

GDK 176.1 (*Quercus robur* L.) : 161: (497.12 Murska šuma) (143.2)

Prispelo / Received: 15. 02. 1999

Sprejeto / Accepted: 16. 04. 1999

Izvorni znanstveni članek
Original scientific paper

NEKATERI EKOFIZIOLOŠKI KAZALCI STRESA PRI DOBU (*Quercus robur* L.) V SEVEROVZHODNI SLOVENIJI

Matjaž ČATER*, Franc BATIČ**

Izvleček

Opazno sušenje in fiziološko pešanje doba (*Quercus robur* L.) je posebno izrazito v Prekmurju v zadnjem desetletju zaradi sušnega podnebja, neugodne razporeditve padavin in močnih hidromelioracijskih ukrepov. Prispevek obravnava povezavo med vodnim stresom in kazalci vodnih razmer (višina podtalnice, padavine, vodostaji rek Mure in Ledave) ter drugimi kazalci stresa (vodni potencial, električna prevodnost kambijeve cone, osutost krošnje) v gozdnem kompleksu Murska šuma na skrajnem vzhodu Slovenije, kjer sta bili izbrani dve ploskvi z različno poškodovanostjo dobovih dreves. Tam smo mesečno določali vodni potencial, električno prevodnost kambijeve cone in osutost krošnje. Meritve so pokazale zvezo med vodnim potencialom in gladino podtalnice, ki je bila na ploskvi z bolj prizadetimi dobovimi drevesi večja, kot na ploskvi z manjšo prizadetostjo. Vzporedno s terenskimi opazovanji je potekal lončni poskus v kontroliranih pogojih na petletnih dobovih sadikah, opravljen v avgustu. Točka začetnega zapiranja listnih rež je bila v intervalu med -0,5 in -0,7 MPa, nepovratno zapiranje pa je povzročil vodni potencial pod (bolj negativen) -1,62 MPa.

Ključne besede: dob (*Quercus robur* L.), propadanje, rastišče, vodni režim, ksilemski vodni potencial, električna upornost, kambij

SOME ECOPHYSIOLOGICAL STRESS INDICATORS OF PEDUNCULATE OAK (*Quercus robur* L.) IN THE NORTH EASTEREN OF SLOVENIA

Abstract

In the last decade in Prekmurje, there has been a noticeable decline and physiologically weakening of the pedunculate oak (*Quercus robur* L.) because of dry climate, unfavourable precipitation patterns and human influence through changes in watercourses and the water table.

The paper addresses the relationship between water stress of the common oak and indicators of water status in the Murska šuma forest complex (groundwater table, precipitation, water level of the rivers Mura and Ledava) using plant stress indicators such as water potential, electrical resistance of the cambial zone and crown defoliation. Two permanent plots with varying levels in decline in pedunculate oak trees were chosen. Water potential, electrical resistance of cambial zone and defoliation were measured once a month. The measurements showed a relationship of considerable importance between the water potential and groundwater table, which was stronger on plot that showed more intensive decline. At the same time a pot experiment was carried out with five year common oak seedlings to define water potential at wilting and permanent stomatal closure point. The wilting point was reached at values between -0,5 and -0,7 MPa and permanent stomatal closure was reached below -1,62 MPa.

Key words: pedunculate oak (*Quercus robur* L.), oak decline, site, groundwater table, xylem water potential, electrical resistance, cambi

* mag., Gozdarski Inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, SVN

** prof., dr., Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, SVN

VSEBINA
CONTENTS

1	UVOD IN PREDSTAVITEV PROBLEMA	
	INTRODUCTION AND PROBLEM PRESENTATION	49
2	RAZISKOVALNI OBJEKTI	
	RESEARCH OBJECTS	54
3	DELOVNE METODE	
	WORKING METHODS	56
4	REZULTATI ANALIZ	
	ANALYSIS RESULTS	62
5	RAZPRAVA Z ZAKLJUČKI	
	DISCUSSION WITH CONCLUSIONS.....	74
6	POVZETEK.....	77
7	SUMMARY.....	78
8	VIRI	
	REFERENCES.....	79

1 UVOD IN PREDSTAVITEV PROBLEMA

INTRODUCTION AND PROBLEM PRESENTATION

Množično sušenje številnih vrst hrastov se v zadnjem stoletju periodično ali občasno pojavlja v evropskih državah, ZDA in Srednji Aziji vse do danes. Propadanje poskuša razložiti veliko hipotez - pogoste so razlage o hkratnem delovanju več dejavnikov, kjer se kot primarni upoštevajo abiotski (klimatski ekstremi, zračni polutanti) in antropogeni dejavniki (spremembe rastiščnih razmer zaradi drugačnega vodnega režima, gojitvene napake), kot sekundarni pa nastopajo biotski dejavniki (glive, žuželke, mikoplazme in virusi). V iskanju vzrokov avtorji žal pogosto ne dajejo posebne veljave zgodovini, gospodarjenju in spremembam gojitvenih ukrepov v prizadetih sestojih.

Če je bilo mogoče za vzrok propadanja gozdov v 70-tih in 80-tih letih navajati onesnaženo ozračje (ŠOLAR 1977), si raziskovalci za 'novodobno' propadanje niso enotni o primarnih vzrokih. Simptomi so podobni, kot pri propadanju zaradi zračnih polutantov in njihova geografska razprostranjenost je izredno široka. Hkrati oboleva več vrst, bolezenski znaki se pojavijo v zelo kratkem obdobju (KREUTZER 1992). Pri hrastu opazamo predvsem (KREUTZER 1992):

- redčenje krošnje zaradi floemske nekroze na deblu, vejah in zgornjem delu debla,
- klorozo listov na rastiščih z neuravnovešeno preskrbo hranil in
- venenje listov zaradi traheomikoze.

Krošnja spremeni barvo v svetlozeleno ali rumenozeleno, listje postopno porjavi in končno odmre. Krošnja se redči, listje je le še na koncih vej in poganjkov. Značilne mrtve poganjke spremlja močna rast sekundarnih / epikormskih poganjkov. Omenjenim zunanjim znakom sledi nenadno ali postopno odmiranje krošnje. Proces se konča v eni sezoni ali pa traja več let. Pod sekundarno skorjo, ki odstopi, se razpredejo rizomorfi gliv iz rodu mraznic (*Armillaria*). Nekatera propadajoča drevesa si lahko opomorejo, pri tem razvijejo sekundarne poganjke po vejah in deblu.

Najstarejša poročila o propadanju hrastov prihajajo s Hrvaške (Slavonija) v letu 1878 (PRPIĆ 1996), iz dežel nekdanje Rusije v letu 1892 (PETRESCU 1974) in Francije v letu 1895 (DELATOUR 1983). V Evropi, Srednji Aziji in ZDA se je vse od začetka stoletja

pojavnjalo propadanje periodično ali občasno. V Avstriji in Italiji se je umiranje hrastov pojavilo pred okrog desetimi leti (OEPP Bul. 1990). Intenzivno sušenje v letu 1992 v Sloveniji kaže, da se je množično odmiranje hrastov pojavilo tudi pri nas.

Rösel in Reuther (1995) navajata v poročilu za podonavske dežele kompleksne vzroke za bolezensko stanje hrastov in jih pripisujeta suši, ekstremnim poletnim in zimskim razmeram ter neugodni letni razporeditvi padavin v zadnjih petnajstih letih. Blizu velikih kmetijskih zemljišč (Avstrija, Bavarska) obstaja zaradi intenzivnega gnojenja tudi nevarnost prekomernega vnosa dušika v hrastove gozdove.

Suša in slaba preskrbljenost z vodo manjšata odpornost hrastov; ustvarita pogoje za razvoj traheomikoznih gliv, predvsem iz rodu *Ophiostoma*. Blaschke (1994) povezuje poškodbe krošnje pri dobi s poškodbami tankih korenin zaradi napada gliv. Zmanjša se mikorizna aktivnost, okrnjeni sta prevajanje vode in oskrba s hranili, drevo prične fiziološko pešati. Visoke temperature ponavadi sovpadajo s sušo ter pospešijo razvoj podlubnikov in lesarjev, ki omenjene glive prenašajo. Domnevajo, da je kot sekundarni dejavnik pri propadanju hrastov rod gliv *Phytophthora* možni povzročitelj ran na koreninah hirajočih hrastov in tudi drugih drevesnih vrst (JUNG / BLASCHKE 1995). Avtorja pripisujeta spremembe populacijske strukture teh gliv spremenjenim v podnebnim razmeram in povečanemu vnosu dušikovih spojin v gozdove.

Propadanje hrastov v severni Nemčiji (HARTMANN / BLANK / LEWARK 1989) se od leta 1985 pojavlja v vseh starostnih in socialnih razredih. Mraz v letih 1984 - 87 in suša 1976 - 83 kot primarna vzroka ter parazitske glive (*Cytospora sp.*, *Ceratocystis sp.*, *Pezicula cinnamomea* (DC. Ex Pers.) Sacc.) in zakisanost tal interakcijsko poškodujejo predvsem korenine; sledi slabljenje in umiranje dreves (NÄVEKE / MEYER 1990). Heukamp (1989) se sprašuje, ali bodo poškodovana drevesa v bodoče sploh še sposobna reagirati in se prilagajati vedno večjim spremembam okolja.

Schütt (1987) označuje pešanje hrastov v južni Nemčiji kot novo, neznano in nalezljivo bolezen, ki se začne z izrazitejšim odpadanjem listov.

S problemom propadanja doba (*Q. robur* L.) in gradna (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.) sta se na Poljskem ukvarjala Siwecki in Ufnalski (1995). Vzroke za pešanje pripisujeta

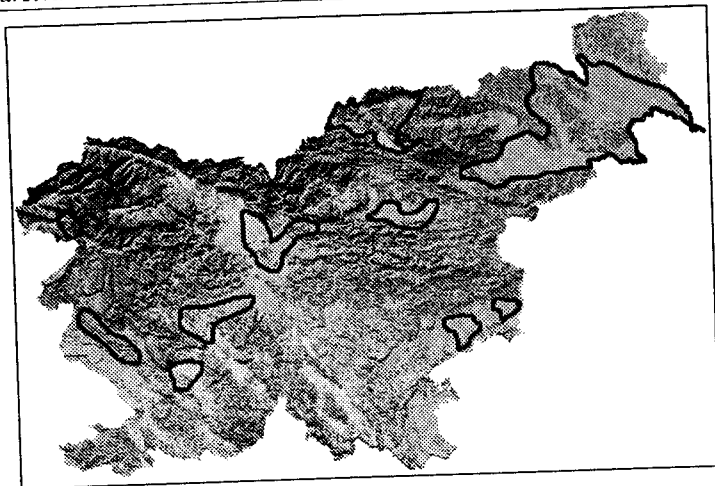
sinergističnemu delovanju abiotskih in biotskih dejavnikov. Na slabšanje vitalnosti naj bi ključno vplivalo nekajletno sušno stanje, predvsem še primanjkljaj vode v začetku ravnega obdobja od maja do junija. Pryzbylova (1989) ugotavlja, da je stopnja poškodovanosti krošnje odvisna od letnih suš, ekstremnih zim in napadov gliv, predvsem iz rodu *Ophiostoma*. Odločilni leti 1981 in 1982 sta najbolj prizadeli dominantna drevesa.

