

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Vodarstvo in
komunalno inženirstvo

Kandidatka:

Kristina Raspor

Meritve in analiza transpiracije listnatega gozda na povodju Dragonje

Diplomska naloga št.: 84

Mentor:
prof. dr. Mitja Brilly

Somentor:
doc. dr. Mojca Šraj

Ljubljana, 21. 6. 2007

ERRATA

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana **KRISTINA RASPOR** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:
**»MERITVE IN ANALIZA TRANSPIRACIJE LISTNATEGA GOZDA NA POVODJU
DRAGONJE«.**

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL,
Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 21. junij 2007

IZJAVA O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 556.13:630*(282.249Dragonja)(043.2)
Avtor: Kristina Rapor
Mentor: prof. dr. Mitja Brilly
Somentor: asist. dr. Mojca Šraj
Naslov: Meritve in analiza transpiracije listnatega gozda na povodju Dragonje
Obseg in oprema: 88 str., 12 pregl., 51 sl., 22 en.
Ključne besede: transpiracija, gozdna hidrologija, okoljski dejavniki, transpiracijski pretok, terenske meritve

Izvleček

Diplomska naloga je del obsežnega znanstveno-raziskovalnega projekta, ki ga od leta 1999 izvajata univerza Vrije Universiteit iz Amsterdama in Univerza v Ljubljani. Za eksperimentalno povodje je bilo izbrano povodje Dragonje, ki je zanimivo zaradi zanimivih naravnih procesov zaraščanja površin z gozdom v zadnjih desetletjih. Odzivi gozda na spreminjanje okoljskih dejavnikov se odražajo v skupnem obnašanju njihovih sestojnih drevesnih vrst. Preučevani so bili vplivi spreminjanja okoljskih dejavnikov na transpiracijo na nivoju dveh gozdnih sestojev raziskovalnih ploskev: vpliv temperature zraka (T_z), deficita tlaka vodne pare (VPD), prispelega kratkovalovnega sončnega sevanja (R_{si}), temperature tal (T_{tal}) in volumske vsebnosti vode v tleh (θ). Meritve so potekale v vegetacijskem obdobju v letih 2003 in 2004, na dveh submediteranskih gozdnih listopadnih ploskvah. Sorazmeren prispevek vsake drevesne vrste k transpiraciji gozdnega sestoja je bil odvisen predvsem od razmerja površine beljave glede na površino tal. Razlike med drevesnimi vrstami so bile v primerjavi z razlikami med ploskvama zanemarljive. Transpiracija se je med ploskvama in letoma pomembno razlikovala; povprečne vrednosti transpiracije so bile na Severu in Jugu za leto 2003 0.7 in 1.0 mm dan⁻¹, za leto 2004 pa 2.2 in 1.9 mm dan⁻¹. Odkloni med ploskvama so bili poleg različnega vegetacijskega pokrova večinoma posledica razlik v temperaturi zraka, deficitu tlaka vodne pare in vsebnosti vlage v tleh. Vpliv suše na transpiracijo sestoja je bil večji na severni kot na južni ploskvi.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 556.13:630*(282.249Dragonja)(043.2)
Author: Kristina Rapor
Supervisor: prof. dr. Mitja Brilly
Co Supervisor: asist. dr. Mojca Šraj
Title: Measurements and analysis of transpiration of deciduous forest on Dragonja catchment
Notes: 88 p., 12 tab., 51 fig., 22 eq.
Key words: transpiration, forest hydrology, environmental conditions, sap flow, field measurements

Abstract

This work is a part of an extensive scientific-research project, which has been carried out by Vrije University from Amsterdam and University of Ljubljana since 1999. The Dragonja catchment was chosen as an experimental catchment, since it is interesting due to intensive natural reforestation in the last decades. Responses of forest to changes in environmental conditions reflect the integrated behavior of their constituent species. We investigated sap flow-scaled transpiration responses of two experimental sites to changes in air temperature (T_z), vapor pressure deficit within the canopy (VPD), income short-wave solar radiation (R_{si}), soil temperature (T_{tal}) and volumetric water content (θ). The field investigations were carried during two growing seasons in years 2003 and 2004, on two sub-Mediterranean deciduous forest stands. The relative contribution of each species to stand transpiration was driven largely by sapwood area per unit ground area and to a much lesser extent by species-specific differences in daily water use. We found significant differences in stand transpiration (E_t) among stands and years; average values for 2003 were 0.7 and 1.0 mm day⁻¹, and for 2004 were 2.2 and 1.9 mm day⁻¹ at North and South respectively. The site-related decline was driven mainly by a differences of air temperature, vapor pressure deficit and soil moisture content. The drought effect in 2003 was greater on North compared to South.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju prof. dr. M. Brillyju, somentorici asist. dr. M. Šraj za pomoč in vložen trud pri nastajanju diplomske naloge. Posebna zahvala dr. Christiaan van der Tol za sodelovanje pri meritvah ter za vse napotke in nasvete.

Zahvalila bi se tudi svoji družini, ki mi je vsa leta študija stala ob strani.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
1.1 Predstavitev problema	1
1.2 Cilj diplomske naloge	3
2 KROŽENJE VODE V GOZDU IN TRANSPIRACIJA.....	4
2.1 Kroženje vode v gozdu	4
2.1.1 Gozdni hidrološki krog	4
2.1.2 Vodna bilanca v gozdu	7
2.1.2.1 Padavine	8
2.1.2.2 Evapotranspiracija	8
2.1.2.3 Odtok	10
2.1.2.4 Vsebnost vlage v tleh.....	11
2.2 Transpiracija	11
2.2.1 Pomembnost vode za rastline	12
2.2.2 Gibanje vode v rastlinah	12
2.2.3 Princip gibanja vode v rastlini	15
2.2.4 Transpiracija ob pojavu suše	15
3 MERITVE IN METODE.....	17
3.1 Osnovne značilnosti povodja Dragonje.....	17
3.1.1 Geografske značilnosti	17
3.1.2 Geologija in pedologija	18
3.1.3 Demografske značilnosti in raba tal	18
3.1.4 Podnebje	19
3.1.5 Spreminjanje podnebja in hidroloških lastnosti povodja.....	21
3.1.6 Lastnosti gozdne vegetacije.....	23
3.2 Raziskovalni ploskvi v gozdu.....	23
3.3 Instrumenti in meritve	27
3.3.1 Količina padavin nad drevesnimi krošnjami	29
3.3.2 Temperatura in vlažnost zraka.....	30
3.3.3 Sončno obsevanje	30
3.3.4 Temperatura in vlažnost tal	31
3.3.5 Transpiracija	32

3.3.5.1 Metoda Granier	33
3.3.5.1.1 Razlaga metode in principi meritve	33
3.3.5.2 Izvajanje meritev	35
3.3.6 Metode izračunov	39
3.3.6.1 Metoda izračuna deficita tlaka vodne pare	39
3.3.6.2 Metoda izračuna volumske vsebnosti vlage v tleh.....	40
3.3.6.3 Metoda izračuna transpiracije	41
3.3.6.3.1 Metoda Granier	41
3.3.6.3.2 Metoda izračuna faktorja površine beljave f_A	42
3.3.6.3.3 Srednja vrednost transpiracijskega pretoka.....	45
3.3.6.3.4 Transpiracijski pretok in tok latentne toplote transpiracije.....	46
3.3.6.3.5 Kumulativni transpiracijski pretok.....	47
4 REZULTATI IN ANALIZA	48
4.1 Transpiracija posameznih dreves in drevesnih vrst na severni in južni ploskvi za rastno obdobje 2004.....	48
4.1.1 Povprečna hitrost transpiracijskega toka.....	48
4.1.2 Kumulativni graf transpiracijskega pretoka	50
4.1.3 Vpliv starosti sestoja severne in južne ploskve na transpiracijski pretok	52
4.2 Transpiracija sestoja na severni in južni ploskvi v rastnih obdobjih 2003 in 2004	53
4.3 Vpliv okoljskih dejavnikov na transpiracijo sestoja	57
4.3.1 Padavine	61
4.3.2 Temperatura in vlažnost zraka	62
4.3.3 Sončno obsevanje.....	70
4.3.4 Temperatura in vlažnost tal.....	73
5 ZAKLJUČKI.....	80
VIRI.....	83
Uporabljeni viri.....	83
Ostali viri	87

KAZALO SLIK

Slika 1. Kroženje vode na gozdnem zemljišču (Smolej, 1988: 188).....	4
Slika 2: Potovanje vode po celicah ksilema (http://www.phschool.com/science/biology_place/labbench/lab9/xylem.html)	13
Slika 3: Potovanje molekul vode skozi liste v atmosfero (http://www.phschool.com/science/biology_place/labbench/lab9/transpull.html)	14
Slika 4: Posnetek odprte in zaprte listne reže (povzeto po van Dijk, str. 50).....	14
Slika 5: Povodje Dragonje in položaj merskih ploskev (povzeto po van der Tol, 2007, str. 11.)	17
Slika 6: Gostota prebivalstva (število prebivalcev na km ²) med 1860 in 1995 in pokrovnost oz. raba tal (delež kategorije) med 1954 in 2002 (povzeto po van der Tol, 2007, str. 12.)	19
Slika 7: Meteorološke spremenljivke izmerjene na meteorološki postaji Boršt na povodju reke Dragonje med oktobrom 2000 in oktobrom 2004 ter dolgoročna povprečja (Ogrin, 1995). Levo: mesečne vrednosti kratkovalovnega sevanja navzdol (polna črta) in 20-letne povprečne vrednosti izmerjene na bližnji meteorološki postaji v Kopru (+). Desno: mesečne padavine (polni stolpci) in 30-letno povprečje izmerjeno na bližnjo postaji v Koštaboni (prazni stolpci), povprečna mesečna temperatura (polna črta), in povprečna dnevna minimalna in maksimalna temperatura (pikčasta črta), in 30-letno povprečje izmerjeno na bližnji postaji v Kubedu (+) (povzeto po van der Tol, 2007, str. 15.)	20
Slika 8: Zgoraj: letne padavine (<i>P</i>) izmerjene na postaji Portorož in odtok (<i>Q</i>) v Jadransko morje izmerjen na postaji Pod Kaštel blizu izliva med leti 1960 in 2000. Na sredini: izhlapevanje (<i>E</i>) kot razlika med padavinami (<i>P</i>) in odtokom (<i>Q</i>). Spodaj: razmerje med odtokom (<i>Q</i>) in padavinami (<i>P</i>). Polne črte so 5-letna gibljiva povprečja (Povzeto po van der Tol, 2007, str. 16.)	22
Slika 9: Pogled na severno (Sever) in južno (Jug) raziskovalno ploskev in vasico Labor.....	23
Slika 10: Zastopanost posameznih drevesnih vrst na severni in južni raziskovalni ploskvi	25
Slika 11: Vertikalni profili zrnivosti tal na severni in južni gozdni ploskvi. Glina: < 2µm, melj: 2 do 50 µm, pesek: 50 µm do 2 mm (povzeto po van der Tol, 2007, str. 20.)	26

Slika 12: Povprečne dnevne padavine in prepuščene padavine (mm d^{-1}) na severni in južni gozdni ploskvi med 2001 in 2004. Vrednost za posamezno leto je povprečje od 1. novembra prejšnjega leta do 31. oktobra.	27
Slika 13: Hellmanov dežemer (levo), ombrograf in sončne celice (desno)	29
Slika 14: Merjenje neto sevanja, dosepelega in odhodnega kratkovalovnega sevanja, neto sevanja, dosepelega in odhodnega dolgovalovnega sevanja, temperature, relativne vlažnosti zraka ter hitrosti in smeri vetra na meteorološki postaji Sveti Štefan	31
Slika 15: Senzorji za merjenje vlažnost zemlje na različnih globinah.....	32
Slika 16: Princip metode Granier.....	34
Slika 17: Senzorji na vzhodni in zahodni strani debla na višini 1.3 m, t.i. »breast high«	37
Slika 18: Zaščita senzorjev pred mehanskimi poškodbami s stiroporjem	38
Slika 19: Zaščita senzorjev pred zunanjim segrevanjem z aluminijasto folijo	38
Slika 20: Del merilne opreme je tudi zapisovalec podatkov, ki zapisuje in shranjuje izmerjene podatke v izbranih časovnih razmikih	39
Slika 21. Slika aktivnih ksilemskih žil pri navadnem gabru.....	43
Slika 22: Povprečne hitrosti transpiracijskega toka v odvisnosti od obsega debel za posamezne drevesne vrste za severno in južno ploskev	49
Slika 23: Povprečne hitrosti transpiracijskega toka v odvisnosti od obsega debel za severno in južno ploskev	50
Slika 24: Kumulativni graf E_t za severno in južno ploskev po posameznih vrstah od 14. maja do 10. septembra 2004	51
Slika 25: Tok latentne toplote transpiracije (λE) v odvisnosti od vsebnosti vlage v tleh (θ) za posamezne drevesne vrste na severni in južni ploskev za 2004.	52
Slika 26: Spreminjanje dnevnih povprečij transpiracijskega pretoka na nivoju sestoja (E_t) na severni in južni ploskvi iz meritev v letu 2003	54
Slika 27: Spreminjanje dnevnih povprečij transpiracijskega pretoka na nivoju sestoja (E_t) na severni in južni ploskvi iz meritev v letu 2004	54
Slika 28: Dnevno spreminjanje transpiracijskega pretoka na nivoju sestoja (E_t) za Sever (o) in Jug (+) za tri različne poletne dneve za leto 2003	56
Slika 29: Dnevno spreminjanje transpiracijskega pretoka na nivoju sestoja (E_t) za Sever (o) in Jug (+) za tri različne poletne dneve za leto 2004	56

Slika 30: Polurne vrednosti okoljskih dejavnikov v opazovanem vegetacijskem obdobju 2003: (a) temperatura zraka (T_z), (b) relativna zračna vlaga (Rh), (c) dospelo kratkovalovno sončno obsevanje (R_{si}), (d) hitrost vetra (u), (e) padavine (P), (f) temperatura tal (T_{tal}), in (g) volumska vsebnost vlage v tleh (θ).....	58
Slika 31: Polurne vrednosti okoljskih dejavnikov v opazovanem vegetacijskem obdobju 2004: (a) temperatura zraka (T_z), (b) relativna zračna vlaga (Rh), (c) dospelo kratkovalovno sončno obsevanje (R_{si}), (d) hitrost vetra (u), (e) padavine (P), (f) temperatura tal (T_{tal}), in (g) volumska vsebnost vlage v tleh (θ).....	59
Slika 32: Mesečne vrednosti padavin nad krošnjami P za leti 2003 in 2004	62
Slika 33: Spreminjanje dnevnih povprečij temperature zraka (T_z) za severno (o) in južno (+) ploskev v rastnem obdobju 2003.....	63
Slika 34: Spreminjanje dnevnih povprečij temperature zraka (T_z) za severno (o) in južno (+) ploskev v rastnem obdobju 2004.....	63
Slika 35: Dnevni potek polurnih vrednosti toka latentne toplote transpiracije (λE) za severno	64
Slika 36: Dnevni potek polurnih vrednosti toka latentne toplote transpiracije (λE) za severno	64
Slika 37: Spreminjanje toka latentne toplote transpiracije (λE) s temperaturo zraka (T_z) za severno (o) in južno (+) ploskev za rastni obdobji 2003 in 2004	65
Slika 38: Spreminjanje dnevnih povprečij deficita tlaka vodne pare (VPD) za severno (o) in južno (+) ploskev v rastnem obdobju 2003	67
Slika 39: Spreminjanje dnevnih povprečij deficita tlaka vodne pare (VPD) za severno (o) in južno (+) ploskev v rastnem obdobju 2004	67
Slika 40: Dnevni potek polurnih vrednosti toka latentne toplote transpiracije (λE) za severno	68
Slika 41: Dnevni potek polurnih vrednosti toka latentne toplote transpiracije (λE) za severno	68
Slika 42: Spreminjanje toka latentne toplote transpiracije (λE) z deficitom tlaka vodne pare (VPD) za severno (o) in južno (+) ploskev za rastni obdobji 2003 in 2004	69

