

Prispelo / Received: 1990, november

GDK 174.7 Abies alba Mill.: 425.1:821.15--0.15.25

## ELEKTRIČNA UPORNOST KOT KAZALEC ZDRAVSTVENEGA STANJA IN MOŽNOSTI JELK ZA PREŽIVETJE NA OBMOČJIH Z ZRAČNO POLUCIJO

Niko TORELLI\*, Dušan ROBIČ\*\*, Martin ZUPANČIČ\*\*\*, Primož OVEN\*\*\*\*,  
Franc FERLIN\*\*\*\*\*, Bojana KRIŽAJ\*\*\*\*\*

### *Izvleček*

Meritve električne upornosti (EU) živih tkiv na drevesni bazi so se izkazale kot občutljiva metoda za oceno drevesne kondicije in možnosti za preživetje prizadetih dreves na območjih z zračno polucijo. Z uporabo shigometra in conditiometra so bile na 400 testnih drevesih opravljene periodične meritve EU in ocenjene njihove možnosti za preživetje.

*Ključne besede: Abies alba, električna upornost, skorja, kambijeva cona, propadanje gozdov, drevesna kondicija*

## ELECTRICAL RESISTANCE AS INDICATOR OF STATE OF HEALTH AND SURVIVAL PROGNOSIS OF SILVER FIR FROM AIR POLLUTED AREAS

Niko TORELLI\*, Dušan ROBIČ\*\*, Martin ZUPANČIČ\*\*\*, Primož OVEN\*\*\*\*,  
Franc FERLIN\*\*\*\*\*, Bojana KRIŽAJ\*\*\*\*\*

### *Abstract*

Measuring electrical resistance (ER) of living tissues at the tree base proved to be a sensitive method for assessing tree condition and survival chances of declined trees in air polluted areas. In 400 test trees periodic determinations of ER using "shigometer" and "conditiometer" were made and their survival chances assessed.

*Key words: Abies alba, electrical resistance, bark, cambial zone, forest decline, tree condition*

---

\* prof. dr. dipl. inž., Biotehniška fakulteta, lesarstvo,  
61000 Ljubljana, Rožna dolina VIII/34, YU

\*\* mag., dipl. inž., Biotehniška fakulteta, gozdarstvo,  
61000 Ljubljana, Večna pot 83, YU

\*\*\* dipl. inž., Biotehniška fakulteta, lesarstvo,  
61000 Ljubljana, Rožna dolina VIII/34, YU

\*\*\*\* dipl. inž., novi raziskovalec, Biotehniška fakulteta, lesarstvo  
61000 Ljubljana, Rožna dolina VIII/34, YU

\*\*\*\*\* mag., dipl. inž., Biotehniška fakulteta, gozdarstvo,  
61000 Ljubljana, Večna pot 83, YU

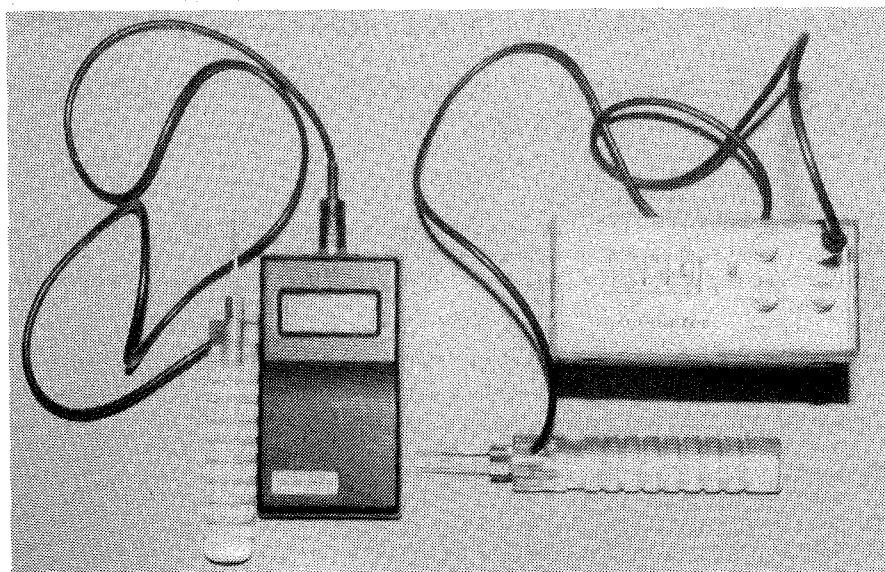
\*\*\*\*\* dipl. biol., nova raziskovalka, Biotehniška fakulteta, lesarstvo,  
61000 Ljubljana, Rožna dolina VIII/34, YU