Opazovanje stanja na Madžarskem (VARGA 1987) v zadnjih sto letih nakazuje slabšanje in napredovanje propadanja, Führer (1992) pa omenja, da med klimatsko neugodnimi (sušnimi) leti in izbruhom propadanja hrastov ni povezave.

Rykowski (1995) opozarja, da je z vidika patogeneze ob gojitvenih napakah, klimatskih stresih in industrijskem onesnaževanju nemogoče izločiti vpliv posameznih dejavnikov. Kombinacije interakcij povzročijo, da postanejo bolezenski simptomi zaradi novonastalih oblik etiološko nejasni. Spremembe niso več le na ravni celice, tkiva, organizma ali populacije, temveč se pojavijo na ravni ekosistema kot celote.

O propadanju dreves iz rodu hrastov (*Quercus sp.*) v zadnjih 20 letih poročajo iz Srednje in Severne Amerike, severne Afrike in Azije. Razen klimatskih stresnih dejavnikov in številnih parazitov, ki jih literatura našteva kot začetne ali kasneje sodelujoče dejavnike, se posamezni ključni dejavniki, ki sicer izstopajo v kombinaciji z ostalimi, med sabo zelo razlikujejo (DONAUBAUER 1995).

Redni popisi propadanja gozdov v Sloveniji v obdobju 1987 - 1989 - 1990 sicer niso nakazali znakov propadanja (ŠOLAR 1991), vendar je trend v naslednjem letu presegel stopnjo propadanja prejšnjih v teh letih. V letu 1992 so podatki s terena in prva ugotavljanja simptomov pokazala, da propadanje hrastov v Sloveniji narašča, kar potrjujejo podatki popisa propadanja gozdov iz let 1985 - 1995 (BOGATAJ 1997) in podatki osutosti hrastov na stalnih vzorčnih ploskvah (ČATER 1997).



Slika 1: Območje doba v Sloveniji

Figure 1: Areas of pedunculate oak in Slovenia

V letu 1997 zaključeni temeljni raziskovalni projekt o propadanju hrasta v Sloveniji (SMOLEJ / HAGER 1995, BATIČ 1997) je obravnaval problematiko s proučevanjem devetih trajnih raziskovalnih ploskev. Primerjava hidroloških razmer je odkrila upad ravni podtalnice na ploskvi Hraščica v vzhodni Sloveniji kar za 1,5 cm letno (obdobje 1953 - 1992), v zadnjih dveh desetletjih (1972 - 1992) pa 2,55 cm letno. To pomeni, da je znašal upad zadnjih 20 let kar 50 cm. Povsem drugačno je bilo stanje na drugi nižinski ploskvi v Krakovskem gozdu. Preskrbljenost z vodo je bila zadostna, raven podtalnice se v raziskovalnem obdobju ni spremenila.

Kljub ugodnim vodnim razmeram se osutost krošnje in prisotnost sekundarnih / epikormskih poganjkov nista izboljšala. Intenzivnejša osutost doba v vzhodni Sloveniji 39 % je morda povezana z upadom podtalnice; v Krakovskem gozdu je bilo stanje slabše (28 % osutost), vendar bistveno boljše kot v Hraščici.

Vzrokov propadanja seveda ne smemo pripisovati le vodnemu stresu, ki je morda najočitnejši in ključni dejavnik (LEVANIČ 1993), temveč tudi obremenjenosti zaradi pritiskov okolja, ki so jim hrastovi gozdovi v vzhodni Sloveniji posebno izpostavljeni.

Glede na evropski prostor ima proučevanje propadanja hrastov v Sloveniji pomembno prednost, saj se je pri nas pričelo in lahko procese zasledujemo od vsega začetka. Drugod so s tovrstnimi raziskavami začeli šele pri napredujočih stopnjah propadanja. Raziskava je zanimiva tudi kot primerjava z ostalimi, v tujini potekajočimi raziskavami, npr. na Hrvaškem, Madžarskem, v Avstriji in ostalih podonavskih deželah. Slabšanje stanja v zadnjih letih žal napreduje tako hitro, da se gozdarji Prekmurja upravičeno sprašujejo o perspektivnosti gospodarjenja s hrastom.

1.1 CILJI RAZISKAVE RESEARCH OBJECTIVES

Izrazito sušenje in fiziološko pešanje hrastov, ki je v Sloveniji opazno v zadnjem desetletju, je najverjetneje povezano s spremembami v ravni podtalnice in vodnega režima.

Verjetni scenarij je naslednji: spremenjena raven podtalnice vpliva na bolj negativen vodni potencial drevesa. Ta prizadene manjše korenine, ki začno propadati; razmerje med površino krošnje in deležem korenin je porušeno, delež listja je prevelik. Prva posledica je sušenje listov, zmanjša se fotosintetska aktivnost, nastane manj asimilatov, od katerih so odvisne predvsem tanke korenine in ektomikorizni partnerji. Drevo, ki še lahko reagira, se odzove na stres s povečanjem koreninskega sistema. Na spremembo se težje prilagodijo starejša drevesa, mlajše drevje pa včasih še nima dovolj globokih korenin, zato ne doseže globine z zadostno količino vode, ki je zaradi podnebja s suhimi poletji in hladnimi zimami vse pogostejši dejavnik minimuma.

Težave zaostri prisotnost kmetijskih zemljišč in z njimi povezana zasičenost z dušikom. Te razmere ne omogočajo zadostne sinteze ogljikovih spojin v fotosintezi, ki so potrebne za asimilacijo povečanega sprejema dušikovih spojin. Posledice so motnje v asimilaciji in razporeditvi asimilatov po rastlini in porušeno razmerje v mikorizni simbiozi.

Cilj raziskave je bil:

- opredeliti povezavo med nihanjem podtalnice in ksilemskim vodnim potencialom (Ψ) v vejicah kot kazalcem vodnega stresa pri dobi na dveh raziskovalnih ploskvah z različno ravnijo podtalnice;

- opredeliti zvezo med vodnim potencialom, električno upornostjo kambijeve cone in osutostjo krošenj na istih drevesih;
- v kontroliranih pogojih z dobovimi sadikami opredeliti kazalce stresa (vodni potencial, fotosintetska aktivnost in stomatalna prevodnost) v sušnih pogojih za določitev točke začetnega zapiranja in popolne zaprtosti listnih rež.

2 RAZISKOVALNI OBJEKTI RESEARCH OBJECTS

Objekt, na katerem smo preizkusili veljavnost hipotez, leži v severovzhodnem delu Slovenije. Pregled stanja na trajnih raziskovalnih ploskvah doba (Polom v Suhi Krajini, Krakovski gozd pri Kostanjevici, Dobrava pri Brežicah, Cigonca pri Slovenski Bistrici in Hraščica - Gančani) je namreč označil kot kritično predvsem stanje v vzhodnem delu Slovenije, v Prekmurju, ki predstavlja optimalo rastiščno območje za to drevesno vrsto.

Rastišča doba so sicer poplavna, vendar je vodni režim zaradi hidro- in agromelioracij v Prekmurju marsikje močno spremenjen. Probleme stopnjujejo navzkrižja v interesih zaradi neopredeljene prioritete v rabi prostora. Na istem mestu se križajo interesi poljedelstva, gozdarstva in gospodarjenja z vodnimi viri (LEVANIČ 1993).

2.1 GOZDNI KOMPLEKS MURSKA ŠUMA MURSKA ŠUMA FOREST COMPLEX

Murska šuma leži na skrajnem vzhodnem delu Slovenije, ki ga od meje s Hrvaško in Madžarsko ločuje le nekaj sto metrov. Spada v krajevno enoto Dolinsko (Območna enota Murska Sobota) Zavoda za gozdove Slovenije in meri 474,12 ha. Nekdaj poplavna Ledava je danes regulirana in obkroža gozdni kompleks s severovzhoda, z juga pa gozd omejuje Mura. V depresijah se ob višjih vodostajih še zadržuje voda, vendar so zaradi regulacij vodotokov ta obdobja vedno redkejša.

Za poskus smo s pomočjo gozdarjev domačinov izbrali dve ploskvi dobovega debeljaka: v oddelku 8, kjer so bili učinki sušenja doba izrazitejši, in v oddelku 11 b z manj

izrazitim upadom vitalnosti. Obe ploskvi sta bili brez dnik ali depresij. Znotraj vsake ploskve smo naključno izbrali in označili po deset dobovih dreves v vladajočem socialnem položaju in kjer je bil upad vitalnosti največji.

Preglednica 1: Osnovni podatki o ploskvah
Table 1: General plot information

	PLOSKEV 1 PLOT 1	PLOSKEV 2 PLOT 2
ODD / odsek <i>Division / section</i>	8	11 b
Površina <i>Area</i>	36,57 ha	15,11 ha
Nadmorska višina <i>Altitude (ASL)</i>	156,67 m	153,76 m
Izbrano št. dreves <i>Number of trees</i>	10	10
Poprečni premer <i>Average diameter</i>	45,6 +/- 3,8 cm	44,5 +/- 4,8 cm
Tla <i>Soil</i>	globoka obrečna evtrična tla <i>deep eutric fluvisols</i>	mineralni hipoglej in globoka obrečna tla <i>mineral hypogleys and deep fluvisols</i>
Združba <i>Association</i>	<i>Q.roburi-Carpinetum</i> M. WRABER 1969	

2.2 LONČNI POSKUS POT EXPERIMENT

Za opazovanje odnosov med vodnim potencialom, fotosintetsko aktivnostjo in stomatarno prevodnostjo smo se odločili za lončni poskus, ki smo ga izvedli v rastlinjaku Gozdarskega inštituta Slovenije v kontroliranih pogojih, saj zaradi časovne omejitve dela in nepredvidljivosti naravnih procesov v letu 1997 ni bilo mogoče napovedati suše.

Za izvedbo poskusa smo naključno izbrali 45 petletnih sadik doba, jih razporedili v tri skupine in v kontroliranih pogojih v rastlinjaku izpostavili različnemu režimu zalivanja. Sadike prve skupine smo zalivali dvakrat, druge skupine enkrat tedensko (vsakič 0,75 l), tretje skupine nismo zalivali. Namen poskusa je bil določiti točki začetnega in končnega, nepovratnega zapiranja listnih rež glede na sušo v tleh.

Začetno, izhodiščno stanje vseh treh skupin je bilo enako; posneli smo ga 13. 8. 1997, nato pa smo omenjeni režim zastavili. Stanje vodnega potenciala, merjenega pred zoro, vlažnost tal in kazalce fotosintetske aktivnosti smo preverjali v razmikih po deset dni.

Dobove sadike smo v začetku leta presadili v lonce s premerom 25 cm in globino 30 cm. Uporabili smo homogenizirana tla s ploskev v Murski šumi.