Slika 43: Dnevno spreminjanje kratkovalovnega doselega sevanja (R_{si}) (---) in toka latentne toplote transpiracije (λE) na severni (o) in južni (+) ploskvi za tri različne poletne dneve za rastno obdobje 2003	71
Slika 44. Dnevno spreminjanje kratkovalovnega doselega sevanja (R_{si}) (---) in toka latentne toplote transpiracije (λE) na severni (o) in južni (+) ploskvi za tri različne poletne dneve za rastno obdobje 2004	72
Slika 45: Spreminjanje toka latentne toplote transpiracije (λE) s kratkovalovnim dospelim sevanjem (R_{si}) za severno (o) in južno (+) ploskev za rastni obdobji 2003 in 2004 ...	73
Slika 46: Nihanje temperature zraka (___) in temperature tal na globinah 1, 2 in 5 cm na južni (___) ploskvi med 10. in 30. julijem za rastno obdobje 2003.....	74
Slika 47: Nihanje temperature zraka (___) in temperature tal na globinah 1, 2 in 5 cm na severni (___) in južni (___) ploskvi med 10. in 30. julijem za rastno obdobje 2004	74
Slika 48: Spreminjanje dnevnih povprečij volumske vsebnosti vlage v tleh (θ) za severno (o) in južno (+) ploskev za rastni obdobji 2003 in 2004.....	77
Slika 49: Dnevni potek polurnih vrednosti toka latentne toplote transpiracije (λE) za severno	78
Slika 50: Dnevni potek polurnih vrednosti toka latentne toplote transpiracije (λE) za severno	78
Slika 51: Razmerje med dnevnim transpiracijskim pretokom (E_t) in dnevno volumsko vsebnostjo vlage v tleh (θ) za severno (o) in južno (o) ploskev za rastni obdobji 2003 in 2004.....	79

1 UVOD

1.1 Predstavitev problema

V svetu potrebe po vodi naraščajo: v nekaterih predelih zaradi silovitega povečevanja števila prebivalstva, v drugih z večanjem standarda. Optimizacija vodnih virov postaja vse pomembnejša (van Dijk, 2003). Vodni viri, njihovo delovanje in zahteve po varstvu so v razvitejšem svetu eden izmed najbolj občutljivih in razvojno omejitvenih naravnih dejavnikov. Zato pripravljajo dolgoročne programe gospodarjenja z gozdovi, ki naj poleg mnogih drugih funkcij služijo tudi optimalni, trajni in kakovostni proizvodnji vode. Glede na omejenost in občutljivost vodnih virov se moramo najprej lotiti načrtnih raziskav, opredelitev in vrednotenja hidrološke vloge gozdov in drugega naravnega prostora, rezultate pa postopno vključevati v sistem načrtnega gospodarjenja z gozdovi in vodo ter v prostorsko-krajinsko načrtovanje, opozarja Čampa (1994) in navaja najaktualnejše izzive, s katerimi se srečujemo pri samem razumevanju odnosa med vodo in gozdom ter nadaljnjem ravnanju s tema dvema naravnima bogastvoma. Eden med njimi je tudi spreminjanje gozdnovegetacijske odeje in njenega hidrološkega delovanja (Wilson, 2000). Prav ta problematika je povod pričujočega diplomskega dela.

Meritve zadnjih 40 let so pokazale, da se na povodju Dragonje spreminjajo tako padavine kakor tudi pretoki (Globevnik, 2001) in namigujejo na trend zmanjševanja padavin in odtoka in večanje izhlapevanja. Postavlja se vprašanje, kaj je vzrok za povečanje izhlapevanja: spremenjena pokritost tal ali povečano potencialno izhlapevanje kot rezultat višjih temperatur in močnejšega sončnega obsevanja. Globevnikova (2001) ugotavlja, da je večji obseg poraščenih površin povzročil zmanjšanje pretokov reke Dragonje, tako minimalnih, srednjih kot maksimalnih, kar pa je v nasprotju s splošno predstavo o pozitivnem vplivu gozda na vodni režim (Šraj, 2003). Pogozdovanje naj bi izboljšalo infiltracijske sposobnosti zemljine in s tem povečalo minimalne pretoke, razen če je poraba vode rastočega gozda prevelika (Šraj, 2003). Tudi dinamika pretokov reke Dragonje se je v zadnjih desetletjih močno zmanjšala, zmanjšale so se pogostosti nastopanja in višine visokovodnih konic, zaznaven je trend

zmanjševanja odtoka vode s povodja (Šraj, 2003). Globevnikova (2001) poudarja, da so trendi meteoroloških sprememb (padavin, temperature, sončnega obsevanja in potencialne evapotranspiracije) veliko manjši kot trendi sprememb pretokov in da je zmanjšanje pretokov v povodju Dragonje posledica velike spremembe rabe tal v zelo kratkem obdobju.

Središče opazovanja ene od vej hidrologije, t.i. gozdne hidrologije, je vzajemen odnos med gozdom oz. rastlinami in vodo. Po Smoleju (1988) hidrologija gozda preučuje kroženje vode na z gozdom poraščenih površinah. Preučuje poti in načine prehajanja vode iz ozračja skozi gozdni ekosistem v tla, podtalnico in površinske vode ter vračanje vode nazaj v ozračje. Zanimajo jo količinski in kakovostni odnosi med kroženjem vode in gozdom. Ena izmed komponent gozdnega vodnega kroga je transpiracija. Wullschleger (1998) poudarja, da prav njeno poznavanje postaja v gozdni hidrologiji vedno pomembnejše, ker nam pomaga pri upravljanju z vodnimi viri, ocenjevanju hidrološke vloge različnih vegetacijskih pokrovov v gozdu, ter določanju količine porabe vode v gozdu.

Diplomska naloga je del širše raziskovalne dejavnosti na povodju reke Dragonje, ki so se začele leta 2000 in se še nadaljujejo. Raziskave so rezultat skupnega projekta Vrije Universiteit Amsterdam, Inštitutom za vode RS ter Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Diplomsko delo je nastalo v sodelovanju s Christiaanom van der Tol, podiplomskim študentom na Vrije Universiteit v Amsterdamu, ki je v okviru svoje doktorske disertacije razvil nov model vodne in energijske bilance. Obseg meritev, ki je predstavljen v diplomskem delu, se je izvajal v letih 2003 in 2004. Podatki so se pridobivali na štirih raziskovalnih ploskvah v gozdu in eni meteorološki postaji in osmih vodomernih postajah. Diplomska naloga je omejena na dve gozdni merilni raziskovalni ploskvi (Sever in Jug) in analizo vpliva okoljskih dejavnikov na transpiracijo.

Izbor let 2003 in 2004 nam je omogočil analizo transpiracije in vpliv okoljskih dejavnikov nanjo v izbranih gozdnih sestojih v ekstremnih razmerah; v sušnih razmerah v vegetacijskem obdobju leta 2003 ter v običajno do nadpovprečno mokrem vegetacijskem obdobju v letu 2004.

Sever in Jug sta zaradi njune majhne medsebojne oddaljenosti ter podobnih rastlinskih in talnih lastnosti zelo dragoceni raziskovalni ploskvi. Ker severna ploskev leži na osojnim pobočju, južna pa na prisojnem, se med seboj opazno razlikujejo v podnebnih pogojih (Šraj, 2003). Zato ponujata zelo dobre pogoje za analizo porabo vode dveh submediteranskih gozdnih sestojev, ki se med seboj razlikujeta v mikroklimatskih pogojih.

Že v predhodnih študijah je bilo na istih dveh raziskovalnih ploskvah ugotovljeno razlikovanje v posameznih hidroloških, mikroklimatskih in biokemijskih pogojih. Tako Šrajeva (2003) na osnovi meritev in bilančne enačbe ugotavlja, da za sezono 2000/2001 znašajo povprečne letne izhlapele prestrežene padavine 28.4% za južno in 25.4% za severno ležeče pobočje. Za sezono 2002/2003 je Padežnik (2004) na istih ploskvah izmeril na južnem pobočju za 15% nižji indeks listne površine kot na severnem. Isti dve ploskvi sta bili v obdobju rasti 2004 vključeni v doktorsko študijo van der Tol-a (2005), ki podaja ocene biokemijskih spremenljivk, različne za severno in južno pobočje, obe nižji na jugu kot na severu: povprečna koncentracija dušika v listih za 16 % in razlikovanje izotopa ^{13}C za 5%.

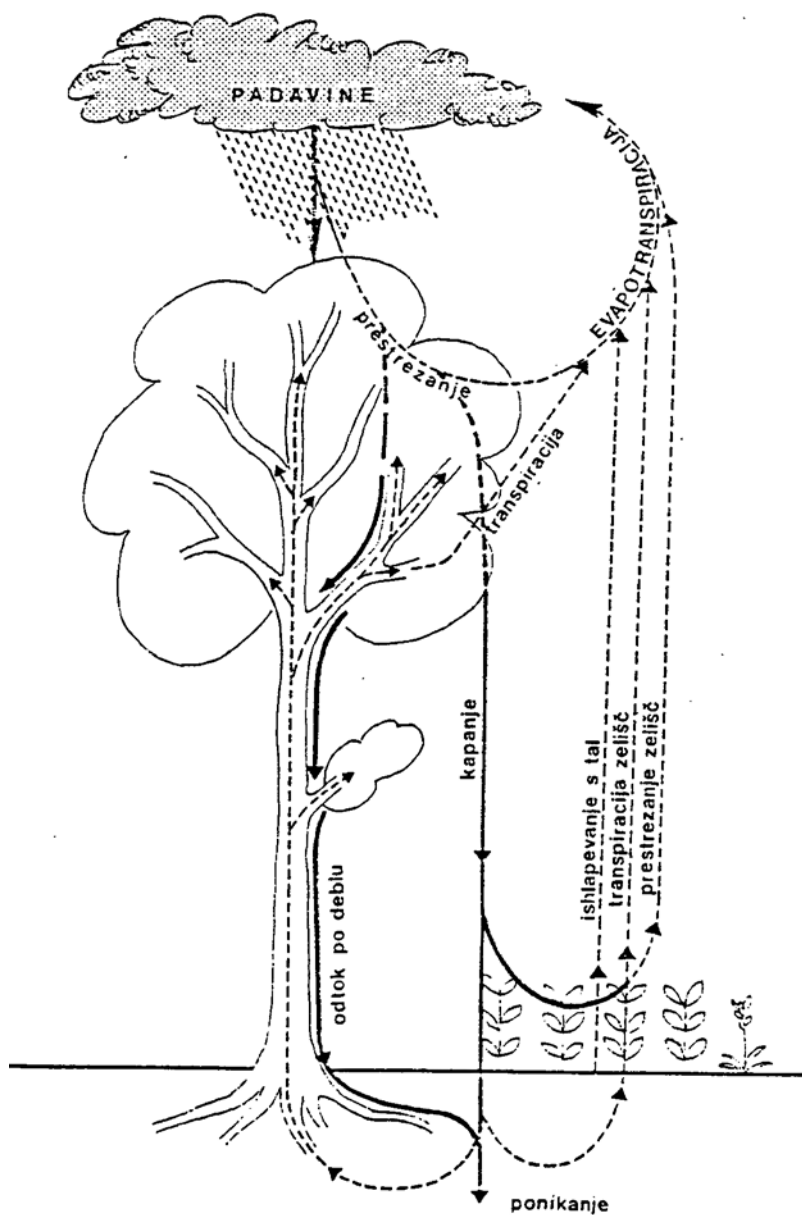
1.2 Cilj diplomske naloge

Glavna cilja naše raziskave sta bila (i) primerjati transpiracijo dveh gozdnih sestojev na prisojni in osojni legi v letih 2003 in 2004 ter (ii) prepoznati in količinsko določiti okoljske vplive in vzroke za razlike v transpiraciji. Osnova so bile meritve toka drevesnega soka v deblih med dvema sledečima si rastnima dobama pod različnimi hidrološkimi pogoji.

2 KROŽENJE VODE V GOZDU IN TRANSPIRACIJA

2.1 Kroženje vode v gozdu

2.1.1 Gozdni hidrološki krog



Slika 1. Kroženje vode na gozdnem zemljišču (Smolej, 1988: 188)

Hidrološki krog tako sestavljajo: padavine, prestrezanje, evapotranspiracija, infiltracija, površinski odtok, bogatenje podtalnice in stekanje v vodotoke. Ta krog poganjata sončna energija in sila teže (van Dijk, 2003). Tako sestavlja zapleten termodinamični sistem zemlje (Brilly in Šraj, 2000). Sončna energija oblikuje podnebje in usmerja vodni krog. Nanj vplivajo še drugi dejavniki, kot so pokrovnost tal in ostale spremembe; nekatere tudi posledica človekovega delovanja, npr. koncentracija CO₂ v atmosferi. Koliko sončnega sevanja bo prispelo do Zemlje, je odvisno od razdalje med njima, valovna dolžina sevanja pa je odvisna od temperature telesa, ki seva. Poznamo kratkovalovno in dolgovalovno sevanje; kratkovalovno prihaja neposredno od sonca, medtem ko dolgovalovno sevajo zaradi sonca segreta telesa (atmosfera, oceani in površina). V dolgovalovno sevanje se pretvori kar 70% sončne energije, ki se kot taka vrne v vesolje in dopolnjuje kroženje energije med zemeljsko površino in ozračjem. Kroženje poleg kratko- in dolgovalovnega sevanja sestavljata še tok zaznavne toplote (prenos toplote s kondukcijo in konvekcijo zraka) in tok latentne toplote (energija, ki je bila porabljena za izhlapevanje). Prav tok latentne toplote, skrit v vodni pari, poudarja van Dijk (2003), omogoča pomembno povezavo med hidrološkim krogom in globalno energijsko bilanco. Pojav in dinamika kroženja vode v naravi (hidrološki krog) sta bila znana že v starem veku. Zaradi pomanjkljive merilne opreme se danes še vedno srečujemo z vrsto neznank pri določanju količin vode in pretoka vode v posameznih delih hidrološkega kroga (Brilly in Šraj, 2000).

Vir vode na gozdnatem zemljišču (Slika 1) so padavine (P). Ko padejo na gozd, zadevajo ob drevje ali pa skozi odprtine med krošnjami padejo naravnost na tla, opisuje Smolej (1988). Del prestreženih padavin se v krošnjah zadrži in izhlapeva nazaj v ozračje, ostale pa se ali stekajo po listih in kapljajo na tla ali pa se kot t.i. odtok po deblu (S_f) stekajo z listov po vejicah in vejah do debla in po njem na tla. Enako se s padavinami dogaja tudi v plasti grmovja in pritalnega rastlinja. Znatna količina padavin zato sploh ne doseže tal, ker med nalivom in takoj po njem izhlapi v ozračje - imenujemo jo izhlapele prestrežene padavine (E_i). Ker padavin, ki padejo skozi odprtine med krošnjami in listi, ter padavin, ki kasneje prikapljujejo na tla, ne moremo meriti ločeno, jih obravnavamo skupaj kot prepuščene padavine (T_f) (Šraj, 2003). Če količina vseh padavin, ki dosežejo tla ($T_f + S_f =$ neto padavine), preseže infiltracijsko kapaciteto zemljine, višek odteče kot Hortonov površinski odtok, oz.

infiltracijski presežek (Šraj, 2003). Zaradi navadno zelo velike infiltracijske kapacitete organske zemljine v večini gozdov je ta vrsta odtoka redka (Šraj, 2003).

$$P = T_f + S_f + E_i \rightarrow E_i = P - (T_f + S_f) \quad \text{Enačba 1}$$

kjer je

P padavine (mm)

T_f količina padavin, ki padejo skozi odprtine med krošnjami in listi neposredno na tla
in padavin, ki kasneje prikapljujejo s krošenj do tal (mm)

S_f odtok po deblu (mm)

E_i izhlapevanje prestreženih padavin z mokrih krošenj (mm)

Vsa voda, ki se infiltrira v tla, nikakor ne pride na dan v izvirih vodotokov. Velik del je namreč porabi rastlinje, ki jo vračajo v atmosfero skozi proces transpiracije (E_t) (Bruijnzeel, 2000). Ta skupaj z izhlapevanjem prestreženih padavin z mokre površine krošenj (E_i), ter delom padavin, ki iz gozdnih tal izhlapi (E_s), tvori celotno evapotranspiracijo (ET). Iz zemljine in stelje, ki pokrivata gozdna tla, izhlapi le malo vode, posebno v gostih gozdovih, kjer do tal ne prodre veliko sončnega sevanja in je vlažnost velika (Bruijnzeel, 2000).

Razlikovati in ločiti moramo proces transpiracije (E_t) od procesa izhlapevanja prestreženih padavin z mokrih krošenj E_i , saj prvega vodi kontrola listnih rež, drugega pa aerodinamične lastnosti vegetacije (Bruijnzeel, 2000).

$$ET = E_i + E_t + E_s \quad \text{Enačba 2}$$

kjer je

ET evapotranspiracija (mm)

E_i izhlapevanje prestreženih padavin z mokrih krošenj (mm)

E_t transpiracija (mm)

E_s izhlapevanje s tal in stelje (mm)

2.1.2 Vodna bilanca v gozdu

Vodna bilanca je količinsko razmerje med dotokom in odtokom vode v določenem času na določenem prostoru in je nujen instrument za smotrno ravnanje z vodo, na kar opozarjajo nihanja razpoložljivih količin, različne razmere po porečjih, vodne ujme od poplav do suš ter različna oskrba z vodo (Lah et al., 2002). Vodna bilanca je zasnovana na temeljnem zakonu mehanike o ohranitvi mase na določenem območju (Brilly in Šraj, 2000).

