaja le primerjava CER dveh kolektivov dreves pred redčenjem in po njem. V 70-letnem sestoji sta prikazana dva primerjalna para. Pri prvem gre za primerjavo CER pred ponovnim redčenjem (meritve v juniju 1987 in 1990), v drugem pa nekaj let po redčenju (meritve v avgustu 1987 in 1990).

Primerjava dveh skupin dominantnih dreves v mlajšem sestoji (30 let) pred redčenjem in po njem kaže na ugoden trenutni vpliv redčenja na bioelektrični potencial. Po redčenju je namreč le-ta značilno višji. V srednjedobnem sestoji, v katerem so negovalni ukrepi po redčenju že "izzveneli", pa v juniju leta 1987 in 1990 po izključitvi vpliva debelin dreves v primerjavi z neredčenim sestojem nismo odkrili značilnih razlik v bioelektričnem potencialu dreves. Nasprotno pa so v avgustu 1990 med redčenim in neredčenim srednjedobnim sestojem tri leta po izvedenem redčenju tudi po "izenačitvi" debelin dreves obstajale zelo značilne razlike v bioelektričnem potencialu. Srednja vrednost se je namreč gibala v redčenem med 14.3 in 16.3, v neredčenem pa med 20.7 in 22.3 K-omi. Bioelektrični potencial je bil torej v negovanem sestoji precej večji (40 %). Vendar sta

se v sušnem letu 1992 bioelektrična potenciala obeh kolektivov dreves izenačila, s tem da je v redčenem sestoju slednji ostal na ravni leta 1990, v neredčenem sestoju pa se je bistveno povečal.

Nepričakovano izboljšanje bioelektrične kondicije neredčenega sestoja v izredno sušnih razmerah v avgustu 1992 (glede na stanje leta 1990) morda kaže, kako je le-ta izkoristil večjo vlažnost tal, ki se je ohranila zaradi močnejše zasenčenosti. Vendar bi bila za objektivnost te trditve potrebna meritev vsaj še kakšno naslednje leto. Spoznanje o ugodni bioelektrični odzivnosti gostejših bukovih sestojev v sušnih razmerah je sicer pričakovano in pomembno pri bodočem ravnanju v bukovih gozdovih. V horizontalno in vertikalno močnejše sklenjenih sestojih z vlažnejšo in hladnejšo mikroklimo bi se fiziološki potencial (in s tem življenjska moč) drevja najbrž uspešneje ohranjal.

Redčenje ima v bukovih sestojih poleg posrednega tudi ugoden neposredni vpliv na bioelektrični potencial dreves. Vendar neposredni fiziološki vpliv z zapolnjevanjem ravnega prostora že do naslednjega redčenja "izzveni". Ostaja pa posredni vpliv, povezan z večjin srednjim premerom oziroma boljšo ravnostjo nosilcev funkcij. Proti pričakovanju nismo odkrili, da bi večja gostota nenegovanih sestojev neposredno zmanjševala bioelektrični potencial dominantnih dreves (pri enaki debelini), kar dokazuje veliko življenjsko in konkurenčno moč bukve na teh rastiščih.

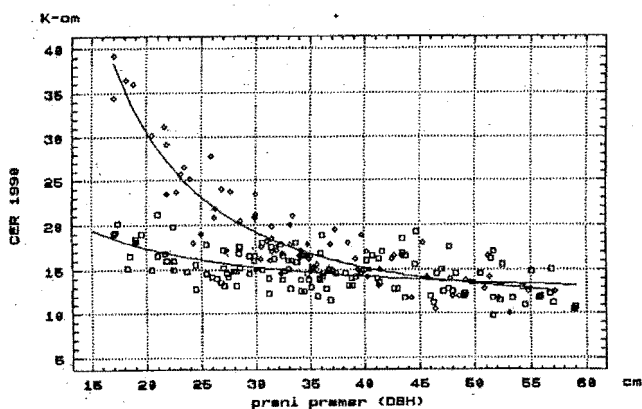
4.2.3 Vpliv ravnosti dreves

Ravnost dreves je v enodobnih sestojih najpomembnejši zunanji kazalnik življenjske moči. Vpliv ravnosti na bioelektrični potencial dreves bomo proučili pri celi "populaciji" dreves v enodobnem sestoju, pri kateri je vpliv konkurence in naravnega izločanja zelo velik in posebej pri ožji "populaciji" dominantnih dreves, kjer je ta vpliv minimalen. Uporabili bomo debelino dreves in velikost krošenj kot najpomembnejša kazalnika dolgotrajnih vplivov (pretekle ravnosti) in letni debelinski prirastek kot kazalnik tekočih vplivov (sedanje ravnosti). Najprej bomo analizirali vpliv posameznih dejavnikov, nato pa še skupnega.

4.2.3.1 Vpliv debeline dreves znotraj sestoja in po razvojnih fazah

Vpliv debeline dreves na bioelektrični potencial znotraj odraslega sestoja (starost 110 let) je zelo močan, kajti pojasnjuje kar 86 % variabilnosti (slika 2). Povezava ima obliko hiperbole, ki je pri "populaciji" dominantnih

dreves različnih starosti (30 - 110 let) mnogo ohlapnejša, saj pojasnjuje le 32 % bioelektrične variabilnosti. Električna upornost večine dominantnih dreves od tanjšega drogovnjaka do debeljaka se namreč giblje med 10 in 20 K-ohmi. Najbolj očitna je razlika v nagibu obeh krivulj. Prva je precej strma, druga pa zelo položna, vendar se njuni ravni pri večjih debelinah dreves (nad 40 cm) izenačita. Tako je bioelektrični potencial dominantnih dreves v mladih sestojih (tanjši drogovnjak) bistveno večji od potenciala enako debelih (potisnjenih) dreves v starejših sestojih.