## 1 UVOD

Električna upornost (EU) kambijeve cone oz. živih tkiv je v korelaciji z rastnostjo ali vitalnostjo in tako posredno z zdravstvenim stanjem, oz. kondicijo drevesa. Električna upornost je odvisna od lastnosti celične stene in molarne koncentracije kationov v apoplastni tekočini, po kateri teče tok (FENSOM 1966). Na splošno zdrava rastna drevesa s široko kambijevo cono in široko živo skorjo, zlasti prevodnim floemom, izkazujejo nižjo električno upornost in obratno.

## 2 MATERIAL IN METODA

Meritve EU smo izvedli na dveh stalnih opazovalnih ploskvah v bukovem jelovju (*Abieti-Fagetum dinaricum*) na 400 testnih drevesih z (a) uporovnim merilnikom (Bollmann Elektronik Systeme, Rielasingen, ZRN) in (b) shigometrom (Osmose Wood Preserving Co., ZDA). V obeh primerih smo uporabili Delmhorstove neizolirane igelne elektrode iz nerjavečega jekla z dolžino 54 ali 20 mm in medsebojno oddaljenostjo 11 mm (Sl. 1). Elektrode potisnemo do gostejšega kasnega lesa tako, da prebadajo ritidom, živo skorjo in kambijevo cono, ki v svoji najbolj splošni defini-



Slika 1: Conditimeter (Bollmann Elektronik Systeme, Rielasingen, ZRN) in Shigometer (Osmose Wood Preserving Co., ZDA).

Figure 1: Conditimeter (Bollmann Elektronik Systeme, Rielasingen, Germany) and Shigometer (Osmose Wood Preserving Co., ZDA)

ciji obsega tudi vse nediferencirane celice, t.j. vse celice med zrelim ksilemom in floemom. Meritve smo izvajali več sezon in večkrat v sezoni.

### 3 REZULTATI IN DISKUSIJA

Zaporedne sezonske meritve kažejo, da je električna upornost vselej največja v obdobju mirovanja, kasneje pa se — vsaj pri rastnih drevesih — zniža in doseže svojo najmanjšo vrednost, ko je širina kambijeve cone največja. Najnižja vrednost se zadrži nekaj tednov. Tedaj je ritem delitev v kambijevi coni enak ritmu diferenciacije, debelina kambijeve cone pa stabilna in največja. Proti koncu vegetacijskega obdobja vrednost spet naraste. Takšne pravilne, anatomske in fiziološke obrazložljive razlike električne upornosti so na bazi drevesa, kjer potekajo meritve, izrazite le pri rastnih oz. zdravih drevesih. Z napredujočimi polucijskimi okvarami postajajo vse manj izrazite. To je razumljivo, saj zelo prizadeta drevesa zaradi poudarjenih gradientov porazdelitve asimilatov in rastnih snovi na bazi ne priraščajo ali pa le lokalno in zelo skromno. Kambij miruje in je domnevno širok le nekaj celic (kot pozimi). Rezultat so izpadle ali neskljenjene branike (TORELLI et al. 1986).

Električna upornost ni odvisna le od števila živih celic, temveč tudi od njihove aktivnosti. Iz tega sledi, da so pri bolj rastnih oz. bolj zdravih drevesih ob enaki debelini žive skorje odčitki nižji kot pri poškodovanih ali sicer zdravih drevesih s slabšim cenotskim statusom (ROBIČ 1989, neobjavljeno). Kondicijo drevja je mogoče spremljati z zaporednimi meritvami na istih drevesih, vendar zaradi spreminjajoče se debeline kambijeve cone v vegetacijskem obdobju le v primerljivih fenoloških datumih. Primerjave med različnimi drevesi pa so mogoče le v okviru primerljivih rastiščnih in sestojnih razmer (rodovitnost, rastnost sestoja, starot, cenotski status).