Dotok mase na območje je enak odtoku in spremembi količine znotraj območja v določenem časovnem obdobju (Dingman, 1994). Medsebojni odnos glavnih komponent hidrološkega kroga v gozdu predstavlja enačba vodne bilance povodja:

$$P = ET + Q + \Delta S + \Delta G \qquad \text{Enačba 3}$$

kjer je

- P padavine (mm)
- ET evapotranspiracija (mm)
- Q površinski odtok (mm)
- ΔS sprememba vlažnosti zemljine (mm)
- ΔG sprememba zalog podtalne vode (mm)

Vse vrednosti so izražene na enoto časa (ura, dan, teden, mesec ali leto).

Zadnja dva člena (ΔS in ΔG) sta lahko pozitivna (bogatenje) ali negativna (izgube) (Bruijnzeel, 2000). Z vidika celotnega letnega kroženja talne vode in zalog podtalnice sta v povprečju za daljša časovna obdobja pogosto enaka nič (Bruijnzeel, 2000). Zato je takrat lahko letna vodna bilanca poenostavljena v Enačbo 4:

$$P = ET + Q \qquad \text{Enačba 4}$$

V številkah je vodno bilanco gozdnatega povodja težko prikazati, ker je zelo odvisna od poraslosti povodja – rastlinske odeje (Dingman, 1994). Pri gozdu je odvisna od njegove zgradbe: mešanosti drevesnih vrst (biološka zgradba), oblike dreves in prostorske razporeditve drevja (fizikalna zgradba) (Smolej, 1988).

Na vodno bilanco v gozdu zelo vplivajo klimatske razmere blizu površine tal – mikroklima (van Dijk, 2003). Mikroklimatske razmere, kot so temperatura zraka in tal, svetloba, hitrost vetra ter vlaga so določene z vegetacijo in tlemi (Vilhar, 2006). Odločilno vplivajo na razporeditev in kroženje vode v gozdu (van Dijk, 2003).

2.1.2.1 Padavine

V naših podnebnih razmerah sta dež in sneg glavni vrsti padavin, ponekod pa je potrebno upoštevati tudi roso in izločanje kapljic iz megle (Smolej, 1988). Značilnost padavin je, da so prostorsko in časovno zelo neenakomerno razporejene; tudi na majhnih razdaljah, zato jih je težko natančno izmeriti (Vilhar, 2006).

V gozdu padavine predstavljajo prepuščene padavine, ki so padle v vrzelih in v obliki kapljic odtekle s krošenj. Skupaj z odtokom po deblih predstavljajo sestojne (neto) padavine, razlika med neto in bruto količino padavin (padavine na prostem ali nad krošnjami dreves) pa predstavljajo intercepcijo (Vilhar, 2006).

2.1.2.2 Evapotranspiracija

Evapotranspiracija je količina vode, ki preide v ozračje iz tal z izhlapevanjem in transpiracijo rastlin (Mikoš et al., 2000).

Izhlapevanje je pretvorba tekoče vode ali ledu v vodno paro. Za ta proces sta potrebna gradient tlaka vodne pare med površino izhlapevanja in ozračjem ter vir energije. Stopnjo izhlapevanja uravnava razpoložljivost energije na površini, s katere izhlapeva, in »lahkotnost«, s katero se vodna para vključuje v ozračje (Ward in Robinson, 2000). Glavni vir energije je sončno sevanje, pod določenimi pogoji pa je pomemben tudi tok zaznavne toplote (van Dijk, 2003). Različni fiziološki procesi sicer določajo vstopanje vodne pare v ozračje, toda sam princip izgubljanja vodne pare z odprte vodne površine, prsti in rastlin je v bistvu

enak. Zato je izhlapevanje definirano kot »stopnjo spreminjanja tekoče vode v vodno paro z odprte vodne površine, prsti ali rastlin, ki pokrivajo prst« (van Dijk, 2003).

Meteorološki dejavniki, ki vplivajo na stopnjo izhlapevanja so: sončno obsevanje, temperatura zraka in površine, gradient tlaka vodne pare, veter in vrtinčenje zraka (van Dijk, 2003). Sončno obsevanje je glavni vir energije in postavlja splošne omejitve izhlapevanja. Pomembno je značilno spreminjanje sončnega obsevanja skozi dan. Celotno dospelo sevanje do Zemlje se ne porabi za izhlapevanje, saj se del odbije, drugi del pa se porabi za segrevanje zraka in površja. Temperaturi zraka in površine sta tudi povezani s sončnim obsevanjem, vendar njun vpliv na izhlapevanje ni tako izrazit kot samo obsevanje. Temperatura površine vpliva na tlak vodne pare na površini, od tod pa na gradient tlaka vodne pare. Vlažnost zraka je drugi pomemben dejavnik, ki vpliva na gradient tlaka vodne pare, ta pa povzroči gibanje zračnih mas. Če se zrak ne bi premikal, bi zrak v bližini površine izhlapevanja kmalu postal zasičen in tako preprečil nadaljnje izhlapevanje. Veter omogoča dotok svežega suhega zraka k površini izhlapevanja. Znotraj okrog 1 mm širokega pasu nad površino prevladuje gibanje posameznih vodnih molekul navzgor, nad tem pasom pa prevzamejo molekule turbulentno gibanje zraka. Turbulenca se spreminja z vertikalnim gradientom hitrosti vetra.

Zaradi krajevnih razlik v meteoroloških dejavnikih lahko pride do precejšnje razlike v izhlapevanju. Poleg omenjenih dejavnikov, ki ustvarjajo zahteve po izhlapevanju, so za izhlapevanje pomembni tudi (van Dijk, 2003):

- Narava površine izhlapevanja, ki bo sama oblikovala meteorološke dejavnike s tem, ko bo ustvarila razlike v neto sevanju zaradi sprememb v albedu in turbulenci na grobem površju.
- Razpoložljivost vode; izhlapevanje z gole prsti je pogosto manjše kot z odprte vodne površine, saj voda ni vedno prosto razpoložljiva. Za to je odločilna vsebina vlage v tleh. V primeru, da so tla zasičena, je izhlapevanje zaradi razlik v aerodinamični razgibanosti celo večje kot z odprte vodne površine.
- Barva površine vpliva na albedo in naprej na neto sevanje, tudi vpliva na potrebo po izhlapevanju.
- Rastlinski pokrov; če je površje neporaščeno, se izhlapevanje očitno zmanjša, ko se vrhnja plast površja presuši, medtem ko rastlinski pokrov ščiti tla.

Evapotranspiracija gozdnega sestoja je skoraj proporcionalna masi zelenega dela rastlin (Vilhar, 2006). Za opis mase zelenega dela rastlin se uporablja indeks LAI, definiran kot enostranska zelena listna površina na enoto zemeljske površine za listnata drevesa, oziroma kot projicirana površina iglic na enoto zemeljske površine za iglavce (Padežnik, 2004). Vilharjeva (2006) navaja različne deleže letne evapotranspiracije v količini padavin v različnih gozdnih ekosistemih po svetu; v vedno zelenem gozdu v Keniji znaša delež evapotranspiracije v letni količini padavin 81%, v listnatih gozdovih v Evropi med 53 in 93%, v Alpskem sredogorju med 43 in 52%, najnižje deleže v letni količini padavin pa doseže evapotranspiracija v gorskem gozdu Južnih Andov (25%) ter mešanem sestoju iglavcev in listavcev v Švici (21%).

2.1.2.3 Odtok

Voda, ki prispe do gozdnih tal, odteka po površini (Q_p), se infiltrira v tla (Q_i) ali ostane na površini tal (Smolej, 1988):

$$Q = Q_p + Q_i \quad \text{Enačba 5}$$

kjer je

Q skupni odtok (mm)

Q_p površinski odtok (mm)

Q_i globinski odtok (mm)

Če je infiltracija hitrejša od odtoka padavinske vode v tla, se površinski odtok ne pojavi, razen v redkih izjemah in strmih pobočjih (Smolej, 1988). Površinski odtok v gozdu je tako odvisen tudi od biološke zgradbe sestoja – drevesnih vrst, od fizikalne zgradbe pa le posredno; zaradi manjše gostote krošenj se npr. izboljšajo ekološke razmere pri tleh, kar pospeši aktivnost talne favne. Glavni dejavnik, ki poleg nagiba določa površinski pa tudi globinski odtok, je raba tal in z njo povezana njihova propustnost. Zaradi različne rabe tal so razlike med površinskim odtokom v gozdovih in drugače poraslih tal zelo velike (Smolej, 1988). Gravitacijska sila na strmih pobočjih v hribovitih predelih ter povečan površinski odtok v povezavi z zmanjšano kapaciteto tal in rastlinja za zadrževanje znatno vplivajo na povečanje nevernosti poplav, erozije in zemeljskih plazov (Vilhar, 2006).

Infiltracija in gibanje vode v tleh sodita med najpomembnejše hidrološke procese, saj določata stopnjo in količino vode, razpoložljive za površinski in podpovršinski odtok, evapotranspiracijo ter odtok v podtalje (Ward in Robinson, 2000).

2.1.2.4 Vsebnost vlage v tleh

ΔS v Enačbi 3 vodne bilance gozda označuje spremembo količine vode, zadržane v tleh (Brilly in Šraj, 2000). Njena velikost je omejena z maksimalno količino vode, ki jo tla lahko zadržijo (van Dijk, 2003). Vsebnost vlage v tleh, evapotranspiracija, ter padavine so v hidrološkem krogu medsebojno tesno povezane ter lahko značilno vplivajo ena na drugo v času in prostoru (Vilhar, 2006). V gozdnih tleh je nihanje vlage v tleh usklajeno s količino padavin in izhlapevanjem, a le v tleh blizu površja (van Dijk, 2003). Količina vode, zadržane v tleh, je v pasu zmernega podnebja največja po taljenju snega, ali po spomladanskem deževju (Vilhar, 2006). Tekom poletja vsebnost vlage v tleh vztrajno upada vse do poznega poletja, dalje opisuje ista avtorica. Z jesenskim deževjem se zaloge vode obnovijo, kar lahko v globljih plasteh tal traja tudi več tednov.

2.2 Transpiracija

V primeru, da površino pokriva rastlinje, moramo upoštevati tudi transpiracijo, ki je definirana kot »del izhlapevanja, ki vstopa v ozračje skozi rastline« (van Dijk, 2003). V gozdni hidrologiji se transpiracija imenuje tudi primarna poraba vode (Smolej, 1988), omogoča namreč rast gozdnega rastlinja in s tem obstoj življenja v gozdu.

Transpiracija je fiziološki proces, pri katerem rastlina s koreninskim sistemom črpa vodo iz zemlje, jo uporabi v metaboličnem procesu in jo potem skozi liste spusti v ozračje (Brilly in Šraj, 2000).

2.2.1 Pomembnost vode za rastline

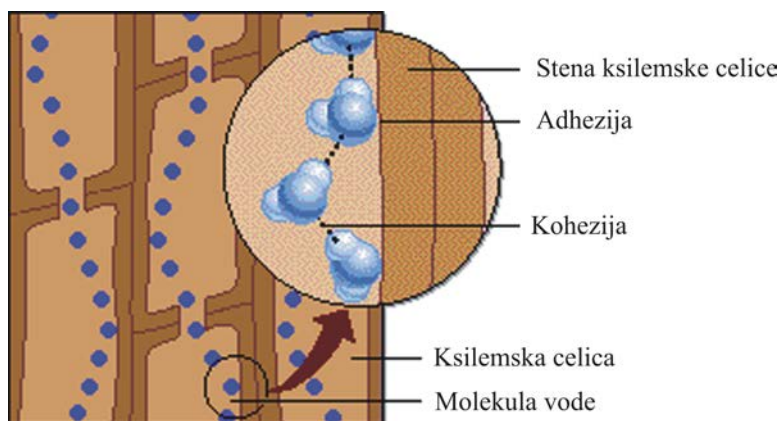
Voda je osnovna sestavina vsake žive celice (85 – 90 %) (Brilly, 2004). Čeprav je mnogo različnih dejavnikov, ki vplivajo na rast rastlin (temperatura, sevanje, veter idr.), je večinoma ravno voda odločujoča omejitev (van Dijk, 2003).

Razpoložljivost vode je odločilna pri skoraj vseh procesih, ki potekajo v rastlinah. Toda ta vsesplošna povezanost je zapletena in se spreminja z lastnostmi rastline, stopnjo razvoja, tlemi in podnebjem (Tyree, 2000). Če pa zelo poenostavimo, lahko rečemo, da vodo dobivajo rastline s črpanjem preko korenin, izgubljajo pa jo s procesom izhlapevanja, imenovanim transpiracija.

Rastlina porabi ogromne količine vode. Le 5% ali celo manj vode, ki jo rastlina odvzame tlom, se zadrži v rastlini in tvori njeno organsko maso, vso ostalo pa odda v atmosfero v obliki vodne pare (van Dijk, 2003). To je pomembno ravnotežje privzemanja in izgube vode. Če rastlina ne more načrpati dovolj vode, da bi nadomestila transpiracijsko izgubo, ji začne vode primanjkovati. Zaradi zgoraj naštetih razlogov ima vodni primanjkljaj velik vpliv na rast rastlin, njihov razvoj in delovanje (Tyree, 2000).

2.2.2 Gibanje vode v rastlinah

Voda v rastlini ne miruje, temveč se giblje od korenin skozi steblo do listov, kjer izhlapeva. Ta vodni tok se vrši skozi lesni del (ksilem), ki sega od korenin do listnih žil. V drevesnem deblu ta prevodni ksilemski lesni del imenujemo beljava (Podobnik in Devetak, 1997). V ozkih in dolgih celicah ksilema je močno intermolekularno pritegovanje vodnih molekul (Slika 2), tako da se natezne napetosti v vodnem stebru prenašajo iz listov do korenin, opisuje Tyree (2000). Celotni mehanizem poganja predvsem transpiracija, ki zmanjšuje tlak v listih, kar se potem prenaša skozi celotno rastlino do korenin, ki začnejo črpati vodo iz tal. Hitrost gibanja vode je odvisna od vrste rastline.

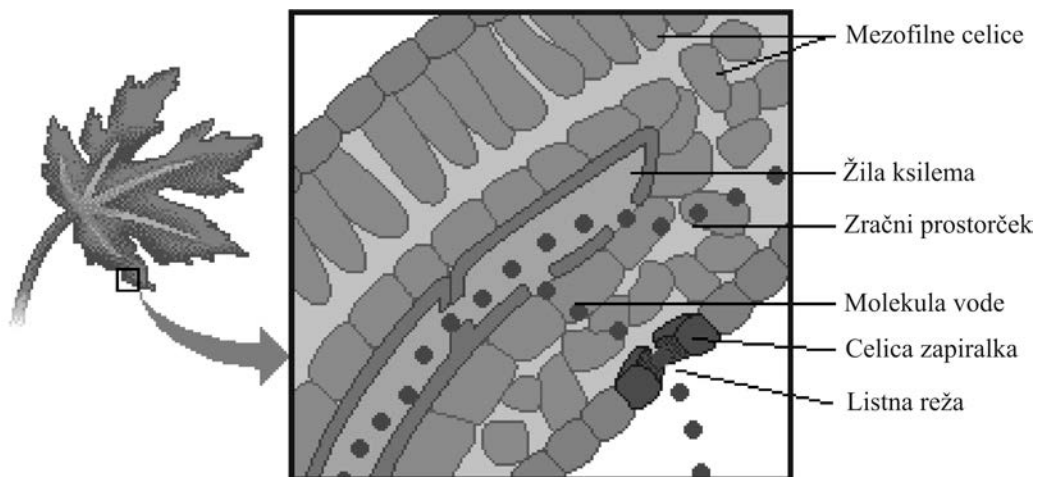


Slika 2: Potovanje vode po celicah ksilema

(http://www.phschool.com/science/biology_place/labbench/lab9/xylem.html)

Transpiracija je proces izpuščanja vode skozi liste v atmosfero. Listi rastlin (Slika 3) so zgrajeni iz mezofilnih celic, ki so zapolnjene z vodo in katerih vlažne površine so v stiku z medceličnimi prostori, ti pa skozi listne reže komunicirajo z atmosfero. Vodna para se zbira v medceličnem prostoru, dokler njena napetost ne preseže tlaka vodne pare v atmosferi. Transpiracija se začne, ko vodna para prične uhajati skozi listne reže (Tyree, 2000).