Slika 2: Odvisnost električne upornosti (CER) od prsnega premera dreves (DBH) znotraj odraslega sestoja (a) in po razvojnih fazah (b)

Figure 2: Correlation between electrical resistance (CER) and the breast height diameter of trees (DBH) within mature stand (a) and thru stand development stages (b)

Opomba:

Strmejša krivulja (a) predstavlja odvisnost znotraj sestoja (vsa drevesa), položnejša (b) pa po razvojnih fazah sestojev (samo dominantna drevesa). Enačbi prilagojenih krivulj sta:

$$1) CER_a = 10.14 + 8138.97 / DBH^2, r = 0.929^{***}, N = 81$$

$$2) CER_b = 11.04 + 126.92 / DBH, r = 0.556^{***}, N = 137$$

Bioelektrični potencial cele "populacije" dreves je torej v zelo tesni (hiperbolični) odvisnosti od debeline dreves ($r = 0.93^{**}$), ki odraža vplive notranje-sestojnih dejavnikov (konkurence in naravnega izločanja). V okviru napredujočega, dominantnega dela populacije dreves različnih razvojnih faz (starosti) pa ima debelina dreves precej manjši vpliv ($r = 0.58^{**}$). Razlike v bioelektričnem potencialu dreves po razvojnih fazah sestojev so pri enaki debelini mnogo manjše kot znotraj endobnih sestojev. Mlajša, dominantna drevesa istih debelin imajo namreč bistveno večji bioelektrični potencial od starejših, vendar socialno

nazadujočih dreves. Vendar pa se razlike v bioelektričnem potencialu dreves z rastočo debelino (nad 40 cm) kljub starostnim razlikam zmanjšujejo.

4.2.3.2 Vpliv velikosti krošenj dominantnih dreves in negovanosti sestojev

Spoznanja o vplivu velikosti krošenj na bioelektrični potencial dominantnih dreves posredno izhajajo že iz analize vpliva negovalnih urepov. Debelejša drevesa z večjimi krošnjami, ki so hkrati tudi bolj sproščena, imajo v splošnem tudi večji bioelektrični potencial. Vendar nas z vidika občutljivosti meritev in njihove praktične uporabnosti zanima, ali lahko odkrijemo tudi razlike v bioelektričnem potencialu pri enaki debelini in različni velikosti krošenj dominantnih dreves, kar pogosto potrebujemo v praksi pri odločitvah za izbiro nosilcev funkcij.

Analizo vpliva velikosti krošenj na bioelektrični potencial dominantnih dreves prikazuje pregl. 5. Razlike dejanskih srednjih vrednosti med dominantnimi drevesi z različno velikimi krošnjami so majhne, v nenegovanem sestoju pa celo neznačilne. Po izključitvi vpliva debelin dreves ostanejo značilne le v negovanem sestoju po izvedenem redčenju, kar potrjuje tudi analiza odvisnosti bioelektričnega potenciala od (izmerjene) širine krošenj ($r=0.60^{**}$).

Preglednica 5: Primerjava srednjih CER po velikostih krošenj dominantnih dreves v negovanih (po redčenju in pred redčenjem) in nenegovanih srednjedobnih sestojih

Table 5: Comparison of mean CER according to the crown size of dominant trees in thinned (after and before thinning) and self-thinned middle-aged stands

negovanost (silvicultural treatment)		velikost krošnje (crown size) ¹⁾			Fobs. ²⁾	Fadj. ³⁾	Rpar. ⁴⁾
		1	2	3			
po redčenju (after thinning)	CER	13.31	15.38	16.68	7.94 ^{**}	14.66 ^{**}	0.60 ^{**}
	n	8	20	25			
pred redčenjem (before thinning)	CER	12.91	15.28	15.54	10.13 ^{**}	1.53	0.10
	n	12	32	10			
neredčeno (self-thinning)	CER	14.80	15.42	16.05	1.02	0.01	-0.14
	n	4	22	28			

Opomba:

- 1) Velikost krošenj se nanaša le na dominantna drevesa (1 - velika, 2 - normalna, 3 - manjša);
- 2) Fobs. - test razlik dejanskih (observed) srednjih vrednosti;
- 3) Fadj. - test razlik prilagojenih (adjusted) srednjih vrednosti (ob enakem srednjem premeru dreves);
- 4) Rpar. - parcialni korelacijski koeficient med CER in velikostjo krošenj (ob odstranitvi vpliva debeline dreves), dobljen na podlagi meritev širine krošenj.

Meritve električne upornosti so torej znotraj ožje "populacije" dominantnih dreves podobnih debelin slabše občutljive na različno velikost krošenj. Značilne razlike v bioelektričnem potencialu dreves z različno velikimi krošnjami namreč ob izključitvi vpliva debeline odkrijemo šele v negovanih sestojih (takoj) po izvedenem redčenju, ko prihaja do večje fiziološke aktivnosti in s tem do večje bioelektrične diferenciacije dreves. Vendar se neposredni vpliv sprostitvev krošenj na bioelektrični potencial dreves z "izzyvenevanjem" odzivov (zapolnjevanjem ravnega prostora) med različno velikimi krošnjami izenačuje.

4.2.3.3 Vpliv debeline in debelinskega prirastka dreves

Rezultati analize odvisnosti bioelektričnega potenciala od debeline in debelinskega prirastka dreves za odrasel sestoj so prikazani v preglednici 6, raztresenost dejanskih meritev bioelektričnega potenciala glede na debelino in debelinski prirastek dreves pa na sliki 3. Po pričakovanju so tako posamezne kot tudi skupne odvisnosti precej tesnejše v "populaciji" vseh dreves. Dele pojasnjene bioelektrične variabilnosti znaša kar 89.6 %, pri dominantnih drevesih istega sestoja pa le 37.9 %. Za oba kolektiva dreves pa sta značilni približno enaki, vendar šibkejši odvisnosti bioelektričnega potenciala od prirastka ($r = 0.54^{**}$ oz. 0.55^{**}) ob izključitvi vpliva debeline dreves. Po izključitvi tega vpliva se namreč pri celi "populaciji" ta odvisnost precej zniža (prej 0.92^{**}), pri populaciji dominantnih pa zadrži na isti ravni.