S skrbnim, petletnim, spremljanjem električne upornosti na izbranih odraslih, dominantnih in kodominantnih testnih drevesih je bilo mogoče — upošteva (a) vizualno oceno, (b) sezonsko variacijo EU, (c) debelinski prirastek v prsni višini in (d) občutljivost reagiranja na splošne sezonske higrotermične razmere — bioelektrično jasno okarakterizirati naslednje štiri kondicijske razrede pri jelki (primerjaj sliko 2):

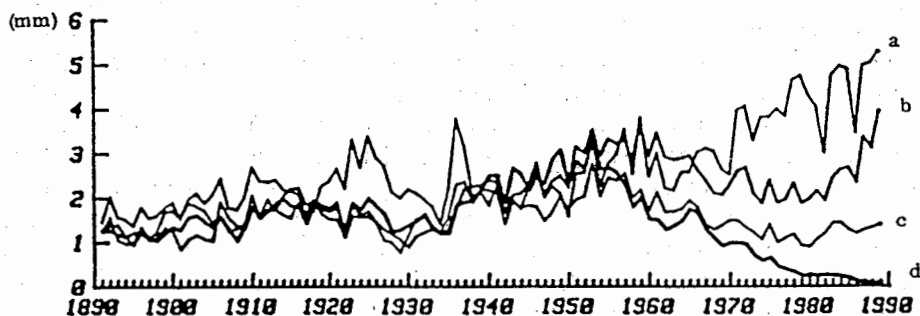
EU = 7—9 k $\Omega$  — zdrava ali rahlo poškodovana drevesa, tipična sezonska variacija, občutljiv odziv na spremenljive higrotermične razmere. Prirastni tip (a).

EU = 10—11 k $\Omega$  — očitno poškodovana drevesa, na spremenljive higrotermične razmere se odzivajo manj izrazito, mogoče je izboljšanje. Prirastni tip (b).

Op.: Nizki odčitki pri močno prizadetih drevesih lahko pomenijo povečano koncentracijo ionov zaradi razkroja lesa (SHORTLE 1982): zgodnjo fazo rjave trohnobe spremlja povečana kislost oz. povečana koncentracija vodikovih ionov, belo trohnobo pa povečana koncentracija kalijevih in drugih bazotvornih kationov.

EU = 12–13 k $\Omega$  — ireverzibilno poškodovana drevesa, na spremenljive higrotermične razmere se neznatno odzivajo, izboljšanja ne pričakujemo. Prirastni tip (c).

EU = 14 k $\Omega$  in več — umirjajoča drevesa, odziv na zboljšane higrotermične razmere je neznaten ali ga ni, izrazita radialna rastna depresija, neskljenjene in manjkajoče branike. Prirastni tip (d).



Slika 2: Raziskovalna ploskev Pokojišče: Radialni prirastek v prsni višini (širina branike) (a) zdravih, EU = 7–9 k $\Omega$  (b) nekoliko prizadetih, EU = 10–11 k $\Omega$ , (c) ireverzibilno prizadetih, EU = 12–13 k $\Omega$  in (d) umirajočih, EU = 14 k $\Omega$  in več. (Glej tudi besedilo.)

Figure 2: Study area Pokojišče: radial increment at the breast height in (a) healthy, ER = 7–9 k $\Omega$ , (b) slightly affected, ER = 10–11 k $\Omega$ , (c) irreversibly damaged, ER = 12–13 k $\Omega$  and (d) dying, ER = 14 k $\Omega$  and more. (See also text.)