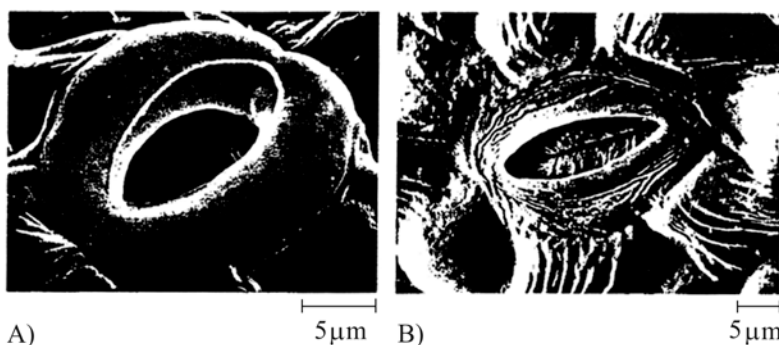
Ker je transpiracija v bistvu proces izhlapevanja, zanjo velja Daltonov zakon, po katerem je velikost izhlapevanja sorazmerna razliki parnih tlakov med izhlapevajočo površino in okoljem (Vilhar, 2006). Pri transpiraciji je to razlika med parnim tlakom v medceličnih prostorih ter parnim tlakom zraka v okolici lista. Če je rastlinam na voljo dovolj vode in sončnega obsevanja, potem majhna relativna zračna vlaga in veter pospešujeta transpiracijo (Vilhar, 2006). Kadar pa v tleh vode primanjkuje, transpiracija poteka na račun vode v listih (iglicah) in drugih tkiv, ki zaradi stalnega izgubljanja vlage začenjajo veneti.



Slika 3: Potovanje molekul vode skozi liste v atmosfero

(http://www.phschool.com/science/biology_place/labbench/lab9/transpull.html)

Listne reže ali stomata (Slika 4) so izredno majhne odprtine eliptične oblike, večinoma samo na spodnji strani listov, nekatere vrste pa jih imajo tudi na zgornji strani. Kadar je v listu dovolj vode, sta celici turgidni in napeti, tako da je reža odprta, ko sta celici ohlapni, se reža zapre in prekine transpiracijo. Ponavadi so reže odprte podnevi in ponoči zaprte. V suši pa so reže zaprte noč in dan in se podnevi odprejo le za kratek čas. Pri večini rastlin se reže ne odpirajo, če je temperatura pod 0 °C, pri nekaterih pa tudi, če preseže temperatura 25 °C. Zapiranje reže ne zmanjšuje samo transpiracije temveč tudi fotosintezo in rast rastline nasploh (Tyree, 2000).



Slika 4: Posnetek odprte in zaprte listne reže (povzeto po van Dijk, str. 50)

Transpiracija, ki se odvija skozi listne reže (stomata) se imenuje stomatalna transpiracija. Poznamo pa tudi neposreden prehod vode iz celice v atmosfero skozi kutikulo, imenujemo jo kutikularna transpiracija (Tyree, 2000). Kutikularna transpiracija znaša samo 10% celotne transpiracije, a se lahko dogaja tudi ponoči, ko so reže zaprte.

Transpiracija se začne s sončnim vzhodom, narašča proti poldnevu in se zmanjšuje proti večeru. Dejansko se večji del sončne energije, ki jo absorbirajo listi, uporabi za transpiracijo in manjši del za fotosintezo, opozarja Tyree (2000). Del toplote se z lista prenese tudi neposredno na okolico, tako da se listi tudi ne segrevajo do temperatur, ki bi lahko škodovale rastlini. Zelo pogosto je temperatura listov samo 2-10 °C višja od temperature okoliškega zraka.

2.2.3 Princip gibanja vode v rastlini

Gibanje vode skozi rastlino je izključno pasivno. Po kohezijsko-tenzijski teoriji ga povzroča površinska napetost na površini izhlapevanja lista (Tyree, 2000). Površinska napetost namreč zniža vodni tlak na mestu izhlapevanja, kar povzroči poteg vode skozi korenine. Gibanje vode skozi membrano rastlinske celice vodijo razlike vodnega potenciala med notranjostjo in zunanostjo celice. Razlike vodnega potenciala določajo razlike v tlaku in potencialu raztopine. Vodni tok skozi korenine določajo predvsem razlike vodnega tlaka, medtem ko razlike potenciala raztopine nimajo velikega vpliva, ker so korenine prepustne za raztopine. Vodni tok skozi rastlino je ponavadi dovolj močen, da so razlike v potencialu raztopine veliko manjše od razlik vodnega tlaka. Tako večino časa vodni tok skozi rastlino vodi razlika vodnega tlaka med vodo v zemlji in vodo v rastlini.

2.2.4 Transpiracija ob pojavu suše

Voda prihaja v stik z rastlino v ozračju in v tleh. Pri tem je pomembna količina vode, ki vpliva na rastlino in omogoča njen obstoj. Prevelike ali premajhne količine vode lahko

povzročijo pogin rastline, pri tem so pa mejne vrednosti odvisne od vrste rastline, lastnosti pedosfere in podnebnih razmer (Brilly, 2004).

Rastline se na vodne razmere različno prilagodijo, odvisno od tega, koliko vode je na razpolago. Globina korenin se povečuje z zmanjševanjem vlage v tleh, pri večjem vodnem pritisku pa so korenine tanjše in bolj razvejane. Rastline lahko zmanjšajo izgubo vode (transpiracijo) na več načinov (van Dijk, 2003); z omejevanjem izhlapevanja z listov, spreminjanjem orientacije in oblike listov, povečanjem difuzijske odpornosti listov proti transpiraciji z zapiranjem listnih rež.

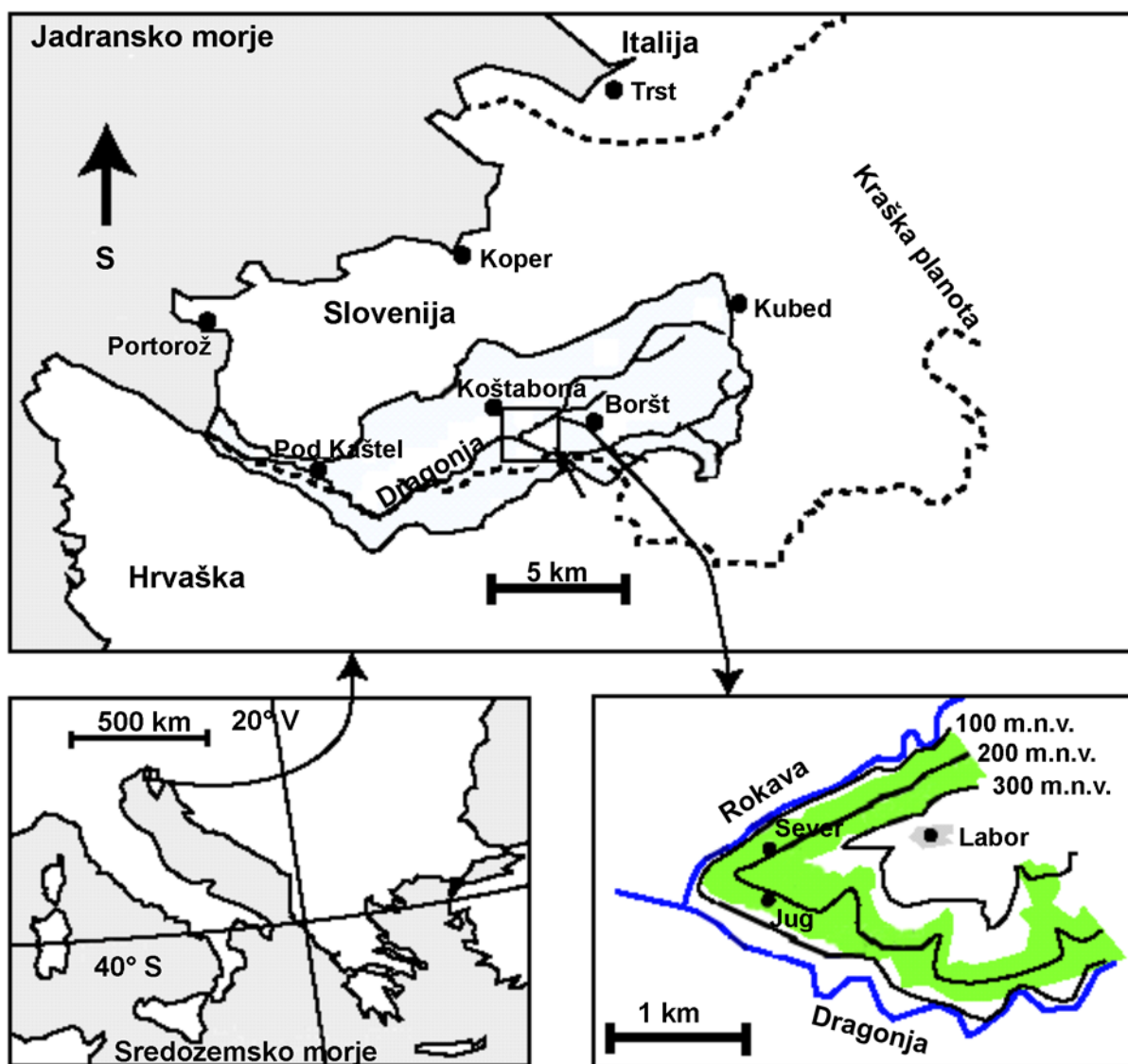
V suši se transpiracija polagoma zmanjšuje; začne se proces venenja. Transpiracija se prekine, ko rastlina uvene. Pojav uvelosti je prisoten tudi v vsakodnevem ciklusu, ko so listi v popoldanskem času nekoliko uveli in si čez noč ponovno opomorejo. Pojav prehodne uvelosti je posledica začasnega pomanjkanja vode, ko je absorpcija manjša kot transpiracija. Stalna uvelost nastopi, ko količina vlage v tleh doseže mejo, ki je označena kot koeficient venenja (Brilly, 2004).

Venenje označuje mehčanje, uvelo stanje in padlo stanje rastline v času pomanjkanja vode. Uvelost se najbolj očitno pokaže na listih. Turgor v celici je namreč tisti, ki vzdržuje obliko lista in do uvelosti pride takrat, ko turgor pade na vrednost nič. Mnoge rastline pa obliko lista vzdržujejo s pomočjo togih vlaken v listih. Venenje pri teh rastlinah je smatrano, da se začne na točki, ko začne turgor upadati. Če se pomanjkanje vode nadaljuje še čez točko venenja, ponavadi pride do trajne izgube hidravlične prevodnosti zaradi kavitacije v ksilemu. Popolna izguba hidravlične prevodnosti navadno vodi do smrti rastline, vendar se vodni potencial, ki povzroči izgubo hidravlične prevodnosti od rastline do rastline spreminja. Rastline se v sušnih okoljih na pomanjkanje vode prilagodijo na številne načine. Nekatere se izognejo pomanjkanju vode z daljšimi koreninami, ki lahko dosežejo vodo globlje v zemljini ali pa s kratkim razmnoževalnim ciklusom, omejenim na vlažno obdobje.

3 MERITVE IN METODE

3.1 Osnovne značilnosti povodja Dragonje

3.1.1 Geografske značilnosti



Slika 5: Povodje Dragonje in položaj merskih ploskev (povzeto po van der Tol, 2007, str. 11.)

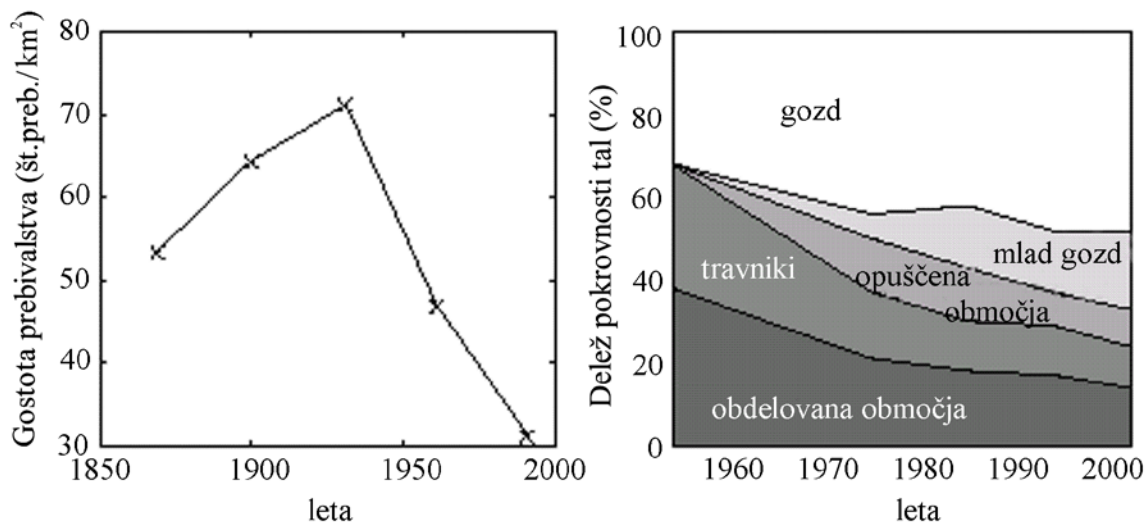
Povodje reke Dragonje (92 km²) leži na severnem delu polotoka Istre (Slika 5). Dragonja je mejna reka med Slovenijo in Hrvaško, teče v smeri iz vzhoda proti zahodu. Je edina večja reka ob slovenski obali, ki je svojo naravno podobo v pretežni meri ohranila do današnjih dni (Šraj, 2003).

3.1.2 Geologija in pedologija

Geološko podlago na pretežnem delu površine povodja Dragonje predstavljajo eocenski flišni sedimenti, ki imajo značaj mehkih karbonatnih kamnin. Globevnik (2001) navaja po Stepančič in ostali (1985), da so se na flišu Koprškega Primorja izoblikovale naslednje vrste tal: karbonatna rendzina (več kot 70 %), rigolana tla, evtrična rjava tla, obrečna tla in oglejena tla. Karbonatno rendzino na flišu najdemo predvsem na večjih nagibih, evtrična rjava tla pa na blagih nagibih ali ravnih platojih. Večina rigolanih tal je danes na opuščanih in zaraščanih terasah, oglejena tla pa so prisotna v spodnjem delu doline Dragonje (Šraj, 2003).

3.1.3 Demografske značilnosti in raba tal

Povodje Dragonje je za današnje razmere redko poseljeno. Posebnost tega območja je, da so se ljudje naseljevali na široke ploščate hrbte gričev, ozke doline pritokov in dolina Dragonje pa so ostale skoraj nenaseljene (Šraj, 2003). Številčnost pretežno kmečkega prebivalstva se je v šestdesetih, še bolj pa v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja močno zmanjšala (iz 6404 v letu 1931 na 2793 v letu 1991) (Globevnik, 2001) (Slika 6, levo). Tako je poleg protierozijskega pogozdovanja tudi opuščanje kmetijske rabe tal pospešilo zaraščanje območja (Slika 6, desno). V zadnjih treh desetletjih se je zaraščanost povodja Dragonje povečala s povprečno 25% na več kot 60% (Globevnik, 2001).

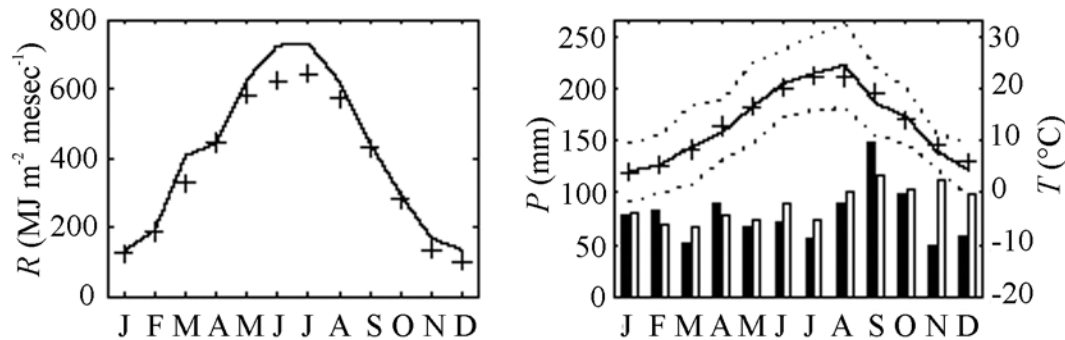


Slika 6: Gostota prebivalstva (število prebivalcev na km²) med 1860 in 1995 in pokrovnost oz. raba tal (delež kategorije) med 1954 in 2002 (povzeto po van der Tol, 2007, str. 12.)