Preglednica 6 :Odvisnosti med električno upornostjo in prsnim premerom ter debelinskim prirastkom dreves v odraslem sestoju

Table 6 :Correlations between CER and DBH and diameter increment (IDBH) of trees within mature stand

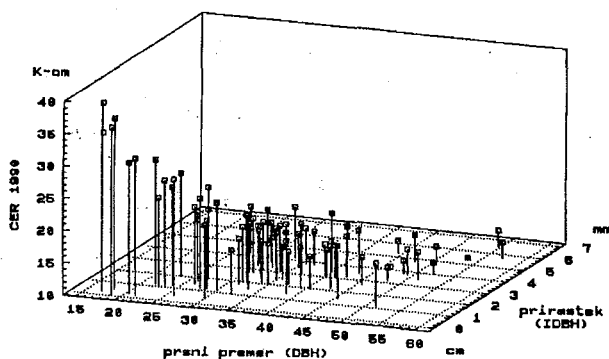
	vsa drevesa (all trees)			dominantna (dominant)		
	1 / DBH	LOG IDBH		1 / DBH	LOG IDBH	
CER 1990	r-Pearson	-0.916 ^{**}	-0.843 ^{**}	-0.334 ^{**}	-0.541 ^{**}	
	r-parcialni	-0.778 ^{**}	-0.539 ^{**}	-0.351 ^{**}	-0.550 ^{**}	
	R-multipli		0.941 ^{**}		0.616 ^{**}	
	n		81			80

Opomba:

1/DBH - reciprok prsnega premera; pri vseh drevesih kaže še tesnejšo enostavno ($r = -0.929^{**}$) in skupno odvisnost ($R = 0.947^{**}$) njegov kvadrat;

LOG IDBH - logaritem letnega debelinskega prirastka;

CER 1990 - električna upornost (avgust 1990).



Slika 3: Raztresenost bioelektričnih meritev (CER) glede na prsni premer (DBH) in debelinski prirastek (IDBH) dreves v odraslem sestoju
 Figure 3: Scatterplot of CER measurements according to DBH and IDBH in mature stand

Opomba:

Prilagojena regresija ima enačbo:

$$CER = 13.74 + 6104.0 / DBH^2 - 2.007 * LOG IDBH, R^2 = 0.896^{**}, SE = 1.97, N = 81$$

Dolgoročni in tekoči vplivi, ki se odražajo v doseženi debelini in debelinskem prirastku (rastnosti) cele "populacije" dreves enodobnih sestojev, torej zelo odločilno prispevajo k njihovem bioelektričnemu potencialu, kajti skupaj pojasnjujejo kar 90 % bioelektrične variabilnosti. Prispevek kratkoročnih (tekočih) vplivov, odločilnih za sedanjo rastnost dominantnih dreves, je precej manjši (38 %), električna upornost pa zato manj občutljiv kazalnik trenutnega fiziološkega stanja teh dreves.

4.2.3.4 Skupni vpliv kazalnikov rastnosti

Skupni vpliv kazalnikov rastnosti na bioelektrični potencial lahko preskusimo le pri dominantnih drevesih srednjedobnega sestoja, kajti pri ostalih nismo posebej merili niti ocenjevali velikosti krošenj. Rezultati regresijske analize odvisnosti bioelektričnega potenciala od debeline in tekočega debelinskega prirastka ter velikosti (volumna) krošenj pri dominantnih drevesih (pregl. 7) kažejo, da ima največjo pojasnjevalno moč tekoči prirastek (52 %). Manjši delež (6.5 %) prispeva prsni premer, medtem ko prispevek volumna krošnje sploh ni značilen. "Vsebovan" je že v debelini dreves.

Sklepamo lahko, da prsni premer in tekoči prirastek cele "populacije" dreves v enodobnih sestojih pojasnjujeta večino bioelektrične variabilnosti, ki izhaja iz

razlik v njihovi ravnosti. Ob vključitvi velikosti krošenj se delež pojasnjene bioelektrične variabilnosti dreves namreč ne poveča značilno.

Preglednica 7: Značilnost glavnih kazalnikov ravnosti in skupni delež pojasnjene bioelektrične variabilnosti dominantnih dreves v srednjedobnem sestoju

Table 7: Significance of primary growth variables and cumulative amount of explained variability in CER of dominant trees in middle-aged stand

spremenljivka (variable)	pojasnjeno (explained)	T-test
LOG IDBH	52.3 %	-8.15***
1 / DBH	58.8 %	3.24**
1 / KROVOL	59.1 %	-0.88

Opomba:

V regresijo so vključena le dominantna drevesa (N = 100), ki predstavljajo 200 najdebelejših na hektar. Metoda vključevanja spremenljivk je STEPWISE;
KROVOL - volumen krošnje v m³.

4.3 Vpliv eksogenih stresov na bioelektrični potencial dreves

4.3.1 Vpliv stresnih dejavnikov dolgotrajnejšega značaja v negovanih in nenegovanih sestojih

Tako v mlajših kot v starejših enodobnih bukovih sestojih poteka poleg naravne vitalnostne diferenciacije, katere posledici sta socialni sestop in naravno izločanje drevja, tudi diferenciacija v zdravstvenem stanju (življenjski moči) dreves pod vplivom eksogenih dejavnikov. V letu 1990 se je prizadetost dominantnih dreves znotraj sestojev gibala med 5 in 50 %, s srednjimi vrednostmi po sestojih med 15 in 25 % (preglednica 8). Proučevani sestoji zato z vidika delovanja eksogenih - stresnih dejavnikov spadajo med rahlo prizadete. Splošno slabšanje življenjske moči drevja postaja tudi pri bukvi dolgotrajnejši proces. Zanima nas, ali ga v fazi rahle prizadetosti e lahko zaznamo tudi z bioelektričnimi meritvami.

Analize odvisnosti bioelektričnih meritev v negovanih bukovih sestojih različnih razvojnih faz pri rahli prizadetosti drevja, ocenjeni na podlagi izgube listja in drugih znakov, tudi po odstranitvi vpliva debeline dreves (še) ne kažejo značilnih povezav. Pojavijo pa se v nenegovanih sestojih, kjer je prizadetost dominantnih dreves nekoliko večja (v intervalu 10 - 50 %).

Navedene ugotovitve kažejo, da so bioelektrične meritve precej neobčutljiv kazalnik vpliva dolgotrajnejših stresnih dejavnikov, katerih posledica je le rahlo poslabšanje življenjske moči (rahla prizadetost) drevja. V nenegovanih sestojih je občutljivost bioelektričnih meritev zaradi dodatne konkurenčne prizadetosti drevja nekoliko večja.