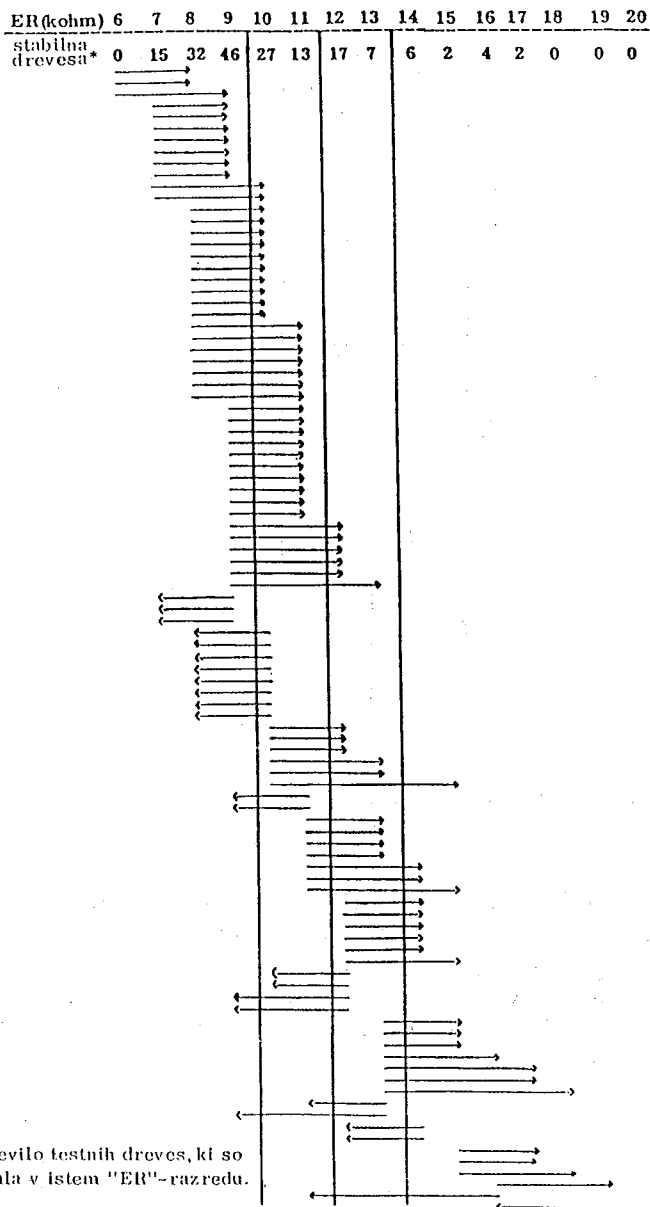
Pri analizi preživetvenih možnosti posameznih dreves smo primerjali njihovo EU avgusta 1988 z avgustom 1990 in uporabili naslednji kriterij:

Stabilno — 1990 EU = 1988 EU  $\pm$  1 k $\Omega$ ,

poslabšano — 1990 EU = 1988 EU + 2 k $\Omega$  ali več in

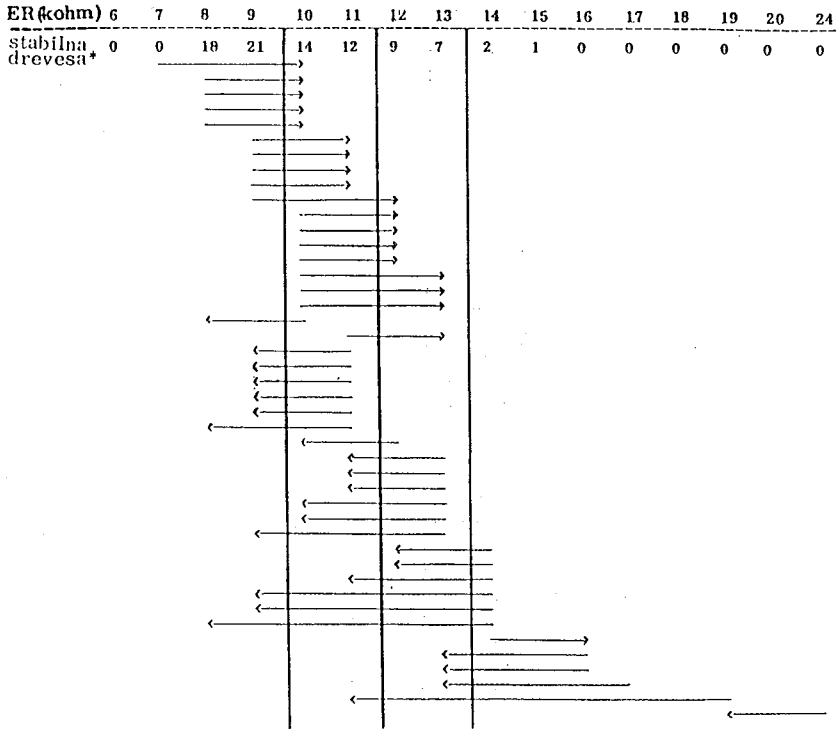
izboljšano — 1990 EU = 1988 EU – 2 k $\Omega$  ali manj.