3 DELOVNE METODE WORKING METHODS

3.1 VODNE RAZMERE IN VODNI POTENCIAL WATER STATUS AND WATER POTENTIAL

Za določanje ravni podtalnice smo na vsaki ploskvi napravili vrtino do globine 2,9 m. Izmera ravni podtalnice je potekala tedensko, vsak četrtek od aprila do oktobra, vzorčenje podtalnice pa vsak mesec v istem časovnem obdobju.

Podatke za padavine, temperature, vodostaje za Muro (postaja Petanjci) in Ledavo (postaja Čentiba) smo dobili s Hidrometeorološkega zavoda Slovenije.

Vodni potencial (Ψ) izraža splošno dostopnost vode, ki prehaja iz mest večjega (manj negativnega) proti mestom manjšega (bolj negativnega) potenciala. Je relativna količina, odvisna od koncentracije raztopine, pritiska in gravitacije (TAIZ / ZEIGER 1991). Sestavljajo ga potencial pritiska (Ψ_p), raztopine (Ψ_s) in matrični potencial (Ψ_m):

$$(-) \Psi = (+ \Psi_p) + (- \Psi_s) + (- \Psi_m)$$

Potencial pritiska označuje hidrostatski tlak ali turgor, ki je rezultanta delovanja hidrostatičnega pritiska celične vsebine in protipritiska celične stene; zaradi razlik v osmotskih potencialih prodira voda v notranjost celice in pritiska ob celično steno. Turgor ima pomembno vlogo za rast celic in nemoten potek fizioloških procesov. Zmanjšanje te komponente povzroči razgradnje plazmatskih membran, končni stadij je venenje. V rastlinskih celicah (SALISBURY / ROSS 1992) znaša od 0,1 MPa do 1,0 MPa, njegov predznak je navadno pozitiven.

Potencial raztopine ali osmotski potencial je povezan s koncentracijo topljenca v celičnem oz. rastlinskem soku (π). Povečana koncentracija topljenca zmanjša prosto energijo vode in tako zmanjša vodni potencial v raztopini - voda je manj dostopna za ostale reakcije. Osmotski potencial gozdnega drevja je vedno negativen, ponavadi dosega vrednosti od -0,5 MPa do -3,0 MPa (SALISBURY / ROSS 1992).

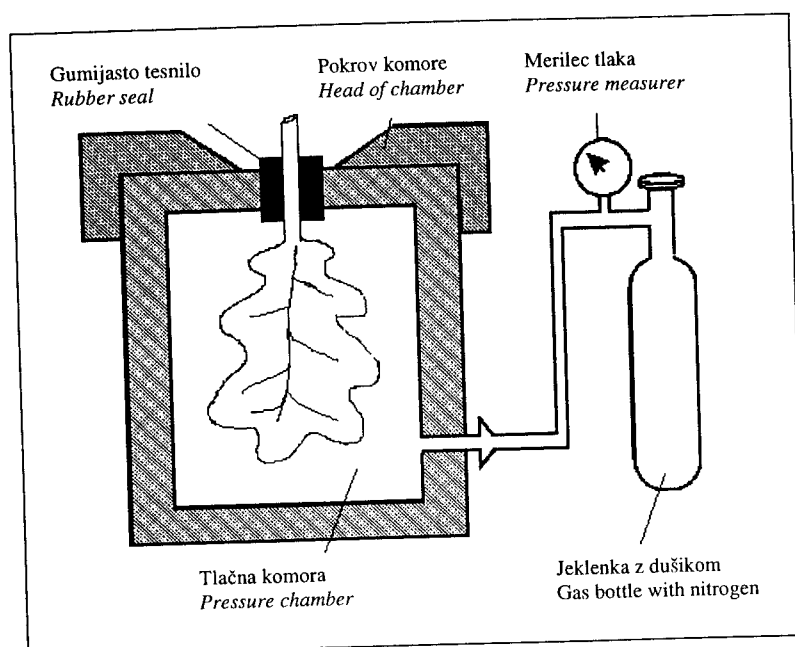
Matrični potencial je posledica privlačnih sil, ki nastanejo med molekulami vode in površino celičnih sten ter vodo in površino večjih, v vodi netopnih molekul. Zaradi površinske tenzije in adsorpcijskih sil je mobilnost vode manjša; matrični potencial je zato vedno negativen. Ponavadi je zanemarljiv; do večjega izraza pride šele, ko izgubijo tkiva več kot 50 % svoje normalne vsebnosti vode in pri nekaterih specializiranih rastlinah (*Cactaceae*).

Nekateri avtorji omenjajo poleg že naštetih še komponento gravitacije (ρgh) (TAIZ / ZEIGER 1991), ki jo obravnavajo ločeno ali pa jo zanemarijo. Do izraza pride pri visokih drevesih (KOIDE *et al.* 1991).

Matrični in osmotski potencial imata vedno negativne predznake; potencial pritiska je pozitiven, razen kadar je pritisk celičnih sten negativen. V elementih ksilema je negativen, enak nič ali pozitiven pod vplivom delovanja pritiska korenin. Vsota vseh komponent vodnega potenciala je v rastlinskih celicah vedno negativna (KOZLOWSKI 1982).

Meritve ksilemskega vodnega potenciala so predstavljale osrednji problem naloge, saj so dobova drevesa zaradi svoje višine težko dostopna. Hrasti imajo venčastoporozen les z velikimi premeri vodnih poti (350 μm) in veliko vodno prevodnostjo (do 60 m/h) (KOZLOWSKI 1981, ABRAMS 1990). V odtrgani vejici ali listu se sprosti podtlak, ki je nastal s transpiracijo (TAIZ / ZEIGER 1991). Zato je potrebno opraviti meritev vodnega potenciala čim hitreje. Merimo v času pred svitom, ko je vodni potencial odvisen predvsem od vodnih razmer v tleh.

Meritve vodnega potenciala so bile opravljene s tlačno bombo (Plant Moisture Vessel SKPM 1400, Skye, Vel. Britanija), ki jo sestavlja tlačna komora, reducimi ventil z merilcem tlaka in jeklenka z dušikom (slika 2).



Slika 2: Shematski prikaz merjenja vodnega potenciala

Figure 2: Schematic representation of water potential measurement

Pred pričetkom merjenja določimo obseg in umerimo merilno skalo. Vejico z listom namestimo v tlačno komoro, pritisk pa postopoma povečujemo do točke, ko se na gladko odrezani površini vejice pojavi prva kapljica. Pritisk tlačne komore je tedaj enak podtlaku oz. vodnemu potencialu ksilema merjene vejice. Bolj negativne vrednosti so znak večje tenzije v ksilemu in večjega stresa drevesa. Pritisk merimo v barih (bar) ali megapaskalih (MPa).

3.2 ELEKTRIČNA UPORNOST KAMBIJEVE CONE ELECTRICAL RESISTANCE OF CAMBIAL ZONE

Pri merjenju električne upornosti (EU) gre za mehanizem prevajanja električnega toka med dvema elektrodama, ki ju postavimo v stik z elektrolitsko raztopino. Na EU vpliva poleg temperature in razdalje med elektrodama tudi notranja upornost tkiva in specifična upornost elektrolita (ρ), ki narašča z razdaljo med elektrodama (l). Večanje površine elektrod (A) manjša EU (KRIŽAJ 1997).

Odvisnost EU in specifične upornosti kaže enačba (LIN 1965):

$$EU = \rho l/A$$

Na EU tkiva vpliva predvsem koncentracija enovalentnih, mobilnih ionov v apoplastu, ki med merilnima elektrodama sklenejo električni tok (TORELLI / KRIŽAJ 1991, KRIŽAJ 1997). Pomembno vlogo med ioni ima predvsem H^+ , OH^- ter kalij (K^+), ki sodeluje v procesih osmoregulacije in vzdrževanja elektrokemijskega ravnotežja v celicah (LARCHER 1995).

Od dejavnikov okolja vpliva na električno upornost tudi temperatura (LIN 1965) in vodni potencial (DIXON / THOMPSON / FENSOM 1978, NEWBANKS / TATTAR 1982).

V gozdarstvu je bila metoda uporabljena kot merilo volumskega prirastka (THOMPSON / McISAAC / FENSOM 1984), kot kazalec rastnosti in vitalnosti drevja (BLANCHARD / SHORTLE / DAVIS 1983, TORELLI *et al.* 1990), kot kazalec mikrorastiščnih razlik ter negovanosti sestojev (FERLIN 1993) in pri ocenjevanju socialnega statusa (ROBIČ *et al.* 1990). Uspešna je bila tudi pri odkrivanju propadajočih dreves in vrednotenju njihove mineralne prehrane (KOMLENOVIČ 1996).

Izsledki Katedre za tehnologijo lesa BF potrjujejo objektivnost, ki jo daje ocena stanja na osnovi zaporednih meritev EU na istih drevesih (ČUFAR 1990, TORELLI / KRIŽAJ 1991, ČUFAR 1997). Prednost metode je njena nedestruktivnost, preprostost in možnost ponovitev v razmeroma kratkem času (KRIŽAJ 1997).

EU smo merili s kondiciometrom (Bollmann Systeme, Rielasingen, Germany), ki deluje kot kationski detektor nad točko nasičenja celične stene, v merilnem območju $k\Omega$ (KRIŽAJ 1997). Aparat je sestavljen iz dvojne igelne elektrode (sonde) in merilnega instrumenta, ki sta med seboj povezana. Meritve izvajamo v prsni višini debla, kjer zabodemo elektrodi pravokotno na debelno os, orientacija igel pa je z debelno osjo vzporedna (KRIŽAJ 1997). Vsako drevo smo zmeraj izmerili štirikrat, po enkrat na vsaki strani neba.

Večja upornost označuje manjšo fiziološko aktivnost, slabšo oskrbo z vodo in manjšo vitalnost drevesa.

3.3 FOTOSINTETSKA AKTIVNOST IN STOMATARNA PREVODNOST PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY AND STOMATAL CONDUCTIVITY

Biokemijske reakcije fotosinteze so povezane z dostopnostjo in razpoložljivostjo vode. Pod vplivom svetlobe omogoča fotoliza vode oskrbo z elektroni za nemoten potek procesov med fotosistemom I. in II. V procesu sproščeni protoni se uporabljajo za sintezo ATP (LARCHER 1995). Primanjkljaj vode tako močno prizadene fotofosforilacijo in tvorbo energetske bogatih spojin, brez katerih ni osmoregulacije in aktivnega transporta niti redukcije CO_2 .

V procesu izmenjave plinov je poleg CO_2 voda dejavnik, od katerega je odvisna odprtost listnih rež. Posledica vodnega primanjkljaja je večja koncentracija abscizinske kisline (ABA), ki vpliva na zapiranje stom (DREYER *et al.* 1995). Rastlini je za fiksacijo dostopen le izdihani CO_2 , sposobnost vezave ogljika je okrnjena. Zmanjša se neto fotosinteza in koncentracija encimov, ki sodelujejo v procesih sinteze beljakovin, delitev celic in procesi rasti se ustavijo (LARCHER 1995).