Preglednica 8: Enostavne in delne odvisnosti med CER, DBH in izgubo asimilacijskih organov pri dominantnih drevesih v negovanih (po redčenju in pred njim) in nenegovanih sestojih različnih starosti

Table 8: Sample and partial correlations between CER, DBH and defoliation (DEFOL) of dominant trees in thinned (after and before thinning) and self-thinned stands of various age

negovanost (treatment)	star. (age)	% pošk k	DEFOL ¹		N	CER ²	korel. koeficienti (correl.coeff.)		
			int.				enostavn i DEFOL	(sample) DBH	parcialni DEFOL
po redčenju (after thinning)	50	15	5-30	25	AVG92	0.386	-0.422*	0.374	
	80	17	5-30	25	AVG90	0.188	-0.504**	0.131	
		17	5-35		AVG92	0.204	-0.698***	-0.090	
	110	18	5-35	43	AVG90	0.222	-0.497***	0.096	
		20	5-45		AVG92	0.136	-0.517***	0.139	
pred redčenjem (before thinning)	140 ³	36	5-90	28	SEP92	0.175	-0.436*	-0.076	
	80	22	10-35	54	JUN90	0.335**	-0.586*	0.069	
neredčeno (self-thinning)	80	26	10-50		JUN90	0.384**	-0.203	0.378**	
				55					
	80	27	15-40	34	AVG90	0.290	-0.288	0.237	
		25	10-50		AVG92	0.516**	-0.376*	0.432*	

Opomba:

- 1) DEFOL - zdravstveno stanje dreves, ocenjeno na osnovi izgube listov in drugih znakov (v %). Prikazana sta povprečje za sestoj ter variacijski razmik;
- 2) CER - električna upornost, merjena v različnih mesecih leta 1990 in 1992;
- 3) Med redčenimi sestoji je tudi vrzelast 140-letni sestoj z močno izgubo listja (5 - 90 %) zaradi poletne suše (1992).

4.3.2 Vpliv stresnih dejavnikov trenutnega značaja

Analizo občutljivosti bioelektričnih meritev na stresne vplive zaradi ekstremne suše, ki so se v letu 1992 odrazili v zelo močni, prezgodnji defoliaciji krošenj najbolj rastihih dominantnih dreves, smo izvedli v 140-letnem, močno presvetljenem sestoju (pregl. 8), kjer se je defoliacija krošenj ob koncu avgusta leta 1992 gibala med 5 in 90 % (povprečno 36 %). Proti pričakovanju pa povezav med bioelektričnim potencialom in defoliacijo

krošenj tudi tu nismo odkrili. Obstaja namreč le značilna odvisnost bioelektričnega potenciala od debeline (dominantnih) dreves. Bolj rastna (debelejša) drevesa imajo namreč večji bioelektrični potencial ne glede na njihovo stopnjo defoliacije krošenj zaradi suše.

Bioelektrične meritve so, presenetljivo, tudi precej neobčutljiv kazalnik vpliva kratkotrajnih, čeprav ekstremnih podnebnih dejavnikov (poletne suše), četudi le-ti povzročijo močnejše strese (defoliacijo krošenj).

4.4 Napovedovalna moč in uporabnost bioelektričnih meritev

4.4.1 Električna upornost kot napovedovalnik cenotskega statusa dreves

Povezanost bioelektričnega potenciala s cenotskim statusom in (ali) debelino dreves enodobnih sestojev, ki je pomembna pri presoji njegove napovedovalne moči in s tem praktične uporabnosti, je prikazana v preglednici 9. Ker je cenotski status tesno povezan z debelino dreves ($r = -0.97^{**}$), tudi ni presenetljiva močna povezanost cenotskega statusa in električne upornosti oziroma njene obratne vrednosti. Vendar pa je le-ta tako v odraslem ($r = 0.91^{**}$) kot tudi v srednjedobnem sestoju ($r = 0.92^{**}$) nekoliko šibkejša. Tako znaš pojasnjevalna moč bioelektričnih meritev 82 - 84 %, pojasnjevalna moč debeline dreves pa kar 94 %.

Vendar moramo pri oceni napovedovalne "ostrine" in uporabnosti bioelektričnih meritev upoševati tudi njihovo dejansko variabilnost po socialnih razredih (glej 4.1.2). Pri napovedovanju cenotskega statusa dreves (po Kraftu) na podlagi bioelektričnih meritev moramo računati z odstopanji ± 1.1 v srednjedobnem oziroma ± 1.2 socialna razreda v odraslem sestoju (pregl. 9). Drevesu, ki je sicer v tretjem socialnem razredu, bi tako na podlagi električne upornosti lahko dodelili drugi, tretji ali četrti socialni razred. S tem je opredeljena praktična uporabnost in "napovedovalna ostrina" bioelektričnih meritev ob sicer ugotovljeni tesni povezanosti s cenotskim statusom dreves.

Preglednica 9: Rezultati regresije med cenotskim statusom (po Kraftu) in električno upornostjo (CER) v srednjedobnih in odraslih sestojih

Table 9: Regression results between cenotic status (according to Kraft) and CER in middle-aged and mature stand

spremenljivka (variable)	srednjedobni (middle-aged)	odrasel (mature)
CONST	6.338	6.793
1 / CER	-64.479	-68.016
R ²	84.12	82.38
SE	0.56	0.59
N	100	40

Opomba:

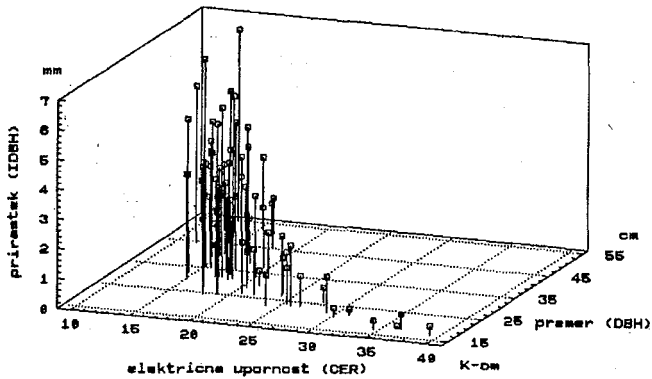
Cenotski status je še v tesnejši povezanosti s premerom dreves; slednji pojasnjuje 93.75 % variabilnosti v srednjedobnem in 94.07 % v odraslem sestoju;

1 / CER - reciprok električne upornosti (leta 1990);

Bioelektrične meritve so torej lahko zelo koristen dodatni, ne pa edini pripomoček pri določanju cenotskega statusa dreves, kajti njihova "napovedovalna ostrina" je, kljub tesnejši povezanosti s cenotskim statusom premajhna za njegovo individualno določanje, ki ga pogosto rabimo v praksi (npr. pri izbiri nosilcev funkcij). Natančnost (zanesljivost) statističnih napovedi se namreč giblje v mejah najmanj enega socialnega razreda okrog "prave" vrednosti. Na podlagi bioelektričnih meritev pa naj bi, ob upoštevanju debeline dreves, poleg cenotskega statusa objektivneje ocenjevali tudi razvojno težjo dreves.