Zdravstveno stanje dreves na raziskovalni ploskvi Ravnik (slika 3) je bilo pri 58,2% stabilno, pri 25,7% se je poslabšalo, 8,4% dreves je odmrlo, pri 7,7% pa se je zdravstveno stanje "izboljšalo". Na raziskovalni ploskvi Pokojišče (Slika 4) je bilo zdravstveno stanje dreves sledeče: stabilno 60,9%, poslabšalo 13,8%, "izboljšalo" 18,1%, odmrlo pa jih je 7,2%.



Slika 3: Raziskovalna ploskev Ravnik: Sprememba električne upornosti kot kazalca kondicije 299 testnih dreves med avgustom 1988 in avgustom 1990 (za interpretacijo glej besedilo).

Figure 3: Study area Ravnik: change in electrical resistance as indicator of condition of 299 test trees between August 1988 and August 1990. (For interpretation see text.)



\* število stabilnih testnih dreves, ki so ostala v istem "ER"-razredu.

Slika 4: Raziskovalna ploskev Pokojišče: Sprememba električne upornosti kot kazalca kondicije 138 testnih dreves med avgustom 1988 in avgustom 1990 (za interpretacijo glej besedilo).

Figure 4: Study area Pokojišče: change in electrical resistance as indicator of condition of 299 test trees between August 1988 and August 1990. (For interpretation see text.)

Delež propadajočih dreves se je povečeval skladno s simptomi umiranja. Značilno je, da se električna upornost zmanjšuje predvsem pri močno prizadetih drevesih, zato je ne moremo razložiti kot izboljšanje. Znižanje EU je očitno posledica sproščanja ionov zaradi razkrojnih procesov.

Opisana metoda je anatomsko in fiziološko utemeljena, zato je mogoče z njo objektivno oceniti kondicijo in možnosti prizadetega drevja za preživetje. Enako uspešno jo je mogoče uporabiti za oceno cenotskega statusa.

#### 4 POVZETEK

Električna upornost kot kazalec zdravstvenega stanja in možnosti jelk za preživetje na območjih z zračno polucijo.

Meritve električne upornosti (EU) predstavljamo metodo določanja drevesne kondicije, kot vplivata nanjo supresija (potisnjenost) in/ali učinki zračne polucije. Na 400 odraslih testnih jelkah (*Abies alba* Mill.) v dveh reprezentativnih gozdnih sestojih dinarskega jelovega bukovja (*Abieti-Fagetum* dinaricum) na slovenskem krasu (Bistra, Pokojišče) se od leta 1986 s shigometrom in conditiometrom meri električna upornost živih tkiv. Igelne elektrode prebadajo po vrsti ritidom, neprevodni in prevodni floem ter kambijevo cono. Čim debelejša so živa tkiva in čim večja je koncentracija mobilnih ionov v njih, tem nižja je električna upornost in obratno.

Kondicija odraslih, dominantnih in kodominantnih jelk je bila ocenjena kot sledi:

- (a) (EU) = 7—9 k $\Omega$ . Značilne sezonske variacije; občutljivo odzivanje na spremembe higrotermičnih razmer (sl. 3, 4, 5, EU razred a); drevo zdravo ali rahlo prizadeto.
- (b) EU = 10—11 k $\Omega$ . Odzivanje na spremenljive higrotermične razmere še mogoče; izboljšanje je verjetno (sl. 3, 4, 6, EU razred b); drevo vidno prizadeto.
- (c) EU = 12—13 k $\Omega$ . Izrazita depresija radialne rasti na drevesni bazi; reagiranje na spremenljive higrotermične razmere komaj zaznavno ali manjka (sl. 2, 3, 7, EU razred c); drevo nepopravljivo prizadeto, ne pričakujemo izboljšanja.
- (d) EU = 14 k $\Omega$  in več. Močna depresija radialne rasti na drevesni bazi (nesklenjeni in izpadle branike); (sl. 3, 4, 8, EU razred d); odzivanje na ugodnejše higrotermične razmere ni več mogoče; pričakujemo skorajšnji propad.
- (e) EU nepričakovano nizka v primerjavi z vizualno oceno. Ionizacija označuje biološki razkroj; drevo v zadnji fazi propadanja ali odmrlo.