Zaradi primanjkljaja vode je delno zapiranje listnih rež še reverzibilen proces; oskrba z vodo vzpostavi ponovno ravnovesje, medtem pa povečevanje vodnega stresa sproži skoraj popolno zaprtost listnih rež in primanjkljaj vode v protoplazmi. Vzpostavitev začetnega ravnovesja je težavno in največkrat neuspešno (LARCHER 1995).

Zaradi narave dela smo fotosintetsko aktivnost izmerili le na sadikah doba v lončnem poskusu. Meritve na terenu bi predstavljale večji problem, saj je potrebno meriti na listih v zgornjem delu krošnje; odtrgane vejice niso prišle v poštev.

Za merjenje smo uporabljali metodo infrardeče plinske kromatografije in odprt, diferencialni način merjenja z merilcem LCA-3 (Leaf Chamber Analysis System, ADC, V. Britanija) in kiveto PLC-3 istega proizvajalca; na osnovi izmenjave plinov - primerjave med količino izločenega in porabljenega CO₂ v merjenem listu - računsko določi neto fotosintezo. V zaprto komoro z listom vodimo zrak z znano vsebnostjo CO₂ in vodnih hlapov. Po prehodu skozi komoro se zaradi fotosintetske aktivnosti lista ali dihanja koncentraciji CO₂ in vode v zraku spremenita. Na osnovi teh sprememb določi instrument velikost fotosinteze in transpiracije. Pred merjenjem smo določili in vnesli konstante; merjene in izračunane parametre merilec samodejno shranjuje (transpiracija, stomatarna prevodnost, fotosinteza, medcelična koncentracija CO₂) in jih prek povezave z osebnim računalnikom izpiše.

Aparat sestavljajo osrednji del z analizatorjem in pomnilnikom, kiveta, teleskopska sonda za zajem zraka in sistem povezav med merilnimi elementi.

Neto fotosintezo smo izmerili v razmerah optimalne osvetlitve v rastlinjaku (170-200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), pri temperaturi zraka 31,4 °C, relativni zračni vlagi 22 % in količini CO₂ od 380-450 $\mu\text{mol mol}^{-1}$. Čeprav je bila osvetlitev pod saturacijsko točko fotosinteze, je bila za rastlinjak optimalna in za vse sadike enotna. Meritve so potekale vsakič ob istem času, z začetkom ob 11.15 uri: v vsaki seriji z istim režimom zalivanja smo opravili 30-35 ponovitev. Neto fotosintezo smo izmerili v $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

3.4 OSUTOST KROŠNJE CROWN DEFOLIATION

Osutost krošnje predstavlja okularno ocenjeni delež manjkajoče asimilacijske površine v primerjavi z normalnim stanjem drevesa v istem socialnem položaju in na enakem rastišču (KOVÁČ *et al.* 1995).

Oceno osutosti podajamo vedno na 5 % natančno - nanaša se na živo krošnjo, ki jo opazujemo z več strani do oblikovanja končne ocene. Priporočljivo je ocenjevanje v višku vegetacijske sezone. Zmanjševanje odstopanja se izboljša s seminarji urjenja v ocenjevanju, z referenčnimi fotografijami, terenskim nadzorom in stalnimi ekipami popisovalcev (BOGATAJ 1997).

Osutost krošnje na 5 % natančno smo ocenjevali od polnega olistanja dreves naprej, od junija do septembra. Ocene smo primerjali s podatki za avgust, ko smo izvedli popise tudi na ostalih trajnih raziskovalnih ploskvah doba po Sloveniji. Tako smo zagotovili primerljivost ocen.

3.5 STATISTIČNA ANALIZA PODATKOV **STATISTICAL DATA ANALYSIS**

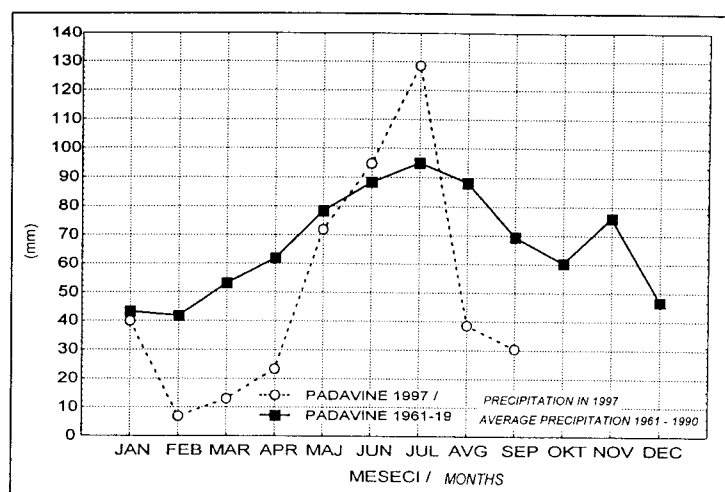
Za vrednotenje in analizo podatkov smo uporabili programska paketa STATISTICA 5 in EXCEL 7.0. Značilne razlike smo ugotavljali z variančno analizo, z metodo enostavne regresije pa povezave med merjenimi parametri.

4 REZULTATI ANALIZ **ANALYSIS RESULTS**

4.1 ANALIZA PODATKOV S TERENA **FIELD DATA ANALYSIS**

4.1.1 Splošne vodne razmere **General water status**

Primerjava padavin med letom 1997 in tridesetletnim poprečjem (1961 - 1990) je pokazala odstopanje, saj jih je bilo v obdobju januar-april in avgust-september 1997 manj, v juniju in juliju 1997 pa občutno več kot v tridesetletnem poprečju.

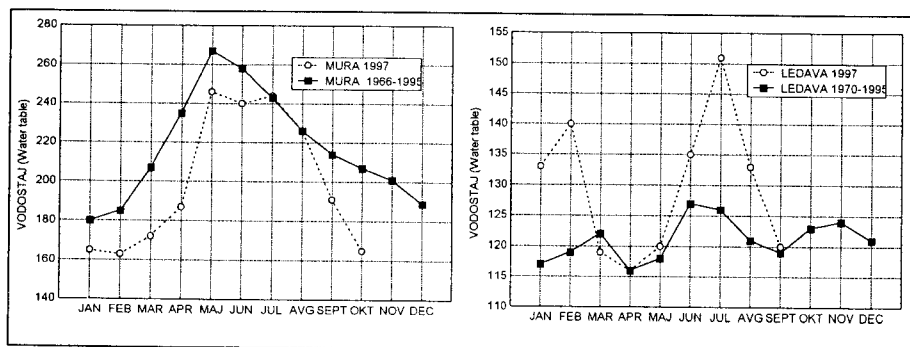


Grafikon 1: Primerjava padavinskih podatkov za Lendavo

Graph 1: Comparison of precipitation data for Lendava

Primerjava temperatur za leto 1997 ni pokazala odstopanj od tridesetletnega poprečja.

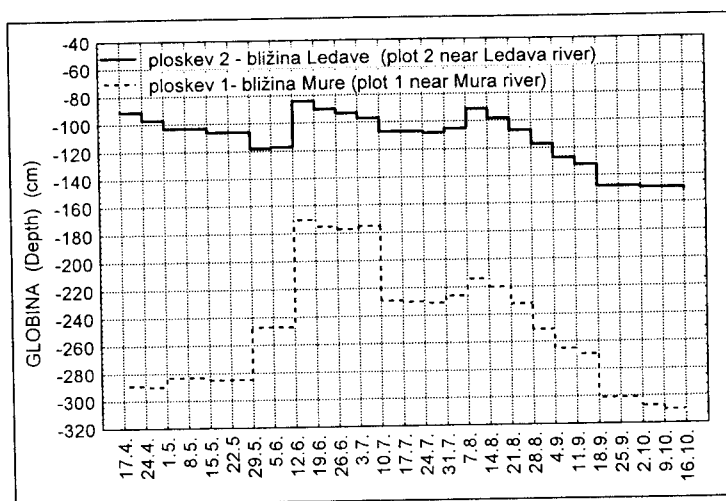
Zanimiva je primerjava vodostajev med Muro in Ledavo. Na vodostaj Mure vpliva poleg padavin še poletno topljenje snega in ledu v Alpah, medtem ko je vodostaj Ledave odvisen le od lokalnih padavin. Primerjava vodostajev in padavin za leto 1997 potrjuje omenjeno trditev.



Grafikon 2: Primerjava vodostajev za Muro in Ledavo

Graph 2: Comparison of water tables for Mura and Ledava rivers

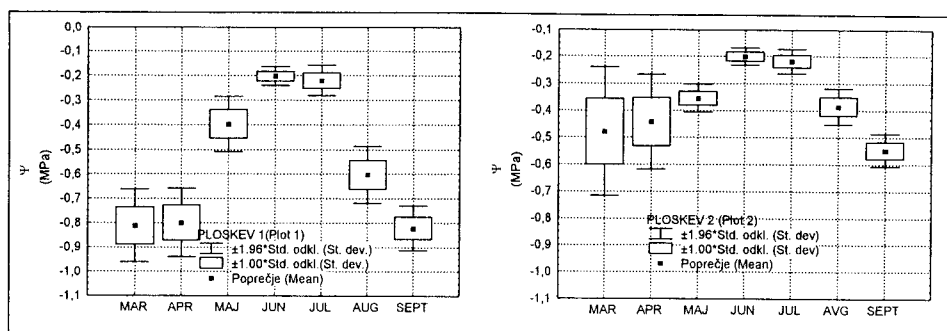
V času obdelave so bili zadnji dosegljivi podatki za mesec september, ki je bil tudi zadnji mesec meritev na terenu.



Grafikon 3: Raven podtalnice na ploskvi 1 in 2 tekom opazovanega obdobja
 Graph 3: Groundwater table on plots 1 and 2 during observed period

4.1.2 Vodni potencial Water potential

Podatke meritev smo primerjali med obema ploskvama, med meseci in posameznimi drevesi. Obdelava je vključevala analizo variance v shemi hierarhičnega poskusa, navadno analizo variance po opravljenih testih normalnosti in homogenosti varianc, ter rangiranje.



Grafikon 4: Letno gibanje vrednosti vodnega potenciala

Graph 4: Annual dynamics of water potential

Večjo variabilnost podatkov v začetku (marec, april) lahko povežemo z različnim časom fiziološkega aktiviranja posameznih dreves. Med letom so se ta odstopanja ne glede na stopnjo poškodovanosti posameznih dreves, zmanjšala. Vsako meritev je predstavljalo poprečje štirih ponovitev na istem drevesu.