4.4.2 Električna upornost kot napovedovalnik priraščanja dreves

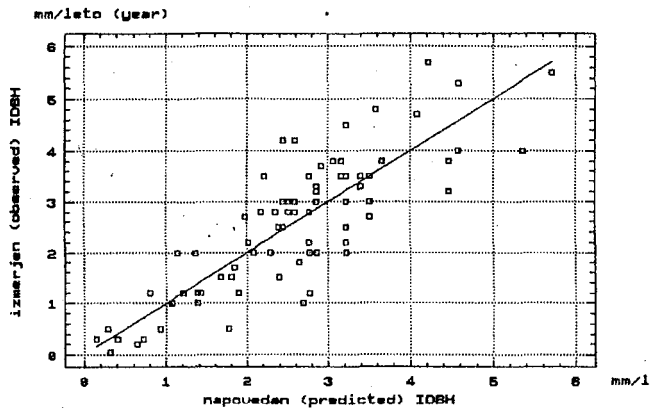
Ker je bioelektrični potencial zelo tesno povezan z debelino in prirastkom, t.j. rastnostjo vseh dreves znotraj enodobnih sestojev (preglednica 6, slika 3), bi ob upoštevanju debeline dreves na podlagi bioelektričnih meritev lahko ocenjevali (napovedovali) celo tekoči prirastek, namesto da ga ugotavljamo z vrtnanjem, ki pa je pri bukvi težavno. Pri tem bi morali upoštevati sezonsko primerljivost bioelektričnih meritev. Sestoji bi morali biti v isti razvojni fazi, imeti bi morali podobno socialno in debelinsko strukturo drevja, podobno intenziteto negovalnih ukrepov in podobne rastiščno-ekološke razmere. Dejanska raztresenost debelinskega prirastka dreves glede na njihovo električno upornost in prsni premer je prikazana na sliki 4.



Slika 4: Raztresenost debelinskega prirastka dreves glede na električno upornost in prsni premer dreves v odraslem sestoju

Figure 4:

Scatterplot of diameter increment of trees (IDBH) according to electrical resistance (CER) and diameter at breast height (DBH) in mature stand



Slika 5: Izmerjene in napovedane vrednosti debelinskega prirastka dreves v odraslem sestoju

Figure 5: Observed and predicted values of annual diameter increment of trees in mature stand

Opomba:

Pri pojasnjevanju skupne variabilnosti prirastka je, zaradi tesne korelacije CER in prsnega premera dreves, značilna le prva. Regresija ima enačbo:

$IDBH = -1.752 + 74.034 / CER$, $R^2 = 0.686^{**}$, $SE = 0.79$, $N = 77$ (izločene so 4 ekstremne vrednosti).

Izsledki kažejo, da obratna odvisnost debelinskega prirastka od prsnega premera in bioelektričnega potenciala vseh dreves v sestoji ni tako močna. Tesna medsebojna odvisnost prsnega premera in bioelektričnega potenciala ($r=0.92^{**}$) namreč ne poveča skupnega delež pojasnjene prirastne variabilnosti dreves. Slednji ostaja le tolikšen, kolikor ga pojasnjuje "najmočnejša" spremenljivka (69 %), to pa je bioelektrični potencial. Odstopanja napovedanih vrednosti letnega debelinskega prirastka od izmerjenih so prikazana na sliki 5. Napovedane vrednosti prirastka posameznih dreves na podlagi bioelektričnih meritev se gibljejo v precej širokem intervalu (± 1.6 mm). Bistveno ožje pa so seveda meje za srednje (izravnane) vrednosti prirastka dreves.

Razmeroma širok interval za napovedovanje letnega debelinskega prirastka posameznih dreves na podlagi bioelektričnih meritev (± 1.6 mm) sicer ne predstavlja velike napovedovalne ostrine, vendar je le-ta kljub vsemu precej večja, kot jo moremo doseči le na podlagi debeline dreves, od katere je prirastek bistveno manj odvisen. Prav na podlagi te odvisnosti pa smo po razvojnih fazah do sedaj v praksi "napovedovali" oziroma s pomočjo prirastnih nizov po debelinskih stopnjah "prirejali" prirastek. S pomočjo bioelektričnih meritev bi tovrstne napovedi prirastka prav gotovo lahko bistveno izboljšali.

5 SKLEPI IN RAZPRAVA

Bioelektrične meritve so na splošno zelo dober kazalnik ravnosti dreves v enodobnih bukovih sestojih, katerih razvoj je posledica dolgotrajnega procesa naravnega izločanja zaradi konkurence med osebki. V okviru ožjega dela "populacije" najbolj ravnih (dominantnih) dreves pa je njihova pojasnjevalna moč bistveno slabša, saj je variabilnost znotraj dreves skoraj tako velika kot med drevesi. Zaradi tega je praktična uporabnost bioelektričnih meritev pri ugotavljanju manjših razlik v ravnosti in (ali) življenjski moči med posameznimi osebki pri individualni izbiri nosilcev funkcij (pri redčenjih) majhna.

Vsekakor pa bioelektrične meritve lahko kot pomemben dodatni pripomoček uporabljamo pri objektivnejšem ocenjevanju cenotskega statusa dreves v sestoji. Menim, da je njihov pomen celo večji, kot smo ga lahko dokazali, saj ocene na podlagi bioelektričnih meritev poleg informacij o cenotskem statusu dreves vsebujejo tudi informacije o razvojni težnji osebkov. Slednje je še posebej pomembno v raznodobnih in prebiralnih sestojih, kjer življenjska moč čakajočih dreves ni v (tesni) korelaciji z njihovo (trenutno) ravnostjo.