3.1.4 Podnebje

Analiza posameznih meteoroloških dejavnikov kaže, da je Slovenska Istra kljub relativno majhni površini klimatsko zelo pestra pokrajina, kar je posledica razgibanega površja (Šraj, 2003). Po Ogrinu (1995) je Slovenska Istra razdeljena na pet večjih klimatskih enot, pri čemer večji del povodja Dragonje spada v klimatsko enoto osrednjega flišnega gričevja, dna dolin in fluviokraških depresij pa predstavljajo svojo klimatsko enoto. Podnebje osrednjega dela flišnega gričevja lahko zaradi velike razgibanosti podrobneje razdelimo še na prisojna in osojna pobočja ter temena flišnih hrbtov (Ogrin, 1995).

Mesečna razporeditev padavin kaže submediteranski padavinski režim (Ogrin, 1995), ki za razliko od pravega mediteranskega režima nima izrazite sezonske razporeditve padavin s sušnimi poletnimi meseci in mokrimi zimskimi, ampak so vsi meseci približno enakomerno namočeni (Slika 7, levo). Povprečne letne padavine znašajo 1112 mm (Globevnik, 2001). Pojavljajo se tudi horizontalne padavine, snežne padavine pa so na območju izjemno redke in skromne (Šraj, 2003).



Slika 7: Meteorološke spremenljivke izmerjene na meteorološki postaji Boršt na povodju reke Dragonje med oktobrom 2000 in oktobrom 2004 ter dolgoročna povprečja (Ogrin, 1995). Levo: mesečne vrednosti kratkovalovnega sevanja navzdol (polna črta) in 20-letne povprečne vrednosti izmerjene na bližnji meteorološki postaji v Kopru (+). Desno: mesečne padavine (polni stolpci) in 30-letno povprečje izmerjeno na bližnji postaji v Koštaboni (prazni stolpci), povprečna mesečna temperatura (polna črta), in povprečna dnevna minimalna in maksimalna temperatura (pikčasta črta), in 30-letno povprečje izmerjeno na bližnji postaji v Kubedu (+) (povzeto po van der Tol, 2007, str. 15.)

Povprečne letne temperature ob obali se gibljejo okrog 14°C , v notranjosti pa so 2 do 3°C nižje (Slika 7, desno). Razlike v temperaturi se pojavljajo tudi med prisojnimi in osojnimi pobočji. Prisojna pobočja imajo le za $0,5$ do 1°C nižjo temperaturo od obalnega pasu, kljub njihovi višji nadmorski višini in oddaljenosti od morja (Šraj, 2003). Enkratne razlike med prisojnimi in osojnimi pobočji lahko znašajo do 10°C (Ogrin, 1995).

Najpogostejši veter v dolini reke Dragonje je severovzhodnik ali burja, ki piha več kot tretjino leta – pojavlja se predvsem pozimi in zgodaj spomladi. Burji po pogostosti sledita jugovzhodnik (jugo) in jug, ki sta približno enakomerno zastopana skozi vse leto. Poleg osončenosti tudi burja v zimskem času zelo vpliva na temperaturne razlike med prisojnimi in osojnimi pobočji.

3.1.5 Spreminjanje podnebja in hidroloških lastnosti povodja

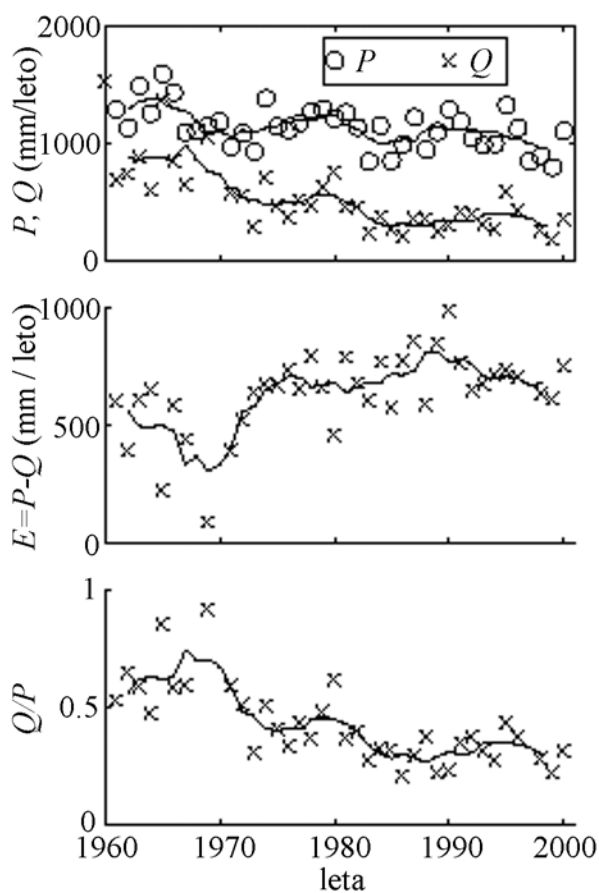
Meritve zadnjih 40 let so pokazale, da se na povodju Dragonje spreminjajo tako padavine kakor tudi pretoki (van der Tol, 2007). Slika 8 prikazuje letne padavine in odtok v Jadransko morje, ki je bil izmerjen blizu izliva med leti 1960 in 2000 (zgoraj); izhlapevanje izračunano kot razlika med padavinami in pretokom (na sredini); in razmerje med odtokom in padavinami (spodaj). Na njej predstavljeni podatki namigujejo na trend zmanjševanja padavin in odtoka, in večanje izhlapevanja.

Postavlja se vprašanje, kaj je vzrok za povečanje izhlapevanja: spremenjena pokritost tal ali povečano potencialno izhlapevanje kot rezultat višjih temperatur in močnejšega sončnega obsevanja. Brunetti et al. (2000) so za merske postaje v severni Italiji, med njimi ena v Trstu, ki leži 15 km severno od Dragonje, pokazali, da so vsa padavinska in temperaturna odstopanja zadnjih 150 let v negativni medsebojni zvezi; negativna odstopanja padavin v zadnjih 40 letih se ujema s pozitivnimi odstopanji temperature in potencialnega izhlapevanja. Isti avtorji hkrati navajajo podatek, da so se padavinska odstopanja, podobna tem v zadnjih 40 letih, v preteklosti že pojavljala. Tudi Ogrin (2002) navaja, da vinogradniški registri in druge zgodovinske kronike pričajo o tem, da so bile suše običajen pojav v Slovenski Istri v sredi 16., v začetku 18. in v začetku 19. stoletja. Prav tako nam tudi rekonstrukcija temperatur in padavin Alp iz zgodovinskih podatkov za obdobje med leti 1500 in 2003 zagotavljajo, da so padavinska odstopanja zadnjih 40 let dokaj navadna.

Tako padavinska odstopanja na časovni skali stoletij ne kažejo nobenega trenda in dolgoročno se povprečne padavine ne spreminjajo od leta 1500. Drugače je s tem pri temperaturi: temperaturna odstopanja zadnjega stoletja se pojavljajo prvič (van der Tol, 2007).

Šrajeva (2003) ugotavlja, da je večji obseg poraščenih površin povzročil zmanjšanje pretokov reke Dragonje, tako minimalnih, srednjih kot maksimalnih. To je v nasprotju s splošno predstavo o pozitivnem vplivu gozda na vodni režim (Šraj, 2003). Pogozdovanje naj bi izboljšalo infiltracijske sposobnosti zemljine in s tem povečalo minimalne pretoke, razen če je poraba vode rastočega gozda prevelika (Šraj, 2003). Tudi dinamika pretokov reke Dragonje se

je v zadnjih desetletjih močno zmanjšala, zmanjšale so se pogostosti nastopanja in višine visokovodnih konic, zaznaven je trend zmanjševanja odtoka vode s povodja (Šraj, 2003). Globevnik (2001) poudarja, da so trendi meteoroloških sprememb (padavin, temperature, sončnega obsevanja in potencialne evapotranspiracije) veliko manjši kot trendi sprememb pretokov in zaključuje, da je zmanjšanje pretokov v povodju Dragonje posledica velike spremembe rabe tal v zelo kratkem obdobju.



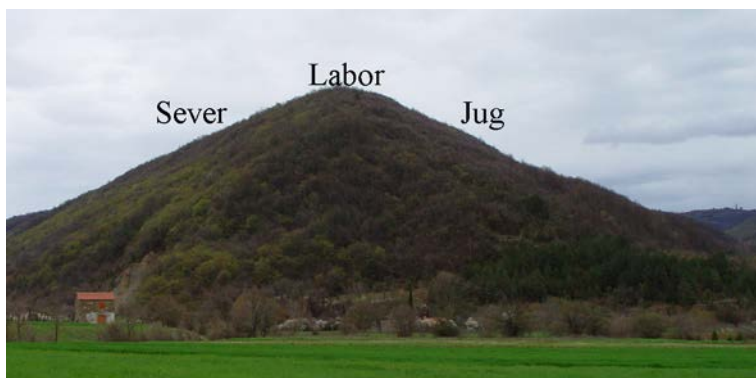
Slika 8: Zgoraj: letne padavine (P) izmerjene na postaji Portorož in odtok (Q) v Jadransko morje izmerjen na postaji Pod Kaštel blizu izliva med leti 1960 in 2000. Na sredini: izhlapevanje (E) kot razlika med padavinami (P) in odtokom (Q). Spodaj: razmerje med odtokom (Q) in padavinami (P). Polne črte so 5-letna gibljiva povprečja (Povzeto po van der Tol, 2007, str. 16.)

3.1.6 Lastnosti gozdne vegetacije

Povodje Dragonje spada po fitoklimatski razdelitvi Slovenije v submediteransko območje, za katerega je značilna listopadna submediteranska vegetacija. Šraj (2003) podaja jedrnat opis tukajšnje gozdne vegetacije: Na flišu povodja Dragonje prevladuje gozdna združba gradna, puhastega hrasta in kraškega jesena (*Orno-Qercetum petraeae-pubescentis*), ki je optimalno razvita gozdno-grmičasta združba nizkega krasa. V njej prevladuje hrast puhovec, kraški jesen, graden, črni gaber, javor in med grmovnimi vrstami rumeni dren. Nad njo se razširja pas primorskega bukovega gozda (*Seslerio-Fagetum*), nižje pa primorski nižinski gozd gradna in belega gabra (*Quercio-Carpinetum submediterraneum*; *Hacquetio-Carpinetum* var. *Ruscus aculeatus*). Posebej je potrebno poudariti prisotnost podrasti, ki pokriva kar 50 % površine tal. Prevladujeta predvsem bodeča labodika (*Ruscus aculeatis*) in rumeni dren (*Cornus mas*).

3.2 Raziskovalni ploskvi v gozdu

Meritve so se izvajale na dveh raziskovalnih ploskvah, ki sta med seboj oddaljeni za manj kot 2 kilometra; ena na severnem pobočju v podpovodju Rokave (Sever), druga na južnem pobočju v podpovodju Dragonje (Jug), obe približno enako oddaljeni (2500 m) od vasice Labor, na nadmorski višini približno 200 m in majhni medsebojni oddaljenosti (400 m) (Slika 9).



Slika 9: Pogled na severno (Sever) in južno (Jug) raziskovalno ploskev in vasico Labor

Med vasico Labor in izbranimi merskima ploskvama je lepo viden časovni potek zaraščanja z gozdom (Šraj, 2003). Tako z oddaljevanjem od Laborja srečamo 4-5, 10, 15-20 let stare sestoje in na koncu 100 let star gozd na strmih pobočjih (okrog 30°), ki se spuščajo v dolino Rokave in Dragonje. Povprečna starost gozdnih sestojev, ki sta bila izbrana za raziskovalni ploskvi, je 60 do 70 let za severno in 30 do 40 let za južno raziskovalno ploskev (Sadar, ustni vir).

Preglednica 1: Glavne značilnosti raziskovalnih gozdnih ploskev na povodju Dragonje

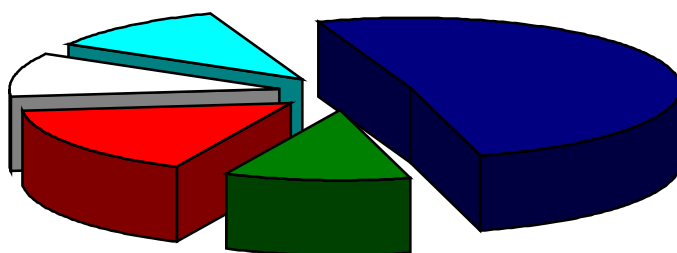
		Severna ploskev	Južna ploskev
Nadmorska višina	(m.n.v.)	180	190
Nagib		30°	30°
Lega		330°	210°
Velikost ploskve	(m ²)	625	313
Gostota sestoja*	št. debel ha ⁻¹ 10 ³	2.3	7.2
Povprečen premer debel na 1.3 m *	(cm)	12.8	7.3
Povprečna višina dreves	(m)	16	8
LAI v sredini sezone		4.9	5.1
Prisotna podrast		labodika	rumeni dren
Prevladujoče vrste	drevesne	navadni gaber cer kraški gaber	mali jesen puhasti hrast črni gaber
Povprečna starost gozdnega sestoja	(leta)	60 - 70	30 - 40
Raba tal leta 1900		pašnjaja, steljarjenje	pašnjaja, oljke in trte na terasah
Raba tal leta 2004		širjenje gozda	širjenje gozda

* Pri merjenju so se upoštevale vse debelinske stopnje

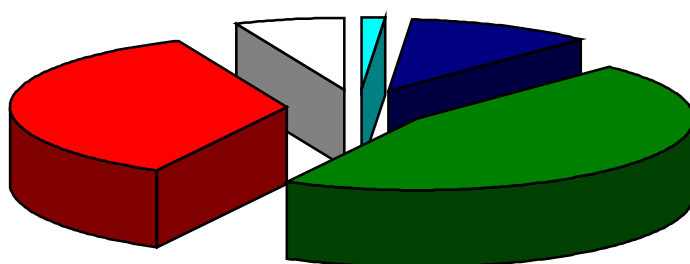
Ploskvi sta bili izbrani tako, da se čimbolj razlikujeta v sončnem obsevanju, temperaturi in deficitu tlaka vodne pare, poleg tega pa da gozdni sestoj ploskve dobro predstavlja gozdni sestoj gozdnega okolja, da gozd ni pogosto upravljan, ter da imata ploskvi podobni talno kemijo in zrnatost. Zaradi primerjave rezultatov je tudi pomembno, da sta gozdni ploskvi na približno enake starosti gozdnega sestoja ter na enaki nadmorski višini in enakem nagibu (Preglednica 1).

Ploskvi se med seboj razlikujeta predvsem v topografskem položaju. Severna ploskev je v osojni legi in je zato pričakovano, da ima manjši deficit tlaka vodne pare, nižje temperature in manjši vnos sončnega obsevanja. Južna ploskev je v prisojni legi in je zato pričakovano, da ima zato večji deficit tlaka vodne pare, višje temperature in večji vnos sončnega obsevanja. Severno ploskev vzamemo kot ploskev z veliko razpoložljive vode, južno pa z malo.

Sever



Jug



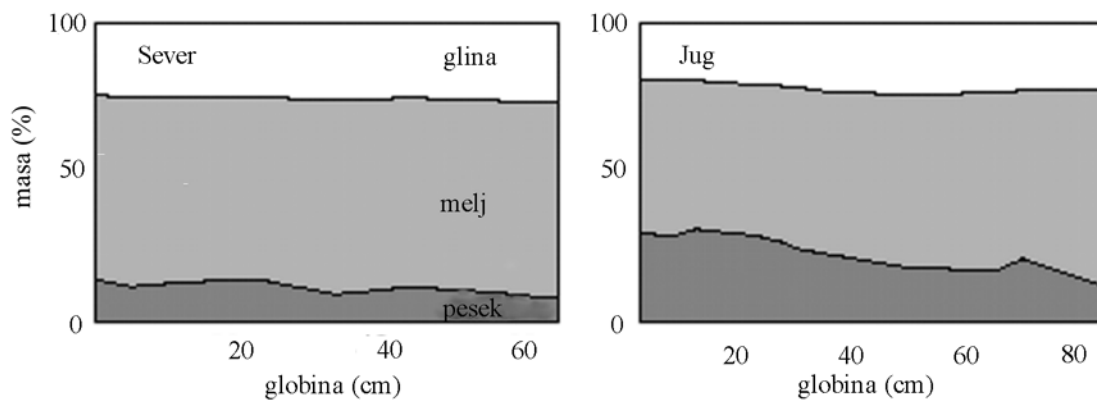
■ maklen ■ gaber ■ mali jesen ■ hrast □ druge vrste

Slika 10: Zastopanost posameznih drevesnih vrst na severni in južni raziskovalni ploskvi

Ploskvi se ne razlikujeta le v mikro okoljih, ampak tudi v vrstni sestavi (Slika 10), gostoti sestoja, starosti in strukturi gozda (Preglednica 1). Na severni ploskvi prevladuje gaber, na

južni ploskvi pa hrast. Gozd na severni raziskovalni ploskvi je dvakrat višji (16 m) in ima trikrat manj dreves na enoto površine kot gozd na južni raziskovalni ploskvi.