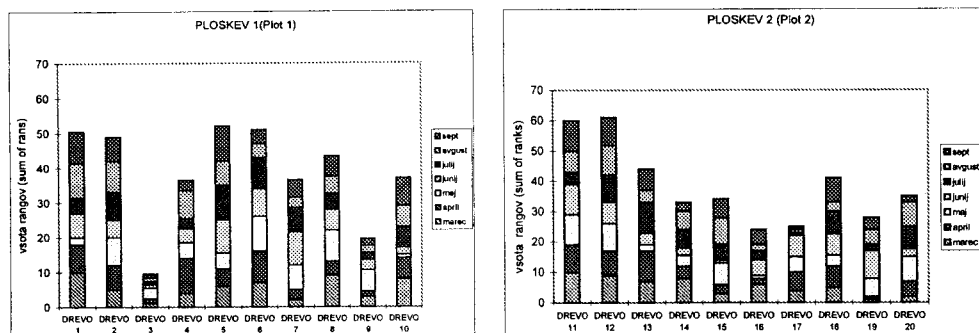
Analiza razlik med ploskvama znotraj vsakega meseca po hierarhični shemi z ureditvijo: mesec - ploskev - drevo - veja - meritev je potrdila obstoj značilnih razlik med drevesi obeh ploskev in med ploskvama, razen v mesecu juniju in juliju.

Preglednica 2: Analize razlik za vodni potencial med ploskvama po mesecih

Table 2: Analysis of differences for water potential between plots by months

MESEC MONTH	RAZLIKE-PLOSKVI DIFFERENCES - PLOTS (df ₁ =1; df ₂ =18)	
	F	p
3.	58,752	0,000***
4.	97,862	0,000***
5.	8,435	0,009***
6.	0,009	0,927
7.	0,007	0,936
8.	100,046	0,000***
9.	241,083	0,000***

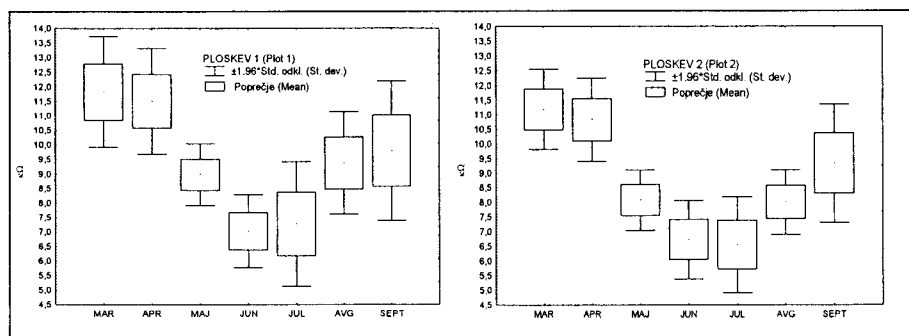
Z rangiranjem znotraj posameznega meseca in ploskve smo želeli primerjati range dreves med meseci. Drevo z najbolj negativno vrednostjo vodnega potenciala je dobilo najnižji rang (grafikon 5). Drevesa prve ploskve so označena s št. 1 - 10, drevesa druge ploskve pa s št. od 11 - 20. Na prvi ploskvi so izstopala drevesa št. 3, 7 in 9, na drugi ploskvi pa drevesa št. 16, 17 in 19.



Grafikon 5: Primerjava rangov za vodni potencial na obeh ploskvah po mesecih

Graph 5: Comparison of ranks for water potential on both plots by months

4.1.3 Električna upornost kambijeve cone (EU) Electrical resistance of cambial zone (EU)



Grafikon 6: Letno gibanje upornosti kambijeve cone

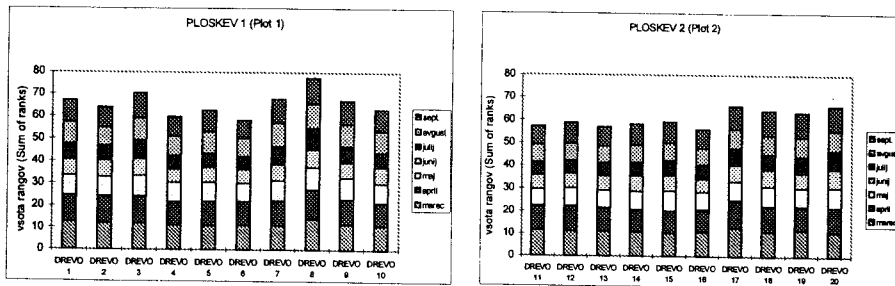
Graph 6: Annual dynamics of electrical resistance of cambial zone

EU smo analizirali na enak način, kot podatke o vodnem potencialu. Rangirali smo od manjših proti večjim vrednostim EU.

Preglednica 3: Razlike med ploskvama po mesecih (EU)

Table 3: Differences between plots by months (EU)

MESEC MONTH	RAZLIKE-PLOSKVI DIFFERENCES - PLOTS (df ₁ =1; df ₂ =18)	
	F	p
3.	2,951	0,103
4.	3,279	0,087
5.	14,053	0,002***
6.	1,030	0,323
7.	2,778	0,113
8.	16,754	0,001***
9.	0,874	0,362



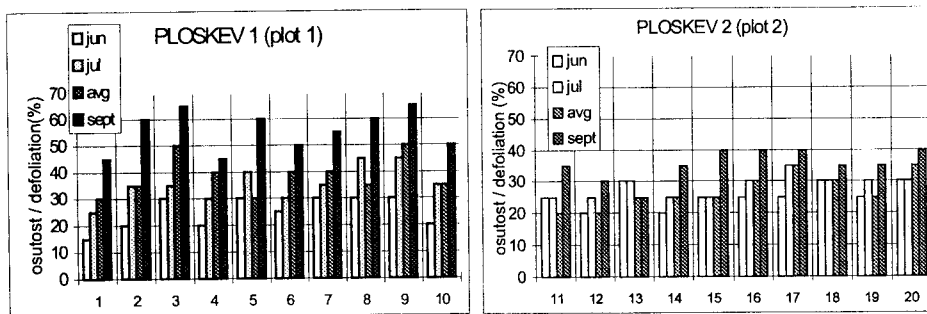
Grafikon 7: Primerjava rangov za EU na obeh ploskvah po mesecih

Graph 7: Comparison of ranks for EU between both plots by months

Večje vrednosti rangov (in EU) so bile znak fiziološko in vitalno slabših osebkov. Na prvi ploskvi so izstopala drevesa št. 3, 8 in 9, na drugi ploskvi pa drevesa št. 17, 19 in 20.

4.1.4 Osutost krošnje Crown defoliation

Podatke za osutost smo zasledovali od polnega olistanja dreves dalje (konec maja, začetek junija). V nadaljnji analizi smo uporabili podatke za mesec avgust, ko so bili opravljeni tudi ostali popisi na dobovih raziskovalnih poskvah. Osutosti listne površine za ploskev 1 in 2 prikazuje naslednji grafikon 8.



Grafikon 8: Osutost krošnje na obeh ploskvah od junija do septembra

Graph 8: Crown defoliation on both plots from July to September

Najbolj osuti drevesi na ploskvi 1 sta bili št. 3 in 9, na ploskvi 2 pa št. 17 in 20. Poprečna osutost na ploskvi 1 je znašala 38,5 %, na ploskvi 2 pa 27 %.

4.2 ANALIZA LONČNEGA POSKUSA POT EXPERIMENT ANALYSIS

4.2.1 Vodni potencial in vlažnost tal Water potential and soil humidity

Razlike so bile značilne med skupinami znotraj istega datuma in med različnimi datumi za isto skupino sadik. Za vsako serijo smo določili tudi količino vode v tleh. Enako količino vzorca tal vsake sadike z globine 18 cm od površja posode smo za skupino sadik (režim zalivanja) združili. Skupni vzorec smo stehali, ga čez noč sušili pri 105 °C in s ponovnim tehtanjem določili odstotek vode v tleh.

Preglednica 4: Lončni poskus – vodni potencial

Table 4: Pot experiment – water potential

DATUM DATE		ŠT. NO.	POPREČJE MEAN (MPa)	MIN. MIN. (MPa)	MAKS. MAX. (MPa)	ST. ODKLON ST. DEV.	ST. NAPAKA ST. ERROR
13. 8. 1997	skupno together	45	-0,26	-0,37	-0,17	0,40	0,01
22. 8. 1997	brez zalivanja without watering	15	-0,67	-0,89	-0,52	0,12	0,03
22. 8. 1997	1 x zalivano 1x watering	15	-0,41	-0,51	-0,32	0,06	0,02
22. 8. 1997	2 x zalivano 2x watering	15	-0,26	-0,30	-0,23	0,02	0,01
1. 9. 1997	brez zalivanja without watering	15	-1,62	-1,79	-0,15	0,10	0,03
1. 9. 1997	1 x zalivano 1x watering	15	-1,02	-1,25	-0,79	0,16	0,04
1. 9. 1997	2 x zalivano 2x watering	15	-0,44	-0,53	-0,28	0,07	0,02
11. 9. 1997	brez zalivanja without watering	15	-2,05	-2,35	-1,76	0,18	0,05
11. 9. 1997	1 x zalivano 1x watering	15	-1,12	-1,33	-0,90	0,15	0,04
11. 9. 1997	2 x zalivano 2x watering	15	-0,50	-0,61	-0,39	0,08	0,02

4.2.2 Fotosintetska aktivnost in stomatalna prevodnost Photosynthetic activity and stomatal conductivity

Podatki za prvi datum meritev so se nanašali na skupno, izhodiščno stanje in se med seboj niso razlikovali, zato jih prikazujemo skupaj. V nadaljevanju poskusa smo vrednosti obravnavali ločeno, za vsako skupino (režim zalivanja) posebej.

Kot primerjalne smo med serijami upoštevali podatke za transpiracijo, stomatarno prevodnost, fotosintezo in količino medceličnega CO₂. Podatke prikazuje preglednica 5.

Po zadnjem datumu meritev smo obravnavali vse skupine sadik enako, kot prvo in jih zalivali dvakrat tedensko. Sadike druge skupine (zalivanje enkrat tedensko) so si po

stresu opomogle že v prvem tednu, v tretji skupini (brez zalivanja) pa si je opomoglo v prvem tednu šest od petnajstih sadik (40 %) in po 14 dneh še dve.