Eden od pomembnih vidikov praktične uporabnosti bioelektričnih meritev je njihova razmeroma čvrsta povezanost s tekočim prirastkom cele "populacije" dreves, ki je tesnejša kot z drugimi dendrometrijskimi znaki. S pomočjo bioelektričnih meritev namreč lahko napovedi oziroma ocene debelinskega prirastka dreves ob upoštevanju debeline, starosti in rastiščnih razlik bistveno izboljšamo, še posebej, ker smo do sedaj "prirejali" prirastek kar s pomočjo t.i. prirastnih nizov po debelinskih stopnjah, ki včasih niso bili ločeni niti po razvojnih fazah sestojev.

Zelo pomembno pa je, da bioelektrične meritve lahko služijo tudi kot kazalnik (mikro)rastiščnih razlik in negovanosti (gostote) sestojev, saj skupaj lahko pojasnjujejo celo večji delež bioelektrične variabilnosti kot razlike v ravnosti in zdravstvenem stanju dominantnih dreves. Ekološka interpretacija bioelektrične variabilnosti dreves in sestojev bi bilo zato pomemben nadaljnji raziskovalni motiv.

Bioelektrične meritve proti pričakovanju tudi niso zelo občutljive na trenutne fiziološke vplive, kot so trenutne konkurenčne razmere ali pa zunanji dejavniki (polucija, klimatski stres). Tudi na dolgoročneje slabljenje življenjske moči bukve, ki se na zunaj kaže le v rahli prizadetosti drevja, bioelektrične meritve niso posebej občutljive. Izkazalo pa se je, da je poleg dolgoročnega učinka negovalnih ukrepov značilen tudi trenutni učinek (sprostitvev krošenj) na bioelektrični potencial, vendar le-ta z zapolnjevanjem ravnostnega prostora "izveneva".

6 POVZETEK

V raziskavi so bili proučeni glavni viri variabilnosti bioelektričnega potenciala dreves v enodobnih bukovih sestojih znotraj dreves in med njimi (po socialnih razredih in razvojnih fazah) ter v (mikro)rastišču. Analizirani so bili vplivi najpomembnejših endogenih (konkurence in naravnega izločanja ter negovalnih ukrepov) in nekaterih eksogenih ravnih dejavnikov (suša, zračna polucija). Preskušena je bila pojasnjevalna moč in uporabnost bioelektričnih meritev kot objektivnejšega kazalnika življenjske moči (ravnosti) in razvojnih teženj dreves ter stresne prizadetosti drevja. Analizirana je bila tudi občutljivost bioelektričnih meritev glede na trajanje vplivov proučevanih dejavnikov.

Raziskovalni objekti so v bukovih sestojih preddinarskega sveta na Dolenjskem (JV Slovenija), pretežno na rastišču *Quercus Fagetum* /KOŠIR/ na apnenčasti podlagi v nadmorski višini okrog 400 m. V raziskavo je

vključenih 9 raziskovalnih ploskev: 3časne v mlajših (velikosti do 25 dominantnih dreves), 4 stalne v srednjedobnih (velikosti 0.25 in 0.5 ha) ter stalna in časna ploskev (velikosti 1 ha) v starejših bukovih sestojih. Na dveh ploskvah v srednjedobnih sestojih je razvoj prepuščen naravi, vse ostale so negovane.

Na stalnih ploskvah smo dominantnim drevesom (skupaj 300) poleg električne upornosti izmerili prsni premer in debelinski prirastek ter ocenili cenotski status, velikost in utesnjenost krošenj ter zdravstveno stanje (na podlagi gostote in defoliacije krošnje). Na dveh ploskvah smo velikost krošenj tudi merili. Ostalim drevesom smo izmerili le prsni premer, prirastek in (ali) ocenili cenotski status. Posneta je bila tudi prostorska razmestitev vseh dreves. Na časnih ploskvah smo meritve in ocene izvedli le pri dominantnih drevesih (skupaj 100). Električno upornost smo merili s kondiciometrom (Bollman Elektronik Systeme, BRD) v prsni višini drevesa v štirih smereh. Meritve smo na primerjalnih ploskvah izvedli vsakokrat (leta 1987, 1990, 1992) v podobnih pogojih (v enem dnevu).

Najpomembnejši izsledki analize bioelektrične variabilnosti znotraj dreves in sestojev so naslednji:

(1) Variabilnost bioelektričnih meritev med dominantnimi drevesi (12 - 15 %), je le nekoliko večja od variabilnosti znotraj dreves, t.j. v različnih smereh na deblu (9 - 12 %). Po razvojnih fazah sestojev se variabilnost, tako znotraj kot tudi med dominantnimi drevesi, ne razlikuje značilno (pregl. 1).

(2) Bioelektrična variabilnost znotraj cele "populacije" je bistveno večja od variabilnosti med dominantnimi drevesi (pregl. 2). Variabilnost značilno narašča proti nižjim socialnim razredom (slika 1), kar dokazuje veliko "plastičnost" socialno sicer nazadujočih bukev.

(3) V mlajših sestojih je bioelektrična variabilnost, zaradi intenzivnejše vitalnostne diferenciacije dreves večja kot v starejših (slika 1). Bioelektrična variabilnost dreves je po vseh socialnih razredih večja kot debelinska variabilnost (pregl. 2).

Spoznanja o vplivu mikrorastiščnih ter endogenih in eksogenih (stresnih) dejavnikov so naslednja:

(1) Mikrorastišče pomembno vpliva na bioelektrični potencial dominantnih dreves (pregl. 3). Različen bioelektrični potencial dominantnih dreves (pri

podobnem zdravstvenem stanju) je verjetno posledica razlik v vodnem režimu oziroma vlažnosti tal.

(2) Negovalni ukrepi (redčenje) imajo v bukovih sestojih poleg posrednega (dolgotrajnega) tudi ugoden neposreden (kratkotrajni) vpliv na bioelektrični potencial dreves, vendar le-ta z zapolnjevanjem ravnega prostora do naslednjega redčenja "izzveni" (pregl. 4).