Talna zrnatost je na obeh ploskvah podobna: 30 procentov peska, 50 procentov melja in 20 procentov gline (Slika 11).



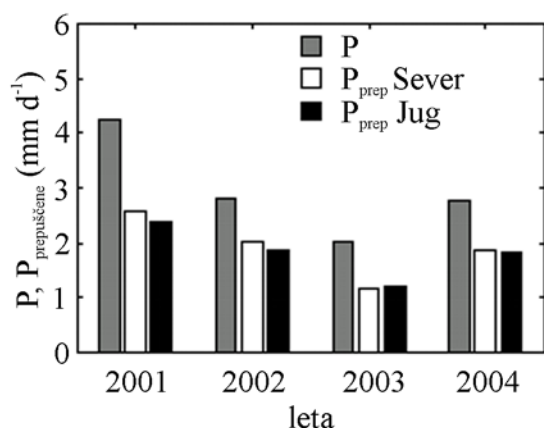
Slika 11: Vertikalni profili zrnivosti tal na severni in južni gozdni ploskvi. Glina: $< 2\mu\text{m}$, melj: 2 do $50\mu\text{m}$, pesek: $50\mu\text{m}$ do 2 mm (povzeto po van der Tol, 2007, str. 20.)

Preglednica 2: Vodna bilanca severne in južne gozdne ploskve za 100-dnevno obdobje rasti v letu 2004 (od 19. maj do 6. september): P celotne padavine, E_i izhlapele prestrežene padavine, E_t transpiracija, ΔS sprememba uskladiščene vode, in $P-E-\Delta S$ napaka vodne bilance (van der Tol, 2007, str. 22.)

		Severna ploskev	Južna ploskev
P	[mm]	178	178
E_i	[mm]	54	54
E_t	[mm]	316	249
ΔS	[mm]	-169	-124
$P-E-\Delta S$	[mm]	-12	-1

Preglednica 2 prikazuje vodno bilanco rastne dobe 2004 (19. maj do 6. september) na severni in južni ploskvi. Različni razpoložljivosti na ploskvah na začetku dobe rasti povzročita različni količini uskladiščene vode v tleh (ΔS). Vzrok za takšne razlike so odstopanja v zimskih neto padavinah, pronicanju, izhlapevanju s tal in transpiraciji podrasti še pred

brstenjem. Meritve med letoma 2000 in 2004 kažejo, da so neto padavine na severni ploskvi rahlo višje od padavin na južni ploskvi (Slika 12). Razpoložljiva voda je bila izračunana z množenjem tehtane aritmetične sredine začetne vsebnosti vlage merjene na petih globinah z debelino območja koreninjenja. Dejstvi, da se debelina zemljine prostorsko spreminja in da lahko korenine prodrejo spodaj skozi skalo, dajeta nekaj negotovosti ocenam razpoložljivosti vode v tleh (van der Tol, 2007).



Slika 12: Povprečne dnevne padavine in prepuščene padavine (mm d^{-1}) na severni in južni gozdni ploskvi med 2001 in 2004. Vrednost za posamezno leto je povprečje od 1. novembra prejšnjega leta do 31. oktobra.

3.3 Instrumenti in meritve

Vsi podatki, ki so uporabljeni v diplomski nalogi, so bili izmerjeni na severni in južni gozdni ploskvi. Izjeme so podatki o obsevanju in hitrosti vetra, ki so bili vzeti z meteorološke postaje Sveti Štefan.

Na gozdnih ploskvah so bili nekateri instrumenti postavljeni že od jeseni 2000 za namen predhodnih raziskovalnih nalog v sklopu celotnega projekta. Z instrumenti, potrebnimi za merjenje dodatnih količin gozdnega hidrološkega kroga, sta bili ploskvi dopolnjeni spomladi 2003 oz. 2004. Instrumenti in časi njihove postavitve so podani v Preglednici 3. Vsi transpiracijski in mikrometeorološki senzorji so bili priključeni na večkanalno avtomatsko

postajo za zapisovanje in shranjevanje 30-minutnih povprečij izmerjenih vrednosti (21X, Campbell Scientific Inc., ZDA). Postaja na južni ploskvi je bila opremljena s sončnimi celicami, saj je sončne energije na prisojnih pobočjih več kot dovolj, na severnem pobočju pa se je zaradi pomanjkanja sončne energije avtomatska postaja napajala z baterijami (avtomobilskimi), ki jih je bilo potrebno redno menjavati.

Preglednica 3: Pregled merske opreme na vseh štirih raziskovalnih ploskvah

Merjena količina		Čas postavitve	Oprema
Padavine nad krošnjami	Sever	jesen 2000	1 Hellmanov dežemer (UL FGG)
	Jug	jesen 2000	1 ombrograf (VUA) 1 totalizator (VUA)
Temp. in vlažnost zraka	Sever	pomlad 2003	zaščitna vlažnostna kapa z ventilatorjem HMP45AC (Vaisala Oyj, Finska)
	Jug	pomlad 2003	zaščitna vlažnostna kapa z ventilatorjem HMP45AC (Vaisala Oyj, Finska)*
Sevanje	Sever	-	
	Jug	pomlad 2004	CNR1 radiometer (Kipp in Zonen B.V., Nizozemska)
	Stara Vala	pomlad 2003	CM5 kratkovalovni radiometer (Kipp in Zonen B.V., Nizozemska)
Temperatura tal	Sever	pomlad 2004	termistor (VUA); 1, 2, 5, 70 cm
Vlažnost tal	Jug	pomlad 2003	termistor (VUA); 1, 2, 5, 70 cm
	Sever	jesen 2003	FDR ; 5, 11, 25, 45, 75 cm (5 x CS615 (Campbell Scientific Inc., USA))
Transpiracija	Jug	pomlad 2003	FDR ; 5, 11, 25, 40, 75 cm (5 x CS616 (Campbell Scientific Inc., USA))
	Sever	pomlad 2004	TDP (VUA); 6 dreves (12 senzorjev, 2 na vsakem drevesu)
	Jug	pomlad 2004	TDP (VUA); 6 dreves (12 senzorjev, 2 na vsakem drevesu)

* od avgusta 2004 na stolpu

Na obeh merskih ploskvah so se izvajale terenske meritve, ki so opisane v sledečih podpoglavjih.

3.3.1 Količina padavin nad drevesnimi krošnjami

Količina padavin nad drevesnimi krošnjami je bila merjena s tremi avtomatskimi dežemeri, katerih povprečje je bilo uporabljeno za podatek o količini padavin. Avtomatski dežemeri delujejo na principu merilne žličke, ki se izprazni vsakič, ko je žlička polna. Velikosti merilnih žličk so različne. Vsako praznjenje se preko vmesnika zabeleži z napravo izdelano na Vrije Universiteit Amstredam, od koder se lahko podatki preko vmesnika prenesejo na prenosni računalnik.

Na severni ploskvi se padavine nad drevesnimi krošnjami merijo s Hellmanovim dežemerom (UL FGG-KSH; Slika 13, levo) na višini 15 m, ki ga je potrebno ročno prazniti. Na južni ploskvi pa se meritve padavin izvajajo z ombrografom (Vrije Universiteit Amsterdam, 0,2 mm/zvrat) z avtomatskim digitalnim zapisovanjem rezultatov na vsakih 10 minut (Campbell Scientific Ltd. 21-X data logger) in totalizatorjem z ročnim praznjenjem za kontrolo. Oba sta postavljena na stebru višine 9 m (Slika 13, desno).



Slika 13: Hellmanov dežemer (levo), ombrograf in sončne celice (desno)

3.3.2 Temperatura in vlažnost zraka

Temperatura in relativna vlažnost zraka sta se merili vsako minuto z zaščitnimi vlažnostnimi kapami z ventilatorjem (angl. shielded aspirated humicaps), HMP45AC (Vaisala Oyj, Finska) na severni in južni ploskvi na višini 2 m nad gozdnimi tlemi.

Nad krošnjami namreč ni bilo tehnično mogoče meriti na vseh ploskvah. Zato so se vse meritve temperature in relativne vlažnosti izvajale na višini 2 m. V avgustu 2004 je bil na južni ploskvi senzor za 14 dni prestavljen na montažni stolp na višino 9 m, tik nad krošnjami. Te meritve so pokazale, da se temperatura in relativna vlažnost nad krošnjami razlikujeta od teh merjenih pod krošnjami. Vendar so te razlike za faktor 2 do 3 manjše, kot so razlike med ploskvama.

3.3.3 Sončno obsevanje

Meteorološka postaja Sveti Štefan se je nahajala 3 km vzhodno od gozdnih ploskev. Opremljena je bila z 9 metrov visokim stolpom (Slika 14). Na njem so bile merjene osnovne meteorološke spremenljivke, od katerih so bile za potrebe diplomske naloge uporabljene meritve doselega kratkovalovnega sevanja in hitrosti vetra. Dospelo kratkovalovno sevanje je bilo merjeno s CM5 kratkovalovnim radiometrom (Kipp and Zonen B.V., Nizozemska). Hitrost vetra je bila merjena s čašastim vetromerom A100R (Vector Instruments Ltd., Velika Britanija).

Dospelo in odhodno kratkovalovno sevanje ter dospelo in odhodno dolgovalovno sevanje so bila merjena s CNR1 radiometrom (Kipp and Zonen B.V., Nizozemska) na 9 metrov visokem gradbenem montažnem stolpu na južni ploskvi med aprilom in oktobrom 2004.



Slika 14: Merjenje neto sevanja, dosepelega in odhodnega kratkovalovnega sevanja, neto sevanja, dosepelega in odhodnega dolgovalovnega sevanja, temperature, relativne vlažnosti zraka ter hitrosti in smeri vetra na meteorološki postaji Sveti Štefan

3.3.4 Temperatura in vlažnost tal

Temperatura zemlje je bila merjena s pomočjo upornika, tanke žičke, ki je bila vtaknjena v zemljo na določenih globinah: na 1, 2, 5 in 70 cm na obeh ploskvah. S povečano temperaturo, se je povečala tudi upornost žičke, ki je bila merjena z uporometrom. V avtomatskem zapisovalniku so se neposredno shranjevale vrednosti temperatur, zato ni bilo potrebnega dodatnega preračunavanja.

Vlažnost zemlje se je merila na različnih globinah (Slika 15) z avtomatskim zapisovanjem rezultatov na 30 min (Vrije Universiteit Amsterdam) s CS615 oz. CS616 senzorji (Campbell Scientific Inc., ZDA). Na južni ploskvi je bilo pet CS616 senzorjev nameščenih že spomladi 2003; na globinah 5, 11, 25, 40 in 75 cm, vendar prvi senzor ni deloval. Na severni ploskvi sta bila jeseni 2003 nameščena le dva senzorja CS615 na globinah 5 in 11 cm, ker je bila zemlja pretrda za globlje nameščanje. Spomladi so bili na obeh ploskvah senzorji ponovno nameščeni; severni ploskvi pet CS615 senzorjev na globinah 5, 11, 25, 45 in 75 cm ter na južni ploskvi pet CS616 senzorjev na globinah 5, 11, 25, 40 in 75 cm.



Slika 15: Senzorji za merjenje vlažnost zemlje na različnih globinah

»CS615, CS616 Water content reflectometers« so reflektometri, namenjeni merjenju volumske vsebnosti vode v tleh ali drugih poroznih snoveh. Podatek o vsebnosti vode je izpeljan iz občutljivosti senzorjev na vrednost dielektrične konstante snovi, ki obdaja cevi senzorja. Izhodni podatek reflektometra je $\pm 0,7$ V pravokotno valovanje napetosti s frekvenco, odvisno od vsebnosti vode.

3.3.5 Transpiracija

V zadnjih desetletjih je bilo razvitih mnogo tehnik merjenja transpiracije (Ward in Robinson, 2000). Sedaj najpogosteje uporabljena metoda je tehnika »eddy-covariance«. Kljub temu v našem primeru ni bila izbrana zaradi treh vzrokov. Prvič, spreminjata se raznolikost gozdnega sestoja in pokrovnost tal raziskovalne površine v obliki zaplat. Drugič, zemeljsko površje našega raziskovalnega območja je strmo (Massman in Lee, 2002). Tretjič, izgradnja za tehniko eddy-covariance dovolj visokega stolpa je bila tehnično neizvedljiva. Meritve transpiracije so bile zato izpeljane s tehniko merjenja gostote toka drevesnega soka skozi deblo. Prednosti sap flow tehnike so v kratkem časovnem merilu nespremenljive in zanesljive meritve ter uporabnost za vsako področje (Wilson et al., 2002). Slabosti so, da tok drevesnega

soka skozi deblo, t.i. transpiracijski tok, lahko zaostaja za dejansko transpiracijo (Meinzer et al., 2004), da je za preračunavanje transpiracije na nivo sestaja potrebno določiti merila (Wilson et al., 2002) ter da se istočasno ne meri tudi tok ogljikovega dioksida (van der Tol, 2007).

3.3.5.1 Metoda Granier

Za določitev transpiracije je bil po metodi Granier na obeh ploskvah na vzorčnih drevesih merjen transpiracijski tok s sondo za merjenje oddane toplote, angl. t.i. Thermal dissipation probe (TDP). Na ta način dobljena vrednost transpiracijskega pretoka skozi deblo je zelo dober približek vrednosti dejanske transpiracije drevesa (Granier, 2000).

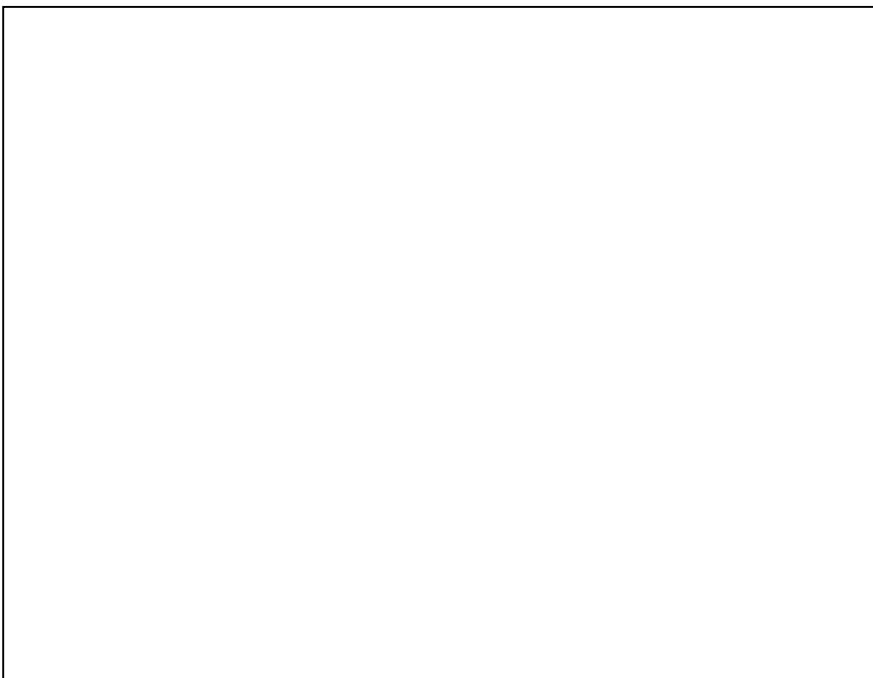
TDP neposredno meri razliko električne napetosti (ΔU), ki jo lahko ob natančno poznani vrednosti površine beljave drevesa lahko pretvorimo v transpiracijski pretok E_t ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Metoda z merjenjem oddane toplote je cenovno dostopna in preprosta ter z možnostjo povezave z digitalnim zapisovalcem podatkov. Prilagojena je za nepretrgano merjenje transpiracije na nivoju drevesa vsake velikosti (Granier, 2000). Princip meritve je razvil dr. Andre Granier iz INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) v Franciji in je bil široko sprejet med raziskovalci s področja rastlin in njihove porabe vode (gozdarstvo, poljedelstvo, vinogradništvo) (Granier, 2000).