Preglednica 5: Vrednosti kazalcev fotosintetske aktivnosti za skupine in datume

Table 5: Photosynthetic activity indicators for groups by dates

		REŽIM ZALIVANJA WATERING REGIME		
Datum: 13. 8. 1997 Date:		IZHODIŠČNO STANJE STARTING POINT		
TRANSPIRACIJA TRANSPIRATION	(mmol m ⁻² s)	6,247±0,623		
STOM. PREVODNOST STOM. CONDUCTIVITY	(mol m ⁻² s ⁻¹)	0,245±0,039		
FOTOSINTEZA PHOTOSYNTHESIS	(μmol m ⁻² s ⁻¹)	5,143±0,782		
MEDCELIČNI CO ₂ INTERCELLULAR CO ₂	(μmol mol ⁻¹)	347,83±11,47		
Datum / Date: 26. 8.		2X	1X	BREZ / WITHOUT
TRANSPIRACIJA TRANSPIRATION	(mmol m ⁻² s)	6,386±0,745	4,567±0,862	3,750±0,353
STOM. PREVODNOST STOM. CONDUCTIVITY	(mol m ⁻² s ⁻¹)	0,251±0,049	0,145±0,047	0,102±0,014
FOTOSINTEZA PHOTOSYNTHESIS	(μmol m ⁻² s ⁻¹)	4,350±0,540	2,369±0,235	0,757±0,588
MEDCELIČNI CO ₂ INTERCELLULAR CO ₂	(μmol mol ⁻¹)	311,76±4,66	307,74±9,41	328,52±23,52
Datum: 1. 9. 1997 Date:		2X	1X	BREZ / WITHOUT
TRANSPIRACIJA TRANSPIRATION	(mmol m ⁻² s)	5,224±0,384	4,087±0,470	1,773±0,151
STOM. PREVODNOST STOM. CONDUCTIVITY	(mol m ⁻² s ⁻¹)	0,217±0,020	0,136±0,020	0,036±0,004
FOTOSINTEZA PHOTOSYNTHESIS	(μmol m ⁻² s ⁻¹)	6,421±0,608	2,979±0,216	0,391±0,220
MEDCELIČNI CO ₂ INTERCELLULAR CO ₂	(μmol mol ⁻¹)	353,18±13,13	312,55±8,62	331,24±8,31
Datum: 11. 9. 1997 Date:		2X	1X	BREZ / WITHOUT
TRANSPIRACIJA TRANSPIRATION	(mmol m ⁻² s)	4,327±0,329	1,969±0,374	0,828±0,461
STOM. PREVODNOST STOM. CONDUCTIVITY	(mol m ⁻² s ⁻¹)	0,209±0,083	0,058±0,019	0,008±0,006
FOTOSINTEZA PHOTOSYNTHESIS	(μmol m ⁻² s ⁻¹)	3,812±0,677	0,524±0,198	-0,215±0,328
MEDCELIČNI CO ₂ INTERCELLULAR CO ₂	(μmol mol ⁻¹)	341,56±8,22	339,14±9,65	372,17±11,09

Glede na vrednosti vodnega potenciala in kazalce fotosintetske aktivnosti lahko trdimo, da je točka zapiranja listnih rež v območju vodnega potenciala med vrednostmi -0,5 in -0,7 MPa. Vlažnost tal je tedaj znašala med 18,7 in 20,8 %.

Točko nepovratnega zapiranja listnih rež s poškodbo 50 % osebkov po ponovnem zalivanju je označil vodni potencial z vrednostjo -1,62 MPa (vlažnost tal 12 %), ki smo ga stopnjevali s sušo do vrednosti -2,05 MPa (vlažnost tal 9,02 %).

Primerjava meritev vodnega potenciala na terenu in v lončnem poskusu kaže, da je bilo stresno stanje na terenu v obdobju od marca (-0,81 MPa) do aprila (-0,80 MPa) in kasneje v septembru (-0,82 MPa) le nakazano, nižjih vrednosti pa zaradi ugodne preskrbljenosti z vodo meritve niso pokazale. Vodne razmere v letu 1997 v Murski šumi torej niso nastopale kot izraziti stresni dejavniki.

4.3 PRIMERJAVA REZULTATOV COMPARISON OF RESULTS

4.3.1 Primerjava kazalcev vodnih razmer Comparison of water status indicators

Vpliv padavin in vodostaja na raven podtalnice smo preverjali z ujemanjem podatkov trenutnega stanja in s tistimi za vodostaj in padavine en, dva in tri dni prej. Na raven podtalnice prve ploskve najmočnejše vpliva vodostaj Mure z zamikom dveh dni, na drugi ploskvi pa trenutni vodostaj Ledave. Poprečne mesečne vrednosti za podtalnico in padavine kažejo večje ujemanje na ploskvi 1 ($r_{p1} = 0,70^*$) kot na ploskvi 2 ($r_{p2} = 0,28$), ujemanje dnevnih vrednosti pa je na obeh ploskvah enako ($r = 0,53$). Vodni potencial kaže dobro povezanost s poprečnimi mesečnimi padavinami ($r_{p1} = 0,937^{**}$; $r_{p2} = 0,885^{**}$), manj z dnevnimi - najizrazitejša zveza s trenutnimi padavinami je z eno in dvodnevni zamikom ($r_{p1} = 0,479$; $r_{p2} = 0,487$). Električna upornost kambijeve cone je na ploskvi 1 z ravniyo podtalnice močnejše povezana ($r_{dnev.} = -0,778^*$; $r_{mes.} = -0,849^{**}$) kot na ploskvi 2 ($r_{dnev.} = -0,169$; $r_{mes.} = -0,168$).

4.3.2 Primerjava osutosti krošenj Comparison of crown defoliation

Ploskvi se razlikujeta v poprečni osutosti krošenj. Na ploskvi 1 je v avgustu znašala 38,5 %, na ploskvi 2 pa 27,0 %. Poprečno oceno osutosti za dob smo izdelali po popisu v Murski šumi. Z 29,2 % je bila ocena dobove osutosti od vseh drevesnih vrst najvišja, približala se ji je le osutost trepetlike (26,3 %). Odstopanja v letu 1997 med osutostjo doba v Murski šumi in na ostalih trajnih raziskovalnih ploskvah (46,7 %) povezujemo z ugodnejšimi vodnimi razmerami v Murski šumi.

4.3.3 Vodni potencial in EU Water potential and EU

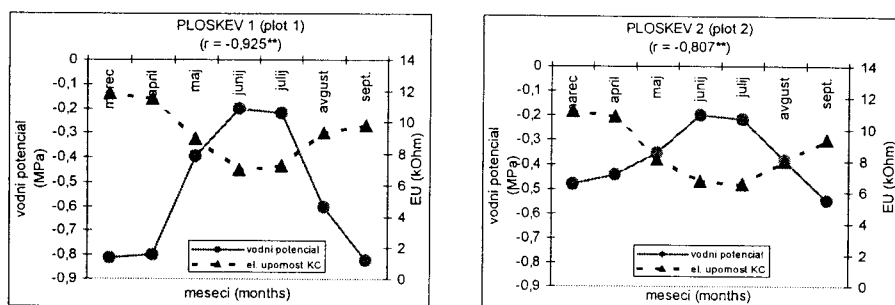
Primerjava vrednosti znotraj posameznih mesecev je pokazala večje ujemanje med vodnim potencialom in EU na ploskvi 1, kjer je bilo drevje pod vplivom večjega stresa. Na drugi ploskvi so bila ujemanja manjša in celo nasprotujoča.

Preglednica 6: Korelacijski koeficienti ujemanja med vodnim potencialom in EU na ploskvah

Table 6: Correlation coefficients between water potential and ER on plots

MESEC MONTH	PLOSKEV 1 PLOT 1 (R)	PLOSKEV 2 PLOT 2 (R)
3.	-0,54*	-0,10
4.	-0,42	0,31
5.	-0,05	-0,11
6.	-0,18	-0,25
7.	-0,42	0,37
8.	-0,31	-0,27
9.	-0,10	-0,31

Primerjava med poprečnimi vrednostmi je pokazala večje ujemanje, predvsem na prizadeti ploskvi ($r_{P1} = -0,925^{**}$; $r_{P2} = -0,807^{**}$)



Grafikon 9: Vodni potencial in EU

Graph 9: Water potential and EU

4.3.4 Vodni potencial in osutosti krošenj Water potential and crown defoliation

Kriterialna vrednost osutosti krošenj se je nanašala na opazovane vrednosti v avgustu, ki smo jih primerjali z vrednostmi vodnega potenciala v različnih mesecih. Opazili smo dobro ujemanje v času suše in večjega vodnega stresa na začetku in koncu opazovanega obdobja. Podobno kot v primerjavi med EU in vodnim potencialom so bila ujemanja večja na bolj prizadeti ploskvi.

Preglednica 7: Ujemanje med vodnim potencialom in osutostjo krošenj na ploskvah

Table 7: Correspondence between water potential and crown defoliation

MESEC MONTH	PLOSKEV 1 PLOT 1 (R)	PLOSKEV 2 PLOT 2 (R)
3.	-0,69*	-0,63*
4.	-0,43	-0,30
5.	0,07	-0,30
6.	-0,67*	-0,21
7.	-0,80*	-0,06
8.	-0,89**	-0,53*
9.	-0,92**	-0,74*

Med dendrometrijskimi kazalci (premer, višina drevesa) vzorca in ostalimi stresnimi kazalci nismo ugotovili značilnih korelacijskih povezav.

5 RAZPRAVA Z ZAKLJUČKI DISCUSSION WITH CONCLUSIONS

Leto 1997 je bilo glede vodnih razmer ugodnejše od prejšnjih, sušnih let. Intenzivnost padavin je bila v poletnem času od junija do avgusta večja kot dolgotrajno poprečje. Z vodnimi razmerami povezani kazalci stresa (vodni potencial, električna upornost) zato niso pokazali izrazitega nihanja, ki je značilno za bolj sušni, poletni čas. Tudi osutost krošenj je bila v primerjavi z ostalimi, trajnimi raziskovalnimi ploskvami bistveno manjša. Kljub ugodnim vodnim razmeram so bile vrednosti vodnega potenciala v začetku in na koncu merilnega obdobja blizu tistim, ki jih v literaturi omenjajo za začetek sušnih razmer pri dobi (DREYER / BOUSQUET / DUCREY 1990, DREYER *et al.* 1995, PICON / GUEHL / AUSSENAC 1996).

1. Rezultati so pokazali zvezo med ksilemskim vodnim potencialom in nihanjem ravni podtalnice, ki je bila na ploskvi z bolj prizadetimi dobovimi drevesi večja ($r_{P1} = 0,757^*$) in na ploskvi z manjšo prizadetostjo manj izrazita ($r_{P2} = 0,637$).

Na neprizadeti ploskvi je bila raven podtalnice bližje površju (80-140 cm), z manjšimi nihanji kot na prizadeti ploskvi, kjer so bile razlike zaradi večje globine podtalne vode očitnejše (220-300 cm).

Na vodni potencial poleg podtalnice odločilno vplivajo tudi padavine, kar je pokazala dobra korelacijska povezava, predvsem z dvodnevni zamikom. Odvisnost je bila tesnejša na bolj prizadeti ploskvi ($r_{P1} = 0,937^{**}$; $r_{P2} = 0,885^{**}$). Tudi električna upornost kambijeve cone je s podtalnico pokazala večje ujemanje na ploskvi 1, kot na ploskvi 2 ($r_{P1} = -0,778^*$; $r_{P2} = -0,169$), prav tako primerjava s padavinami ($r_{P1} = -0,897^{**}$; $r_{P2} = -0,871^{**}$).

2. Med izbranimi ploskvama smo odkrili značilne razlike v vrednostih vodnega potenciala, EU in osutosti krošenj. Globina ravni podtalnice bistveno vpliva na odzive stresnih dejavnikov.