(3) Bioelektrični potencial cele populacije dreves je v zelo tesni odvisnosti od njihove debeline ($r = 0.93^{**}$), ki je v enodobnih sestojih posledica konkurence in naravnega izločanja med osebki (slika 2). V okviru ožje populacije dominantnih dreves različnih razvojnih faz pa je odvisnost precej šibkejša ($r = 0.58^{**}$).

(4) Mlajša, dominantna drevesa istih debelin imajo bistveno večji bioelektrični potencial od starejših, toda socialno nazadujočih dreves. Razlike se z rastočo debelino (nad 40 cm) zmanjšujejo (slika 2).

(5) Meritve električne upornosti so znotraj ožje populacije dominantnih dreves pri enaki debelini slabše občutljive na različno velikost krošenj. Občutljivost je večja le v negovanih sestojih (takoj) po izvedenem redčenju, ko prihaja do večje fiziološke aktivnosti oziroma večje bioelektrične diferenciacije dreves.

(6) Debelina in tekoči debelinski prirastek dreves pojasnujeta skupaj kar 90 % bioelektrične variabilnosti znotaj cele populacije, pri ožji populaciji dominantnih dreves pa le 38 % (pregl. 6). Vendar je (čista) odvisnost bioelektričnega potenciala od tekočega debelinskega prirastka ob izključitvi vpliva debeline dreves razmeroma šibka ($r = 0.54^{**}$). Obe spremenljivki pojasnujeta večino variabilnosti, ki izhaja iz razlik v ravnosti dreves. Ob vključitvi velikosti krošenj se namreč dele pojasnjene variabilnosti ne poveča značilno (pregl. 7).

(7) Bioelektrične meritve so torej v splošnem zelo občutljive na fiziološke vplive dolgotrajnega značaja, precej slabša pa je občutljivost na kratkotrajne vplive. Zato so odličen kazalnik pretekle ravnosti dreves (debeline in cenotskega statusa) v enodobnih sestojih. Na sedanjo ravnost (periodični prirastek) dreves so manj občutljive. Izkazale so se tudi kot razmeroma občutljiv kazalnik mikrorastiščnih razlik.

(8) Bioelektrične meritve so zelo koristen dodatni, ne pa edini pripomoček pri določanju cenotskega statusa dreves. Njihova "napovedovalna ostrina" je

kljub tesnejši povezanosti s cenotskim statusom dreves premajhna za njegovo individualno določanje v praksi (pri izbiralnem redčenju). Natančnost (zanesljivost) teh statističnih napovedi se namreč giblje v mejah najmanj enega socialnega razreda okrog "prave" vrednosti.

(9) Na podlagi bioelektričnih meritev cele populacije dreves v enodobnih bukovih sestojih lahko celo napovedujemo periodični (letni) debelinski prirastek, namesto oteženega ugotavljanja z vrtnjem. Vendar je treba pri posameznih drevesih upoštevati napako (odklon) do ± 1.6 mm od prave vrednosti prirastka. Napovedovalna moč bioelektričnih meritev, ki pojasnjujejo 69 % prirastne variabilnosti, je precej večja, kot jo moremo doseči le na podlagi debeline dreves. Z bioelektričnimi meritvami bi zato napovedi prirastka prav gotovo lahko bistveno izboljšali.

(10) Bioelektrične meritve so precej neobčutljiv kazalnik vpliva eksogenih (stresnih) dejavnikov, če je njihova posledica le rahla prizadetost drevja. V nenegovanih sestojih je občutljivost bioelektričnih meritev zaradi dodatne konkurenčne prizadetosti drevja nekoliko večja (pregl. 8). Bioelektrične meritve so tudi precej neobčutljiv kazalnik vpliva ekstremnih podnebnih dejavnikov (poletne suše), četudi le-ti povzročijo močnejšo defoliacijo krošenj.

SUMMARY

The research deals with the major sources of the variability of bioelectrical potential of trees in even-aged beech stands within trees themselves and between them (by social classes and developmental phases) as well as in a (micro)natural site. The influences of the most important endogenous factors (competition and natural selection as well as tending measures) and some exogenous growth factors (drought, air pollution) have been analysed. The explanatory potency and applicability of bioelectrical measurements as a more objective indicator of the vitality (growth), developmental tendencies of trees and the stress affecting trees have been tested. The sensitivity of bioelectrical measurements as to the duration of the influences of the factors investigated was also investigated.

The research objects are situated in beech stands of Predinarc region in Dolenjsko (S.E. of Slovenia), primarily in the *Quercus Fagetum* natural site /KOŠIR/ on limestone ground, at about 400 m above the sea level. The research includes 9 research plots: 3 temporary in younger beech stands (up

to 25 dominant trees), 4 permanent in middle-aged stands (0.25 and 0.5ha) and a permanent and a temporary plot (1 ha) in older beech stands. In two plots of middle-aged stands the development has been entirely left to the nature, in all others tending is being carried out.

In permanent plots, besides the electrical resistance, the measurements as to breast-height diameter and diameter increment have been taken with dominant trees (300) and the coenotic status, the size and canopy of tree crowns and the health condition (on the basis of the density and defoliation of a tree crown) have been estimated. The size of tree crowns was also measured in two plots. With other trees, only the breast-height diameter and the increment have been taken and (or) the coenotic status has been estimated. Spatial distribution of all the trees was also monitored. In temporary plots, measurements and estimates were only carried out with dominant trees (all together 100). Electrical resistance was measured by means of a conditiometer (Bollman Elektronik Systeme, FRG) at tree's breast-height in four directions. Measurements in control plots were carried out each time (in 1987, 1990, 1992) in similar conditions (in one day).

The most important results of the analysis of bioelectrical variability within trees and stands are the following:

- (1) The variability of bioelectrical measurements between dominant trees (12 - 15%) is only slightly higher than that within trees, i.e. in different directions on a trunk (9 - 12%). According to developmental phases the variability does not differentiate characteristically, either within or also between dominant trees (table 1).
- (2) Bioelectrical variability within a whole "population" is essentially higher than that between dominant trees (table 2). Variability characteristically increases with lower social classes (figure 1), which is a proof of high "plasticity" of socially though regressing beech trees.
- (3) In younger stands bioelectrical variability is higher than in older ones due to a more intensive vitality differentiation of trees (figure 1). Bioelectrical variability of trees is higher than diameter variability in all social classes (table 2).