3.3.5.1.1 Razlaga metode in principi meritve

Sonda je sestavljena iz dveh igel (senzorjev), ki sta med seboj povezani in nameščeni na neki medsebojni vertikalni razdalji v zunanjem delu lesa, ki prevaja vodo (Slika 16). Zgornja igla vsebuje tudi pritrjen žični grelec, ki je stalno segrevan. Na polovici dolžine vsake igle je nameščen termočlen s spojem bakra-konstantan, t.i. termočlen tipa T.

Po osnovnem principu metode Granier tehnika oddane toplote meri razliko med temperaturo segrevane zgornje igle in temperaturo referenčne spodnje igle. Transpiracijski tok teče čez igli, ki delujeta kot toplotna senzorja; spodnja zaznava temperaturo transpiracijskega toka v

deblu, zgornjo segrevano pa transpiracijski tok hladi. Ko se tok povečuje, se merjena razlika (ΔT) zmanjšuje. Pri hitrem transpiracijskem toku je razlika temperatur igel nizka, ker zgornja igla toploto, ki jo je prejela s segrevanjem, tudi hitro odda. Ko je hitrost toka enaka nič, je temperaturna razlika med senzorjema največja (ΔT_{max}), saj segrevana igla toplote ne oddaja več. Na ta način metoda omogoča neprekinjeno merjenje tudi pri majhnem toku. Za segrevanje se uporablja regulirana, poznana električna napetost in deblo je stalno segrevano na približno 8°C nad temperaturo prostora.



Slika 16: Princip metode Granier

Posebna odlika sond za merjenje oddane toplote (TDP) je uporabljena metoda stalnega segrevanja (Granier, 2000), ko grelni element sonde stalno deluje in omogoča nepretrgane in pogoste meritve. Ta princip je v nasprotju z metodo, angl. t.i. Heat Pulse Velocity method (HPV), kjer je hitrost transpiracijskega toka dobljena iz časovnega zamika med posameznimi pulzi in razdalje med senzorji. V sistemu toplotnih pulzov sta čas in razdalja nevarna za napake, medtem ko pri metodi TDP ni kritičen niti čas niti razdalja. Poleg tega metoda HPV zahteva čakalno dobo med branji, medtem ko metoda TDP podatkovnemu zapisovalcu omogoča stalno razpoložljive signale.

Granier je določil brezdimenzijski indeks pretoka, angl. t.i. Flow index (K), ki je izračunan iz izmerjenih temperaturnih razlik in teh največje vrednosti, ko je hitrost transpiracijskega toka enaka nič. Potem je z uporabo debel premera 40 do 50 mm uvedel empirično zvezo med vrednostjo K in dejansko hitrostjo transpiracijskega toka, merjenega v (m s^{-1}) (glej podpoglavje Metoda Granier). Ta eksponentna zveza se je med obsežnim številom drevesnih vrst le malo razlikovala (Granier, 2000).

Poleg nepretrganega posnetka hitrosti transpiracijskega toka daje metoda TDP tudi oceno transpiracijskega pretoka. Ta je zmnožek hitrosti in transpiracijske površine. Površina mora biti določena za vsak vzorec merjenega drevesa posebej. Na ta način sicer dobimo le oceno transpiracijskega pretoka, ki pa je za mnoge namene dovolj natančna. Za natančnejšo določitev transpiracijskega pretoka moramo množitelja najti iz empiričnega umerjanja vsakega merjenega debla (Granier, 2000).

Znotraj površine beljave se hitrost transpiracijskega toka spreminja (Granier, 1987). Zato je količina, merjena z metodo TDP, integral hitrosti transpiracijskega toka čez radialen prerez površine beljave. Poleg tega je dejanska ali mikroskopska hitrost drevesnega soka v ksilemskih žilah, izmerjena z barvnimi indikatorji, pomembno večja od makroskopske hitrosti, ki jo pokaže metoda TDP, kjer je iz položaja igel povprečeno na celotno površino beljave. Dolžina igle in debelina beljave pa ne moreta biti popolnoma enaki. To dejstvo vnaša negotovost v izračun hitrosti transpiracijskega toka, ki se odraža v zvezi med hitrostjo in temperaturno razliko, kot je razvidno iz dela Granier (1987).

Kljub dvema viroma napak, ki sta navedena v zgornjih dveh odstavkih in mogočim vplivom okoljskih spremenljivk na temperaturno razliko, metoda TDP daje uporabne rezultate in sprejemljivo skladnost z neodvisnimi ocenami transpiracijskega pretoka (Granier, 1987).

3.3.5.2 Izvajanje meritev

Na vsaki ploskvi je bilo pred začetkom meritev izbranih po šest vzorčnih dreves tako, da čim boljše predstavljajo razporeditev drevesnih vrst in debelin debel. Od najštevilčnejše prisotnih

drevesnih vrst na vsaki ploskvi je bilo izbrano najmanj eno drevo. Tri drevesne vrste so bile izbrane na obeh ploskvah; mali jesen, navadni gaber ter hrast. Med vzorce so bile vzete tako vrste obročastoporoznega lesa (hrast in mali jesen) kakor tudi vrste raztresenoporoznega lesa (navadni gaber in maklen). Vsako drevo je bilo označeno s svojo številko, izmerjen je bil obseg, ocenjena površina krošnje, površina beljave pa je bila določena ob koncu meritev. Glej Preglednico 4.

Preglednica 4: Drevesa, na katerih je bila merjena transpiracija

	Vzorčna drevesa		Oznaka	Obseg	Premer	Transp. površina
	latinsko poimenovanje	slovensko poimenovanje		dreves (cm)		
Sever	<i>Fraxinus ornus</i>	mali jesen	S1	40	12.7	80.375
	<i>Acer campestre</i>	maklen	S2	58	18.5	125.375
	<i>Quercus petraea</i>	graden	S3	98.5	31.4	226.625
	<i>Quercus petraea</i>	graden	S4	36.7	11.7	72.125
	<i>Quercus petraea</i>	graden	S5	99	31.5	227.875
	<i>Carpinus betulus</i>	navadni gaber	S6	56.7	18.1	122.125
Jug	<i>Quercus pubescens</i>	puhasti hrast	J1	81.8	26.1	184.875
	<i>Quercus cerris</i>	cer	J2	48.4	15.4	101.375
	<i>Quercus pubescens</i>	puhasti hrast	J3	50.8	16.2	107.375
	<i>Sorbus domestica</i>	skorš	J4	34.5	11	66.625
	<i>Fraxinus ornus</i>	mali jesen	J5	25.4	8.1	43.875
	<i>Fraxinus ornus</i>	mali jesen	J6	20.6	6.6	31.875

Transpiracijski pretok je bil merjen s TDP merilni instrumenti z uporabo metode Granier. Instrumenti so bili izdelani na Vrije Universiteit Amsterdam. Zapisujejo razliko med električno napetostjo na izhodu zgornjega segrevanega senzorja in električno napetostjo na izhodu spodnjega referenčnega senzorja. Termočlen je namreč element, ki ga dobimo, če žici iz ustrezno izbranih materialov zvarimo le na enem koncu in zvar izpostavimo merjeni temperaturi (Karba, 1994). Med prostima koncema žice se pojavi električna napetost, odvisna od temperaturne razlike med obema koncema elementa. Na določenih temperaturnih območjih je linearnost razmerja med električno napetostjo in temperaturo zelo dobra (Karba, 1994).

Na vsakem od izbranih dreves je bil transpiracijski pretok merjen na višini 1.3 m, angl. t.i. breast high, na dveh nasprotnih strani debla; na prisojni (vzhodni) in osojni (zahodni) strani. Igli merilnih sond merita 22 mm in sta nameščeni na sredini dolžine t.j. na razdalji 12 mm od konca senzorja, med seboj vertikalno oddaljeni 10 cm (Slika 17). Igli sta bili nežno potisnjeni v 20 mm dolga aluminijasta valja premera 2 mm, napolnjena s toplotopredvodno silikonsko pasto (WAPA-Z, TRIBOLUB, Nizozemska) in nameščena na zunanjem obroču drevesnega debla, pravokotno na drevesne letnice. Zgornja igla s senzorjem je segrevana s stalno električno močjo, medtem ko spodnji referenčni senzor zaznava temperaturo debla. Konec segrevane igle je na 20-ih centimetrih tesno ovit v bakren ovoj, ki omogoča segrevanje. Moč zagotavlja oskrbni sistem, ki omogoča uravnavanje dovajanja moči za vsak senzor posebej (Vrije Universiteit Amsterdam). Deblo je 20 cm pod in 20 cm nad senzorjem ovito z materialom, ki odbija sončno svetlobo in tako preprečuje segrevanje senzorjev od zunaj (Slika 18 in Slika 19). Signali senzorjev, nameščenih na vzhodni in zahodni strani, se dejansko niso razlikovali, kar dokazuje učinkovitost zaščite pred sončnim sevanjem.

Poleg merske sonde inštrument sestavljata še kabel in škatla z zapisovalcem podatkov in virom električne moči (Slika 20).



Slika 17: Senzorji na vzhodni in zahodni strani debla na višini 1.3 m, t.i. »breast high«



Slika 18: Zaščita senzorjev pred mehanskimi poškodbami s stiroporjem



Slika 19: Zaščita senzorjev pred zunanjim segrevanjem z aluminijasto folijo



Slika 20: Del merilne opreme je tudi zapisovalec podatkov, ki zapisuje in shranjuje izmerjene podatke v izbranih časovnih razmikih

3.3.6 Metode izračunov

. Za izračune je bil uporabljen računalniški program Matlab. V njem napisani M-file programi omogočajo enostavnejše preračunavanje in prikazovanje rezultatov meritev.

3.3.6.1 Metoda izračuna deficita tlaka vodne pare

Za izračun deficita tlaka vodne pare iz izmerjene temperature zraka in relativne vlažnosti zraka je bila uporabljena naslednja enačba (Dingman, 1994):

$$VPD = 0,611 \left(\frac{7,5T_z}{237,3+T_z} \right) \cdot (1 - RH)$$

Enačba 6

kjer je

VPD deficit tlaka vodne pare (kPa)

T_Z temperatura zraka (°C)

RH relativna vlažnost zraka (-)

S funkcijo Satvap(T), napisano v programu Matlab, je bil najprej izračunan nasičen parni tlak za polurne vrednosti temperature zraka za severno in južno ploskev, potem pa še deficit tlaka vodne pare za polurne vrednosti relativne vlažnosti zraka za severno in južno ploskev (Priloga A).

3.3.6.2 Metoda izračuna volumske vsebnosti vlage v tleh

Pravokotno valovanje napetosti predstavljajo vrednosti trajanja potovanja signala (t), ki so pretvorjene v vsebnost vode v tleh z uporabo kalibracijskih enačb oblike:

$$\frac{\theta}{P} = C_0 + C_1 \cdot t + C_2 \cdot t^2 \quad \text{Enačba 7}$$

kjer je

$$\frac{\theta}{P} \quad \dots \text{volumska vsebnost vode na delež merjene prostornine tal (m}^{-3}\text{)}$$

C_0, C_1, C_2 kalibracijski koeficienti za tla na gozdnih ploskvah (-)

t trajanje potovanja signala (μs)

Kalibracijski koeficienti so se za severno in južno gozdno ploskev razlikovali, zato:

$$\frac{\theta}{P_{Sever}} = -0.2408 + 0.1761 \cdot t + 0.1328 \cdot t^2 \quad \text{Enačba 8}$$

in

$$\frac{\theta}{P_{Jug}} = 0.0103 + -0.0201 \cdot t + 0.0009 \cdot t^2 \quad \text{Enačba 9}$$

Rezultat kalibracijskih enačb je volumska vsebnost vode na delež merjene prostornine tal $\frac{\theta}{P}$

(m^{-3}). Da bi dobili volumsko vsebnost vode v tleh (θ), so bile $\frac{\theta}{P}$ vrednosti pomnožene z deleži merjene prostornine tal za posamezno globino sensorja in potem skupaj seštete v končno vrednost θ za severno in južno ploskev, za leti 2003 in 2004:

$$\theta_{Sever,2003} = \frac{\left(\frac{\theta}{P_5} + \frac{\theta}{P_{11}}\right)}{2} \quad \text{Enačba 10}$$

$$\theta_{Jug,2003} = \frac{\theta}{P_{11}} \cdot 0.18 + \frac{\theta}{P_{25}} \cdot 0.145 + \frac{\theta}{P_{40}} \cdot 0.25 + \frac{\theta}{P_{75}} \cdot 0.425 \quad \text{Enačba 11}$$

$$\theta_{Sever,2004} = \frac{\theta}{P_5} \cdot 0.08 + \frac{\theta}{P_{11}} \cdot 0.1 + \frac{\theta}{P_{25}} \cdot 0.17 + \frac{\theta}{P_{45}} \cdot 0.25 + \frac{\theta}{P_{75}} \cdot 0.4 \quad \text{Enačba 12}$$

$$\theta_{Jug,2004} = \frac{\theta}{P_5} \cdot 0.08 + \frac{\theta}{P_{11}} \cdot 0.1 + \frac{\theta}{P_{25}} \cdot 0.145 + \frac{\theta}{P_{45}} \cdot 0.25 + \frac{\theta}{P_{75}} \cdot 0.425 \quad \text{Enačba 13}$$

Opisani preračuni so bili izvedeni s funkcijo CalcSMC.m, napisano v programu Matlab (Priloga B).

3.3.6.3 Metoda izračuna transpiracije

Rezultat naših meritev T.D.P. so bile polurne vrednosti napetosti električnega toka za posamezno deblo (Priloga C), shranjene v podatkovnem zapisovalcu. Cilj meritev je bil pridobiti vrednosti transpiracijskega pretoka, ki se lahko nadalje pretvori na nivo sestoja in se uporablja kot samostojno komponento hidrološkega kroga ter vrednosti toka latentne toplote transpiracije, ki omogoča primerjavo transpiracije na nivoju energije in energijske bilance.

Zato so bili neposredno dobljeni podatki napetosti s funkcijo Sapflow.m preračunani v vrednosti hitrosti transpiracijskega toka (V) (Priloga D). V Prilogi E so prikazane povprečne vrednosti hitrosti transpiracijskega toka za posamezni senzor

3.3.6.3.1 Metoda Granier

Za izračun transpiracijskega pretoka je bila vzeta Granier-jeva empirična enačba. Obstaja sicer poseben model prenosa toplote v steblih rastlina ali deblih dreves, vendar je Granier ni uporabil. Metoda Granier je osnovana na preprosti teoriji, ki povezuje hitrost tekočine in

oddajanje toplote telesa. Podobni senzorji in tehnike anemometrov z vročo žico se pogosto uporabljajo tudi za druge namene.

Granier je določil brezdimenzijski parameter K kot:

$$K = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T}{\Delta T}. \quad \text{Enačba 14}$$

ΔT je merjena razlika med zgornjo segrevano iglo in spodnjo primerjalno iglo. Parameter ΔT_{\max} je vrednost ΔT , ko ni transpiracije oz. ko ni transpiracijskega toka. Ko je $\Delta T = 0$, je $K = \infty$ in, če je $\Delta T = \Delta T_{\max}$, je $K = 0$ in tedaj ni transpiracijskega toka.

Ker je na merjenem temperaturnem območju linearnost zelo dobra, lahko upoštevamo:

$$K = \frac{\Delta U_{\max} - \Delta U}{\Delta U}. \quad \text{Enačba 15}$$

Analogno je ΔU je merjena razlika med zgornjo segrevano iglo in spodnjo referenčno iglo. Parameter ΔU_{\max} je vrednost ΔU , ko ni transpiracije oz. ko je transpiracijski toka enak nič. Ko je $\Delta U = 0$, je $K = \infty$ in, če je $\Delta U = \Delta U_{\max}$, je $K = 0$ in tedaj ni transpiracijskega toka.