Meritve prizadetih dreves so v sušnejših obdobjih dosegale bolj negativne in od ostalih dreves značilno različne vrednosti vodnega potenciala ter večje vrednosti električne upornosti. Podatki povprečnega vodnega potenciala in povprečne EU so se med ploskvama in med meseci značilno razlikovali. Značilne so bile tudi razlike v osutosti krošenj.

Primerjava podatkov osutosti krošenj v avgustu in vodnega potenciala na istih drevesih je pokazala podobno letno dinamiko, kot jo kaže nihanje podatkov EU ali vodnega potenciala: največje ujemanje med drevesi v poškodovanosti je bilo v začetku (marec) in na koncu merilnega obdobja (avgust, september), ko so bile absolutne vrednosti kazalcev ekstremne, manjše v poletnih mesecih, ko so bile vodne razmere ugodnejše.

Med EU in vodnim potencialom je bilo ujemanje ponovno večje na prvi, prizadeti ploskvi. Ujemanja so bila večja na začetku in ob koncu merilnega obdobja.

Osutost krošenj se s podatki električne upornosti ni prilegala tako izrazito kot v primerjavi z vodnim potencialom. Izmerjene vrednosti prizadetih dreves so se ujemale z izsledki Komlenovića (1996), ki je primerjal EU prizadetih in neprizadetih dreves s prirastkom in stanjem mineralne prehrane v okolici Jastrebarskega na Hrvaškem. Vrednosti prizadetih hrastov so bile za 1,5 - 2 k Ω večje od neprizadetih. Največja zabeležena upornost je znašala 20 k Ω pri drevju s povprečno 50 % osutostjo kar je bilo več, kot največja zabeležena upornost 14 k Ω v Murski šumi s povprečno 37,5 % osutostjo. Razlika izhaja najverjetneje iz manjše osutosti krošenj hrastov, ki je povezana z boljšo vodno preskrbo in manjšo starostjo dreves v Prekmurju.

EU se je v primerjavi z vodnim potencialom pokazala kot prav tako uspešen kazalec vitalnostnih razmer na hrastih. Primerjava povprečij je pokazala veliko ujemanje na prvi, prizadeti, in nekoliko manjše, vendar še vseeno značilno ujemanje na drugi, neprizadeti ploskvi ($r_{P1} = -0,925^{**}$; $r_{P2} = -0,807^{*}$).

3. Z lončnim poskusom določena točka začetnega zapiranja listnih rež se je nahajala v intervalu med -0,5 in -0,7 MPa, nepovratno zapiranje pa je sprožil vodni potencial, nižji od -1,62 MPa.

Stresno stanje je bilo tako marca (-0,81 MPa), aprila (-0,80 MPa) ter septembra (-0,82 MPa) na ploskvi št. 1 le nakazano, drugod pa vodne razmere niso nastopale v vlogi izrazitega stresnega dejavnika. Poskusi drugih avtorjev postavljajo točko nepovratnega

zapiranja rež za dob zelo različno: -1,5 MPa (TRIBOULOT et al. 1996), -1,72 (VIVIN et al. 1996), -1,8 MPa (TYREE / COCHARD 1996) in -2,24 MPa (DREYER et al. 1995). Slednji je s sodelavci določil točko zapiranja na osnovi krivulj, ki jih dobimo s tehtanjem izločenega soka pod različnim pritiskom. Metoda predpostavlja, da so vse vodne sprembe posledica sprememb v simplastu, stanje v apoplastu pa je konstantno. Na mestu, kjer postane krivulja premica, celične stene na tlak (tenzijo) ne reagirajo več, vodni potencial je odvisen le od komponente raztopine oz. osmotskega pritiska. Problem nastopi, kadar gre za drevesno vrsto, ki je sposobna kljubovati vodnemu stresu z osmoregulacijo; večje molekule škroba se razgradijo do enostavnejših sladkorjev in celice ohranjajo dotok vode (LARCHER 1995). Slednje je značilno predvsem za hrastovo listje (KIKUTA / RICHTER 1992), zato menimo, da nastopi dejanska točka pri nekoliko manjšem, manj negativnem podtlaku. Tyree in Cochard (1996) omenjata, da je podtlak -2,0 MPa tisti, ki pri dobi zaustavi rast. Lončni poskus omenjeno trditev potrjuje, saj je v skupini sadik, ki jih nismo zalivali v času zadnjih meritev, vodni potencial dosegel vrednost -2,05 MPa. Za posledicami takšnega vodnega primanjkljaja je kljub vzpostavitvi normalnih vodnih razmer odmrlo 8 od 15 ali 53 % sadik omenjene serije.

Z naraščanjem vodnega stresa je stopnja asimilacije, stomatarne prevodnosti in transpiracije upadla v obsegu, ki ga označujejo tudi drugi avtorji (DREYER / BOUSQUET / DUCREY 1990, PICON / GUEHL / AUSSÉNAC 1996, TRIBOULOT et al. 1996, VIVIN et al. 1996).

Vrednosti, ki sta jih dobila Epron in Dreyer (1932) na poskusu z odraslimi drevesi so nekoliko večje kot v našem primeru. Stopnja asimilacije je znašala pri vodnem potencialu -1,0 MPa $12,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, pri -2 MPa še vseeno $3,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, v našem primeru pa le $4,1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ pri vrednosti -1,0 MPa in $0,83 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ pri -2 MPa, kar nakazuje večjo kljubovalno moč starejših osebkov. Močan upad v asimilaciji pod -1,0 MPa se ujema z našimi opazovanji.

Poskus, ki je bil izrazito kratkotrajne narave, je označil odnose med dvema ploskvama z različno gladino podtalnice. Z rezultati smo izpolnili vse cilje raziskave in potrdili veljavnost zastavljenih delovnih hipotez, kljub temu da v letu 1997 na območju Murske šume ni bilo izrazitih sušnih razmer.

V vodnem potencialu, EU in osutosti krošnje obstajajo med raziskovalnima ploskvama in prizadetimi dobovimi drevesi znotraj ploskev značilne razlike; nižje, negativnejše vrednosti izmerjenega vodnega potenciala in večje vrednosti v upornosti kambijeve cone so znak fiziološko oslavljenih osebkov.

Potrdili smo tudi domnevo, da je vodni potencial v obratni korelacijski odvisnosti z EU in z osutostjo krošnje.

6 POVZETEK

Zaradi velike dostopnosti, ugodnih tal in goste poselitve nižinskega sveta so nekoč obsežni dobovi gozdovi danes najbolj spremenjeni gozdovi v Sloveniji. Zračni onesnaževalci, uravnavanje in spreminjanje vodnega režima in soseščina kmetijskih površin okoljske razmere za rast doba še poslabšajo in mu zmanjšujejo stabilnost in odpornost. Zelo očitna je upad vitalnosti doba predvsem v nižinskem delu vzhodne Slovenije.

Spremembe v gladini podtalnice vplivajo na fizikalno in vrstno spremembo rastišč ter drugačne odnose znotraj rastlinskih združb. Kadar so motnje v mejah ekološko dopustnih nihanj, se dob kot dolgoživa drevesna vrsta prilagaja nanje zelo počasi. V nasprotnem primeru povzročijo vsake spremembe v intenziteti in dinamiki vlažnostnih razmer tal v občutljivih dobovih ekosistemih odzive, ki se kažejo kot sušenje in umiranje.

Starejši in srednjedobni dobovi sestoji se na motnje v ritmu podtalnih in poplavnih voda odzivajo s počasnim slabljenjem in upadom vitalnosti. Proces dobi razsežnosti katastrof, če se znižani podtalnici pridružijo še stoječe poplavne vode (MATIČ 1996). S starostjo dobovih sestojev se vpliv podtalnice na vitalnost povečuje.

V gozdnem kompleksu Murska šuma so današnji dobovi sestoji ostanki večjih veleposestnih gozdov, ki so bili v začetku tega stoletja posekani na golo. Z umetnim pogozdovanjem posek so nastale velike čiste kulture, kjer je uspeval dob dokaj uspešno in tvoril kasneje tudi mešane sestoje. Danes nakazujejo ti gozdovi očitno potrebo po spremembi. Rastišča niso več v stalnem stiku s talno vodo in poplavami, nihanja

klimatskih dejavnikov, sušno podnebje in bližina kmetijskih površin pa zaradi prekomernega vnosa dušika stanje še zaostrejejo.

S poskusom potrjena povezava med stopnjo vitalnosti in gladino podtalnice je potrdila domnevo o vplivu podtalne vode na fiziološko stanje drevja. Fiziološki kazalci stresa so pokazali dobro ujemanje na prizadeti ploskvi, kjer je bila gladina podtalne vode nižja. Podtalnica seveda ni edina, ki vpliva na umiranje drevja, je pa izmed vseh kot dejavnik minimuma najočitnejša. Fiziološko oslABLJENO in z vodo slabše preskrbljeno drevje ima večje možnosti podleganja drugim stresnim dejavnikom, ki v normalnih okoliščinah sicer ne bi delovali uničujoče.

7 SUMMARY

Oak decline is a process which has been periodically repeated ever since the end of the last century. In the last decade it has spread dramatically through the majority of European countries, where oak species are indispensable for economy and ecology alike. In contrast to the recovery of some other tree species, oaks have not improved in health and decline is even increasing.

In European regions, where the process is explicit, causes are strongly linked to interconnected factors such as drought, extreme summer and winter temperatures and lack of precipitation. Emissions, management errors and consequences of a changed water table also play an important role. Physiologically weakened trees become susceptible to many secondary, biologically defined factors, which would not be fatal in other circumstances.

Compared to other European lowland oak forests, the lowland forests in the east of Slovenia are one of most preserved, and the process of decline has not been as intense elsewhere. In the past, eastern Slovenia was densely populated and predominantly agricultural, therefore forests have been severely affected by human interference. Today they are the most changed of all Slovenian forests. Watercourses which formerly caused floods were regulated and thus ceased to flood. This in turn caused changes in ecological conditions, which have a major bearing on oak decline.

By means of water potential, electrical resistance of the cambial zone and defoliation we attempted to define the relationship and effect of a changed water table to the above-mentioned stress indicators. The hypothesis were tested at two permanent plots in the Murska šuma forest complex. At the same time a pot experiment was conducted to define water potential at wilting and permanent stomatal closure point.

The experiment confirmed the hypothesis about groundwater table significance, the results indicated a significant correlation between water potential and groundwater table dynamics, especially on the plot which suffered greater defoliation. There were also significant differences between both plots in water potential, electrical resistance of the cambial zone and defoliation.

Pot experiment showed more negative values than those measured in the field; water conditions in the year 1997 were thus stressful only at the beginning and at the end of the measuring period.