Established facts on the influence of micro natural site and endogenous and exogenous (stress) factors are as follows:

(1) A micro natural site has an important influence on the bioelectrical potential of dominant trees (table 3). A different bioelectrical potential of dominant trees (with similar health condition) is probably the consequence of the differences in water regime or ground dampness.

(2) Tending measures (thinning) have besides indirect (long lasting) also favourable direct (transitory) influence on the bioelectrical potential of trees in beech stands, which comes with the reduction of the space necessary for growth to an end before the next thinning (table 4).

(3) The bioelectrical potential of the whole population of trees is in close correlation with their diameter ($r = 0.93^{**}$) which is the consequence of competition and natural selection between the subjects (figure 2). Within the scope of a restricted population of dominant trees of various developmental phases the correlation is much smaller ($r = 0.58^{**}$).

(4) Younger, dominant trees of the same diameter have essentially higher bioelectrical potential than older yet socially regressing ones. Differences decrease with increasing diameter (over 40 cm) (figure 2).

(5) The measurements of electrical resistance are within the restricted population of dominant trees and with identical diameters less sensitive to different tree crown size. Sensitivity is only higher in tended stands (immediately) after thinning has been carried out when it is the case of greater physiological activity or greater bioelectrical differentiation of trees.

(6) The diameter and the current diameter increment of trees explain for as much as 90% of bioelectrical variability within the entire population and only 38% with the restricted population of dominant trees (table 6). Yet the (pure) correlation of bioelectrical potential and the current diameter increment, disregarding the influence of the tree diameter, is relatively poor ($r = 0.54^{**}$). Both variables explain for the major part of variability which results from the differences in growth of trees. By including of tree crown size the share of the explained variability is not characteristically increased (table 7).

(7) Bioelectrical measurements are generally highly sensitive to physiological influences of permanent character yet the sensitivity to transitory influences is considerably smaller. Therefore, they are an excellent indicator of past tree vigour (diameter and coenotic status) in even-aged stands. They are less sensitive to the present growth (periodical increment) of trees. They have also proved to be a sensitive indicator of micro site's differences.

(8) Bioelectrical measurements represent a highly useful additional yet not the only aid in the defining of coenotic status of trees. Their "predicting acuteness" is, despite closer correlation with coenotic status of trees, too low to enable its individual defining in practice (in a selective thinning). Accuracy (reliability) of these statistical predictions is, within the limits of at least one social class, about the "real" value.

(9) Based on the bioelectrical measurements of the entire population of trees in even-aged beech stands, even the periodical (annual) diameter increment can be predicted instead of the difficult establishing by means of drilling holes. Yet with individual trees an error (deviation) up to ± 1.6 mm from the real increment value have to be taken into consideration. The predictable power of bioelectrical measurements, which explain for 69 % of increment variability, is considerably higher than it could be achieved only on the basis of trees' diameter. By means of bioelectrical measurements predictions as to the increment could undoubtedly be essentially improved.

(10) Bioelectrical measurements are a rather insensitive indicator as to the influence of exogenous (stress) factors, the consequence of which is slight stress of trees. In forest stands exempt from tending measures, the sensitivity of bioelectrical measurements is slightly higher due to additional competitive stress of trees (table 8). Bioelectrical measurements are also a rather insensitive factor as to the influence of extreme climatic factors (summer droughts), although the latter cause a strong defoliation of tree crowns.

VIRI

- BLANCHARD, R.O./ SHORTLE, W.C./ DAVIS, W., 1983. Mechanism relating cambial electrical resistance to periodic growth rate of balsam fir.-Can. J. For. Res. 13, s. 472- 480.
- FERLIN, F., 1988. Učinki izbiralnih redčenj v starejših bukovih sestojih.-GozdV, 5, s. 214-223.
- MacDOUGHAL, R.G./ MacLEAN, D.A./ THOMPSON, R.G., 1988. The use of electrical capacitance to determine growth and vigor of spruce and fir trees and stands in New Brunswick.-Can. J. For. Res. 18, s. 587-594.
- MacDOUGHAL, R.G./ THOMPSON, R.G./ PIENE, H. 1988. Stem electrical capacitance and resistance measurements as related to total foliar biomass of balsam fir trees.-Can. J. For. Res. 17, s. 1071-1074.
- MLINŠEK, D./ FERLIN, F., 1992. Razvoj mladega gozda in bistvena vprašanja nege gozda.-Izsledki v gozdarstvu, 3, 4 s.

- PIENE, H./ THOMPSON, R.G./ MacISAAC, J.E./ FENSOM, D.S., 1984. Electrical resistance measurements on young balsam fir trees in relation to specific volume increment, foliar biomass, and ion content of bark and wood.-*Can. J. For. Res.* 14, s. 177-180.
- ROBIČ, D./ TORELLI, N./ ČUFAR, K., 1990. Meritve električne upornosti aktivnih tkiv kot kazalca cenotskega statusa in stopnje poškodovanosti drevja zaradi onesnaževanja zraka.-*GozdV*, 3, s. 149-153.
- SHORTLE, W.C./ SHIGO, A.L./ BERRY, P./ ABASAMRA, J., 1977. Electrical resistance in tree cambium zone: relationship to rates of growth and wound closure.-*For. Sci.* 23, s. 326-329.
- SMITH, D.E./ SHIGO, A.L./ CHASE, T., 1976. Resistance to a pulsed electrical current reveal differences between nonreleased, released and released-fertilised paper birch trees. *For. Sci.* 22, s. 471-472.
- TORELLI, N./ ROBIČ, D./ ZUPANČIČ, M./ OVEN, P./ FERLIN, F./ KRIŽAJ, B., 1990. Električna upornost kot kazalec zdravstvenega stanja in možnosti jelk za preživetje na območjih z zračno polucijo.-*Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 36, s. 17-26.
- TORELLI, N./ ČUFAR, K./ ROBIČ, D./ ZUPANČIČ, M./ OVEN, P./ KRIŽAJ, B., 1992. Interpretation of the electrical resistance of living tissue in beech (*Fagus silvatica* L.).-*Proceedings Ecological and Economic Significance of Beech*. 1992. Zvolen, s. 268-272.
- WARGO, P.M./ SKUTT, H.R., 1975. Resistance to pulsed electric current: an indicator of stress in forest trees. *Can. J. For. Res.* 5, s. 557-561.