Pri presoji, kakšne možnosti za preživetje imajo posamezna drevesa, so bili uporabljeni naslednji kriteriji:

- (a) stabilno stanje:  $EU_{1990} = 1988 \pm 1 \text{ k}\Omega$ ,
- (b) poslabšanje:  $EU_{1990} = EU_{1988} + 2 \text{ k}\Omega$  ali več,
- (c) izboljšanje:  $EU_{1990} = EU_{1988} - 2 \text{ k}\Omega$  ali več.

Na osnovi meritev v avgustu 1988 in avgustu 1990 je bila opravljena preživetvena analiza testnih dreves: (a) Ravnik: 58,2 % stabilno stanje, 25,7 % poslabšanje, 7,7 % izboljšanje, 8,4 % dreves propadlo; (b) Pokojišče: 60,9 % stabilno stanje, 13,8 % poslabšanje, 18,1 % izboljšanje, 7,2 % dreves propadlo.

Vsekakor je zabeleženo izboljšanje pri zelo prizadetih drevesih problematično, saj se električna upornost najverjetneje zniža zaradi začetih razkrojnih procesov na drevesni bazi.

## 5 SUMMARY

Measuring ER is one method of determining tree condition as influenced by suppression and/or air pollution effects. Since 1986 in 400 adult silver fir test trees (*Abies alba* Mill.) derived from two representative silver fir/beech forest stands (*Abieti-Fagetum dinaricum*) in the Slovenian Karst (Bistra, Pokojišče) the electrical resistance (ER) of living tissues using Shigometer and Conditionmeter has been measured. The needle electrodes penetrate (in turn): the rhytidome, the nonconducting and conducting phloem and the cambial zone. The wider are the living tissues and the higher is the concentration of mobile ions in them, the lower is the ER and vice versa.

The condition of adult, dominant and codominant silver fir trees was assessed as follows:

- (a)  $ER = 7-9 \text{ k}\Omega$ . Typical seasonal variations; sensitive reacting to variable hygrothermic conditions (Figures 3, 4, 5, ER class a); tree healthy or slightly damaged.
- (b)  $ER = 10-11 \text{ k}\Omega$ . Reacting to variable hygrothermic conditions still possible; recovery probable (Figures 3, 4, 6 ER class b); tree obviously affected.
- (c)  $ER = 12-13 \text{ k}\Omega$ . Pronounced radial growth depression at the stem base; reacting to variable hygrothermic conditions slight or absent (Fig. 3, 4, 7, ER class c); tree irreversibly damaged, no recovery expected.
- (d)  $ER = 14 \text{ k}\Omega$  and above. Heavy radial growth depression at the stem base (uncontinuous and missing rings) (Fig. 3, 4, 8, ER class d); reacting to better hygrothermic conditions impossible; speedy death expected.
- (e) *ER unexpected low in comparison with visual estimate*. Ionization denotes decay; tree in the last phase of decline or dead.

To predict the survival chances of individual trees the following criteria were used:

- (a) stable:  $ER_{1990} = ER_{1988} \pm 1 \text{ k}\Omega$ ,
- (b) declined:  $ER_{1990} = ER_{1988} + 2 \text{ k}\Omega$  and more,
- (c) improved:  $ER_{1990} = ER_{1988} - 2 \text{ k}\Omega$  and more.

Based on the ER measurements in August 1988 and August 1990 the survival analysis of test trees was made: (a) experimental area Ravnik: 58,2% stable, 25,7% declined, 7,7% improved and 8,4% died trees; (b) experimental area Pokojišče: 60,9% stable, 13,8% declined, 18,1% improved and 7,2% died trees.

The improvement in very affected trees is problematic and should be ascribed to the initiated decay processes.



## 6 LITERATURA

- FENSOM, D.S. 1966. On measuring electrical resistance *in situ* in higher plants. *Can. J. Plant Sci.* 46: 169—175.
- TORELLI, N., K. ČUFAR, & D. ROBIČ 1986. Some wood anatomical, phytiological, and silvicultural aspects of silver fir dieback in Slovenia (NW Yugoslavia). *IAWA Bull. n.s.*, 7(4): 343—350.
- SHORTLE, W.C. 1982. Decaying Douglas-fie wood: ionization associated with resistance to a pulsed electric current. *Wood Science* 1(15): 29—32.