8 VIRI REFERENCES

- ABRAMS, M. D., 1990. Adaptation and Responses to Drought in *Quercus* Species in North America.- Tree physiology, 7, s. 227-238.
- BATIČ, F., 1997. Propadanje hrasta v Sloveniji.- Zaključno poročilo o rezultatih opravljenega znanstveno-raziskovalnega dela na področju temeljnega raziskovanja. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, 46 s.
- BLASCHKE, H., 1994. Changes Caused by Fungus Attack on the Roots of Damaged Pedunculate Oak.- AFZ, 49, 14, s. 775-777.
- BLANCHARD, R. / SHORTLE, W. C. / DAVIS, W., 1983. Mechanism Relating Cambial Resistance to Periodic Growth Rate of Balsam Fir.- Can. J. For. Res., 13, s. 472-480.
- BOGATAJ, N., 1997. Propadanje gozdov v Sloveniji - stanje v letu 1995 in spremembe v obdobju 1985-1995.- Zbornik gozdarstva in lesarstva, 52, s. 53-92.
- ČATER, M., 1997. Poročilo o osutosti hrastov za leta 1995, 1996 in 1997, (neobjavljeno).- Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, 6 s.
- ČUFAR, K., 1990. Električna upornost tkiv, prirastne značilnosti in odziv na poškodbe pri zdravih in obolelih jelkah.- Doktorska disertacija, Ljubljana, Univerza E. Kardelja, VTOZD Lesarstvo, 167 s.

- ČUFAR, K., 1997. Umiranje jelke (*Abies alba* Mill.) v Sloveniji: Pregled raziskav katedre za tehnologijo lesa.- Zbornik gozdarstva in lesarstva, 52, s. 165-186.
- DELATOUR, C., 1983. Les deperissements du Chene en Europe.- Revue Forestiere Francaise, 35, 4, s. 265-282.
- DIXON, M. A. / THOMPSON, R. G. / FENSOM, D. S., 1978. Electrical Resistance Measurements of Water Potential in Avocado and White Spruce.- Can. J. For. Res., 8, s. 73-80.
- DONAUBAUER, E., 1995. Recent Oak Decline and Possible Pathogens.- IUFRO-95 Papers and Abstracts, IUFRO XX World Congress, 6-12 August 1995, Tampere, Finland, <http://www.metla.fi/> 24.3.1997.
- DREYER, E. / BOUSQUET, F. / DUCREY, M., 1990. Use of Pressure Volume Curves in Water Relation Analysis on Woody Shoots: Influence of Rehydration and Comparison of Four European Oak Species.- Ann. Sci. For., 47, 4, s. 285-297.
- DREYER, E. / TARDIEU, F. / SCHULZE, E. D. / STILLER, V. / DIZENGREMEL, S. / SEHMER, L. / LABEL, S., 1995. Regulation of Photosynthetic Activity in Forest Trees During Drought.- Eurosilva - Contribution to Forest Tree Physiology, Paris, s. 339-368.
- EPRON, D. / DREYER, E., 1993. Long term effects of drought on photosynthesis of adult oak trees (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L.) in a natural stand.- New Phytol. 125, s 381-389.
- FERLIN, F., 1993. Variabilnost bioelektričnega potenciala dreves kot možnega kazalnika vpliva endogenih in eksogenih rastnih dejavnikov v bukovih sestojih.- Zbornik gozdarstva in lesarstva, 41, s. 51-80.
- FÜHRER, E., 1992. Der Zusammenhang zwischen der Dürre und der Erkrankung der Traubeneichenbestände in Ungarn.- Forstw. Cbl., 111, s. 129-136.
- HARTMANN, G. / BLANK, R. / LEWARK, S., 1989. Eichensterben in Norddeutschland, Verbreitung, Schadbilder, mögliche Ursachen.- Forst und Holz, 44, 18, s. 475-487.
- HEUKAMP, B., 1989. Eichensterben in Europa nicht neu.- AFZ, 32 (1989), s. 848-849.
- JUNG, T. H. / BLASCHKE, H., 1995. *Phytophthora* Root Rot in Declining Forest Trees.- Proceedings of the International Colloquium on Bioindication of Forest Site Pollution: Development of Methodology and Training. Ljubljana, s. 153-175.
- KIKUTA, S. B. / RICHTER, H., 1992. Leaf Discs or Dress Sap? A Comparison of Techniques for the Determination of Osmotic Potentials in Freeze-thawed Leaf Material.- Jour. of Experimental Botany, 43, 253, s. 1039-1044.

- KOIDE, R. T. / ROBICHAUX, R. H. / MORSE, S. R. / SMITH, C. M., 1991. Plant Water Status, Hydraulic Resistance and Capacitance.- Plant Physiological Ecology, Chapman and Hall, London, s. 161-183.
- KOMLENOVIĆ, N., 1996. Cambial Electrical Resistance as an Indicator of Condition and Nutritional Status of Pedunculate Oak and Sessile-flowered Oak.- Anali za šumarstvo, 21/1, 22 s.
- KOVAČ, M. / SIMONČIČ, P. / BOGATAJ, N. / BATIČ, F. / JURC, D. / HOČEVAR, M., 1995. Monitoring propadanja gozdov in gozdnih ekosistemov – priročnik za terensko snemanje podatkov.- Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, 64 s.
- KOZŁOWSKI, T. T., 1981. Water Deficits and Plant Growth.- Vol. VI., New York, Academic press, 582 s.
- KOZŁOWSKI, T. T., 1982. Water Supply and Tree Growth.- For. Abstr., 43, s. 57-95.
- KREUTZER, K., 1992. Forest Response to a Changing Environment - Central and Northern European Aspects.- V: Teller, A., Mathy, S., Jeffers, J.N.R., (editors): Responses of Forest Ecosystems to Environmental Changes, Elsevier, London, s. 279-297.
- 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, Univerza v Ljubljani, BF, Odd. za lesarstvo, 168 s.
- LARCHER, W., 1995. Physiological Plant Ecology. Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups.- Berlin, Springer-Verlag, 506 s.
- LEVANIČ, T., 1993. Vpliv melioracij na rastne in prirastne značilnosti črne jelše (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), ozkolistnega jesena (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) in doba (*Quercus robur* L.) v Prekmurju.- Magistrsko delo, Ljubljana, BF, Odd. za gozdarstvo, 114 s.
- LIN, R. T., 1965. A Study on the Electrical Conduction on Wood.- For. Prod. J., 1511, s. 506-514.
- MATIĆ, S., 1996. Uzgojni radovi na obnovi i njezi sastojina hrasta lužnjaka.- V: Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj, Vinkovci-Zagreb, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, 559 s.
- NÄVEKE, S. / MEYER, F. H. 1990. Feinwurzelsysteme unterschiedlich geschädigter Eichen im Lappwald.- AFZ, 16, (1990), s. 382-384.
- NEWBANKS, D. / TATTAR, T. A., 1982. Electrical Resistance and Stem Water Relations in *Verticillium* - Infected Red Maple. Eur. J. For. Path., 12, 2, s. 113-123. OEPP – Bulletin, 1990. 20: 3, s. 405-422.

- PETRESCU, M., 1974. Le Deperissement du Chene en Roumanie.- Eur. J. For. Path., 4, s. 222-227.
- PICON, C. / GUEHL, J. M. / AUSSENAC, G., 1996. Growth Dynamics, Transpiration and Water-use Efficiency in *Quercus robur* Plants Submitted to Elevated CO₂ and Drought.- Ann. Sci. For., 53, 2-3, s. 431-446.
- PRPIĆ, B., 1996. Propadanje šuma hrasta lužnjaka.- V: Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj, Vinkovci-Zagreb, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, 559 s.
- PRYZBYL, K., 1989. Wpływ warunków klimatycznych na zamieranie debow w Polsce oraz symptomy choroby.- Arboretum Kornickie, 34, s. 143-160.
- ROBIČ, D. / TORELLI, N. / ČUFAR, K., 1990. Meritve električne upornosti aktivnih tkiv kot kazalca cenotskega statusa in stopnje poškodovanosti drevja zaradi onesnaževanja zraka.- GozdV, 51, 2, s. 74-79.
- RÖSEL, K. / REUTHER, M., 1995. Differentialdiagnostik der Schäden an Eichen in der Donauländern.- Schlußbericht, GSF Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, GmbH, Oberschleißheim, 381 s.
- RYKOWSKI, K., 1995. Current Pathogen-Host Stress Conditions in Eastern Europe.- IUFRO-95 Papers and Abstracts, IUFRO XX World Congress, 6-12 August 1995, Tampere, Finland, <http://www.metla.fi/24.3.1997>.
- SALISBURY, F. B. / ROSS, C. W., 1992. Plant Physiology.- Belmont, California, Wadsworth Publishing Company, 682 s.
- SCHÜTT, 1987. Eichenvergilbung - eine neue, noch ungeklärte Krankheit der Stieleiche in Süddeutschland.- Österreichische Forstzeitung, 3 (1987), s. 60-62.
- SIWECKI, R. / UFNALSKI, K., 1995. Oak Stand Decline and Climate Change.- UFRO-95 Papers and Abstracts, IUFRO XX World Congress, 6-12 August 1995, Tampere, Finland, <http://www.metla.fi/24.3.1997>.
- SMOLEJ, I. / HAGER, H., 1995. Oak decline in Slovenia, Endbericht über die Arbeiten, Final report.- Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, 99 s.
- ŠOLAR, M., 1977. Poškodbe gozdov vsled onesnaženja zraka.- Elaborat št.118, Ljubljana, IGLG s.1-7.
- ŠOLAR, M., 1991. Popis poškodovanosti gozdov v Sloveniji leta 1990.- GozdV 49, 5, s. 234-239.
- TAIZ, L. / ZEIGER, E., 1991. Plant Physiology.- Redwood City, Ca., USA The Benjamin/Cummings publishing Co. Inc., 565 s.
- THOMPSON, R. G. / McISAAC, 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.

- TORELLI, N. / KRIŽAJ, B., 1991. Bioelektrična določitev kondicije navadne jelke (*Abies alba* Mill.) in prognoziranje preživetja v območju z zračno polucijo.- Biološki vestnik, 39, 4, s. 49-62 .
- TORELLI, N. / ROBIČ, D. / ZUPANČIČ, M. / OVEN, S. / 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.
- TRIBOULOT, M. B. / FAUVEAU, M. L. / BREDĀ, N. / LABEL, S. / DREYER, E., 1996. Stomatal Conductance and Xylem-sap Abscisic Acid (ABA) in Adult Oak Trees During a Gradually Imposed Drought.- Ann. Sci. For., 53, 2-3, s. 207-220.
- TYREE, M. T. / COCHARD, H., 1996. Summer and Winter Embolism in Oak: Impact on Water Relations.- Ann. Sci. For., 53, 2-3, s. 173-180.
- VARGA, F., 1987. Erkrankung und Absterben der Bäume in den Stieleichenbeständen Ungarns.- Osterreichische Forstzeitung, 3 (1987), s. 57-58.
- VIVIN, S. / GUEHL, J. M. / CLEMENT, A. / AUSSENAC, G. / 1996. The Effects of Elevated CO₂ and Water Stress on Whole Plant CO₂ Exchange, Carbon Allocation and Osmoregulation in Oak Seedlings.- Ann. Sci. For., 53, 2-3, s. 447-459.
-