Granier je empirično prišel do ugotovitve, da je hitrost transpiracijskega toka V (m s^{-1}) v eksponentni odvisnosti od vrednosti K :

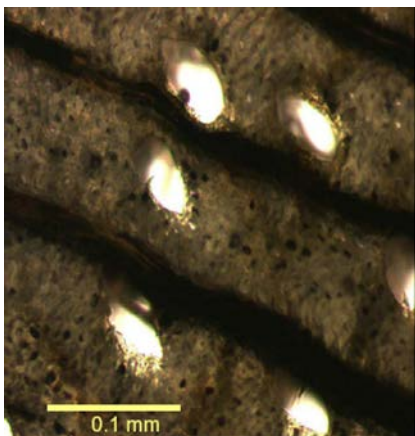
$$V = 0.000119 \cdot K^{1.23}. \quad \text{Enačba 16}$$

3.3.6.3.2 Metoda izračuna faktorja površine beljave f_A

Faktor f_A je brezdimenzijsko razmerje površine beljave na enoto gozdnih tal, ki je potrebna za preračune transpiracije na nivo gozdnega sestoja oz. raziskovalne ploskve. Ker so igle senzorjev dolge 20 mm in so bile vstavljene v toplotopredoden material, je bilo privzeto, da je merjen transpiracijski pretok učinkovit transpiracijski pretok na zunanjih 20 mm debla, čeprav pri večini drevesna beljava sega globlje kot 20 mm v deblo. O dejanski površini beljave je

bilo sklepano iz mikroskopske analize lesa vsakega od preučevanih dreves, ki so bili leta 2004 na koncu sezone rasti vzeti v pravokotni smeri glede na drevesne letnice. Z ostrim rezilom je bila izrezana približno 0.1 mm tanka plast lesnega tkiva. Pod mikroskopom je bila vizualno ocenjena prisotnost aktivnih ksilemskih žil v njem.

Slika 21 prikazuje primer slike aktivnih ksilemskih žil pri navadnem gabru. Večina ksilemskih žil je bila prisotna v zunanjih 20 mm lesa, nekaj pa jih je segalo tudi do globine 40 mm. Ker je bilo 10 do 30% ksilemskih žil prisotnih na globinah večjih od 20 mm, je bila za globino beljave uporabljena skupna vrednost $25 \text{ mm} \pm 10 \%$ za vsa drevesa na obeh ploskvah.



Slika 21. Slika aktivnih ksilemskih žil pri navadnem gabru

Celotna površina beljave na enoto gozdnih tal f_A ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$) je bila izračunana iz meritev premera vseh dreves na vsaki ploskvi po naslednjih enačbah:

$$f_A = \frac{b_A}{p}$$

Enačba 17

kjer je

b_A površina beljave vseh dreves na gozdni ploskvi (m^2)

p površina gozdne ploskve (m^2)

$$b_A = \sum_{i=1}^n \pi \cdot (r_i^2 - (r_i - 0,025)^2) = \sum_{i=1}^v b_i$$

Enačba 18

kjer je

 π 3,14 r_i polmer debla posameznega drevesa (m)

0,025 povprečna vrednost debeline beljave (m)

 n število vseh dreves na ploskvi v število prisotnih drevesnih vrst na ploskvi b_i celotna površina beljave vrste

V Preglednici 5 in Preglednici 6 spodaj so prikazane lastnosti gozdnih sestojev na severni in južni raziskovalni ploskvi, ki so bile določene za izračun faktorja površine beljave.

Preglednica 5: Lastnosti gozdnega sestoja na severni raziskovalni ploskvi

Vrsta dreves		Št. dreves vrste	Delež vrste	Povp. polmer vrste	Povp. površina beljave vrste	Celotna površina beljave vrste
lat.	slo.	m (-)	p (%)	\bar{r}_i (cm)	\bar{b}_i (cm ²)	b_i (cm ²)
<i>Carpinus betulus</i>	navadni gaber	36	0.65	5.66	72.00	3816
<i>Quercus cerris</i>	cer	13	0.24	12.48	180.12	2702
<i>Carpinus orientalis</i>	kraški gaber	11	0.20	6.28	77.23	1622
<i>Acer campestre</i>	maklen	10	0.18	5.96	83.29	916
<i>Fraxinus ornus</i>	mali jesen	10	0.18	3.79	39.91	439
<i>Ostrya carpinifolia</i>	črni gaber	8	0.15	2.44	20.44	184
<i>Quercus pubescens</i>	puhasti hrast	2	0.04	14.88	214.12	428
	drugo	1	0.02	10.23	140.99	282

Preglednica 6: Lastnosti gozdnega sestoja na južni raziskovalni ploskvi

Vrsta dreves		Št. dreves vrste	Delež vrste	Povp. polmer vrste	Povp. površina beljave vrste	Celotna površina beljave vrste
<i>lat.</i>		<i>m</i> (-)	<i>p</i> (%)	\bar{r}_i (cm)	\bar{b}_i (cm ²)	<i>b_i</i> (cm ²)
<i>Fraxinus ornus</i>	mali jesen	99	0.46	2.27	17.00	1666
<i>Quercus pubescens</i>	puhasti hrast	70	0.33	5.64	76.62	3754
<i>Ostrya carpinifolia</i>	črni gaber	16	0.07	2.12	15.09	256
<i>Quercus cerris</i>	cer	7	0.03	7.18	93.57	655
<i>Sorbus domestica</i>	skorš	5	0.02	2.69	23.89	119
<i>Carpinus betulus</i>	navadni gaber	5	0.02	3.41	34.68	173
<i>Acer campestre</i>	maklen	3	0.01	2.88	25.53	76
	drugo	9	0.04	4.29	39.65	384

Izračunani vrednosti faktorja površine beljave f_A za severno in južno raziskovalno ploskev sta podani v Preglednici 7.

Preglednica 7: Faktor površine beljave f_A za severno in južno raziskovalno ploskev

	Sever	Jug
f_A	0.001662223	0.001669967

3.3.6.3.3 Srednja vrednost transpiracijskega pretoka

Na vsaki ploskvi je bila transpiracija merjena z 12-imi senzorji na različnih drevesnih vrstah. Zato je bilo potrebno za oceno srednje vrednosti hitrosti transpiracijskega toka uporabiti tehtano aritmetično sredino, saj imajo različne drevesne vrste različen vpliv na izračunano povprečje. Uteži so vrednosti f_i , s katerimi utežimo transpiracijski pretok vsake vrste z njenim prispevkom beljave k celotni površini beljave. Vrednosti f_i so podane v Preglednici 8.

Preglednica 8: Vrednosti f_i , sorazmerni deleži beljav drevesnih vrst k celotni površini beljave

f_i	Sever	Jug
gaber	0,53	0,02
maklen	0,09	0,01
mali jesen	0,04	0,24
skorš	0	0,02
hrast	0,30	0,64
drugo	0,05	0,07

Tehtana aritmetična sredina hitrosti transpiracijskega toka \bar{V} (m s^{-1}) je bila izračunana kot:

$$\bar{V} = \sum f_i \cdot \bar{V}_i \quad \text{Enačba 19}$$

kjer je

f_i sorazmerni delež beljave i -drevesne vrste k celotni površini beljave

\bar{V}_i srednja vrednost meritev hitrosti transpiracijskega toka i -drevesne vrste

3.3.6.3.4 Transpiracijski pretok in tok latentne toplote transpiracije

Transpiracijski pretok E_t (mm dan^{-1}) za posamezno gozdno ploskev je bil definiran kot:

$$E_t = f_A \cdot \bar{V} \cdot \rho_{H_2O} \cdot 86400 \frac{\text{s}}{\text{dan}} \quad \text{Enačba 20}$$

kjer je

f_A faktor površine beljave ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$)

\bar{V} tehtana aritmetična sredina hitrosti transpiracijskega toka (m s^{-1})

ρ_{H_2O} gostota vode (1000 kg m^{-3})

Tok latentne toplote transpiracije λE ($W m^{-2}$) za posamezno gozdno ploskev bil s funkcijo Upscalesap.m (Priloga F) izračunan kot:

$$\lambda E = \lambda \cdot E_t \quad \text{Enačba 21}$$

kjer je

λ latentno toploto izhlapevanja vode ($2,5 MJ kg^{-1}$)

E_t transpiracijski pretok za posamezno gozdno ploskev ($mm dan^{-1}$)

3.3.6.3.5 Kumulativni transpiracijski pretok

Za prikaz razlike v transpiraciji med vrstami za rastno obdobje 2004 je bil v podpoglavju 4.1.2 uporabljen t.i. kumulativni transpiracijski pretok posamezne drevesne vrste $kumE_{ti}$:

$$kumE_{ti} = \frac{E_{ti} - \overline{E_{ti}}}{\sum E_{ti}} \quad \text{Enačba 22}$$

kjer je

E_{ti} transpiracijski pretok posamezne drevesne vrste ($mm dan^{-1}$)

$\overline{E_{ti}}$ letni povprečni transpiracijski pretok posamezne vrste ($mm dan^{-1}$)

$\sum E_{ti}$ skupen letni transpiracijski pretok vseh vrst ($mm dan^{-1}$)

Oblika grafa nam kaže sezonsko spreminjanje transpiracije. Raven kumulativni graf pomeni, da se transpiracija ne spreminja. Če graf najprej narašča in potem pada, je transpiracija visoka na začetku sezone in nizka na koncu. Če pa graf najprej pada in potem narašča, je transpiracija nižja na začetku kot na koncu sezone.

4 REZULTATI IN ANALIZA

4.1 Transpiracija posameznih dreves in drevesnih vrst na severni in južni ploskvi za rastno obdobje 2004

4.1.1 Povprečna hitrost transpiracijskega toka

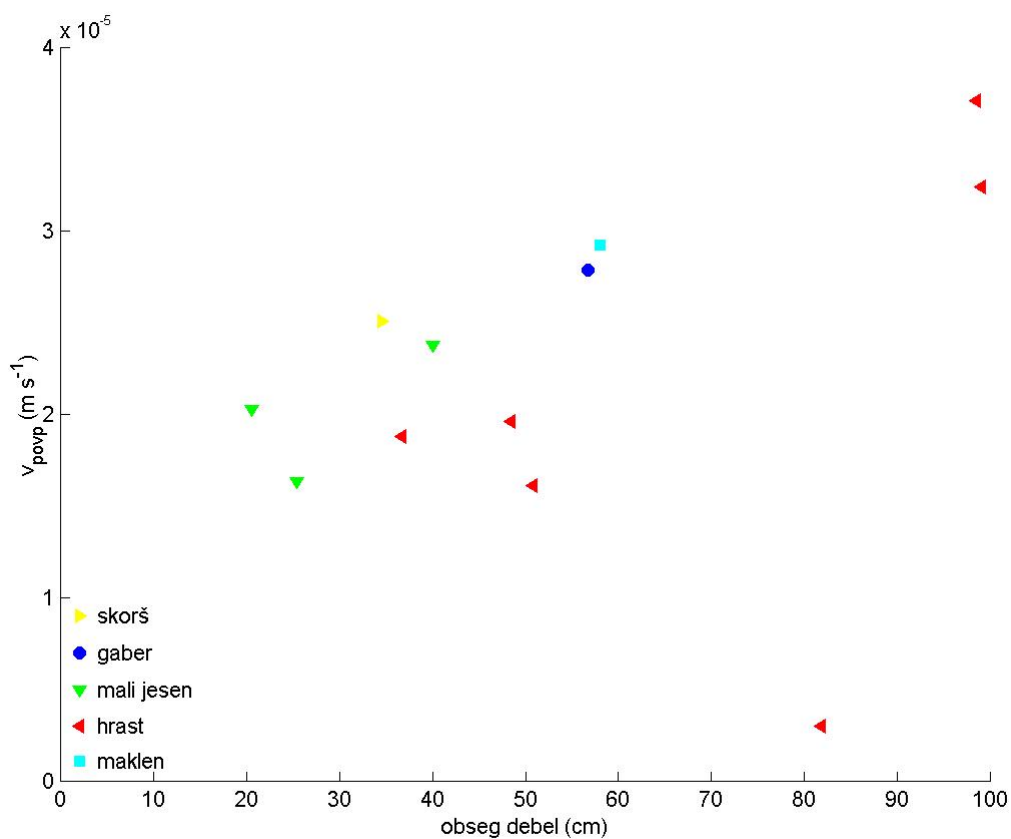
Vrednosti povprečne hitrosti transpiracijskega toka za rastno obdobje 2004, merjene na 12-ih drevesih, so se med seboj znatno razlikovale (Slika 22). Na severni ploskvi so se povprečne hitrosti razvrstile med 0.1877 (S4) in $0.3712 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$ (S3), s skupnim povprečjem $0.2819 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$ (Preglednica 9). Na južni ploskvi so bile povprečne hitrosti nekoliko nižje; med 0.0298 (J1) in $0.2509 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$ (J4), s skupnim povprečjem $0.1674 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$ (Preglednica 10). Na južni ploskvi izstopa vrednost povprečne hitrosti transpiracijskega toka za drevo J1, ki je zaradi senčnega položaja izjemno nizka v primerjavi z povprečnimi hitrostmi ostalih dreves.

Preglednica 9: Povprečne hitrosti transpiracijskega toka za posamezno merjeno drevo na severni ploskvi

Oznaka drevesa	Obseg debla (cm)	V_{povp} ($\cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$)
S1	40	0.2375
S2	58	0.2925
S3	98.5	0.3712
S4	36.7	0.1877
S5	99	0.3240
S6	56.7	0.2784
<i>Povprečje</i>	64.8	0.2819

Preglednica 10: Povprečne hitrosti transpiracijskega toka za posamezno merjeno drevo na južni ploskvi

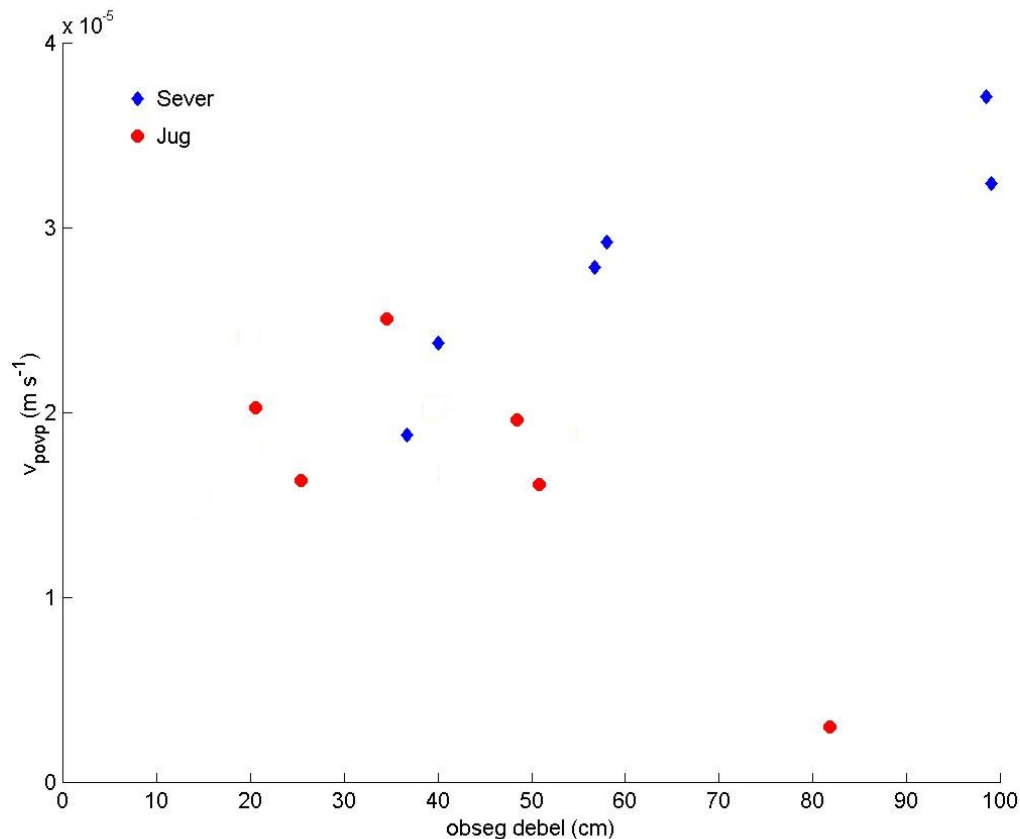
Oznaka drevesa	Obseg debla (cm)	V_{povp} ($\cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$)
J1	81.8	0.0298
J2	48.4	0.1961
J3	50.8	0.1611
J4	34.5	0.2509
J5	25.4	0.1636
J6	20.6	0.2029
<i>Povprečje</i>	43.6	0.1674



Slika 22: Povprečne hitrosti transpiracijskega toka v odvisnosti od obsega debel za posamezne drevesne vrste za severno in južno ploskev

Med obsegom debel in povprečnimi hitrostmi transpiracijskega toka ni bilo najti smotrnih povezav s primerjavo posameznih vrst (Slika 22). Do podobnih zaključkov pri drugih gozdnih sestojih in drevesnih vrstah so prišli tudi Vertessy et al. (1995), Delzon in Loustau (2005),

Poyatos et al. (2005). Medtem ko pa nam je primerjava Severa in Juga (Slika 23) že dala slutiti različne pogoje za transpiracijo na severni in južni ploskvi.

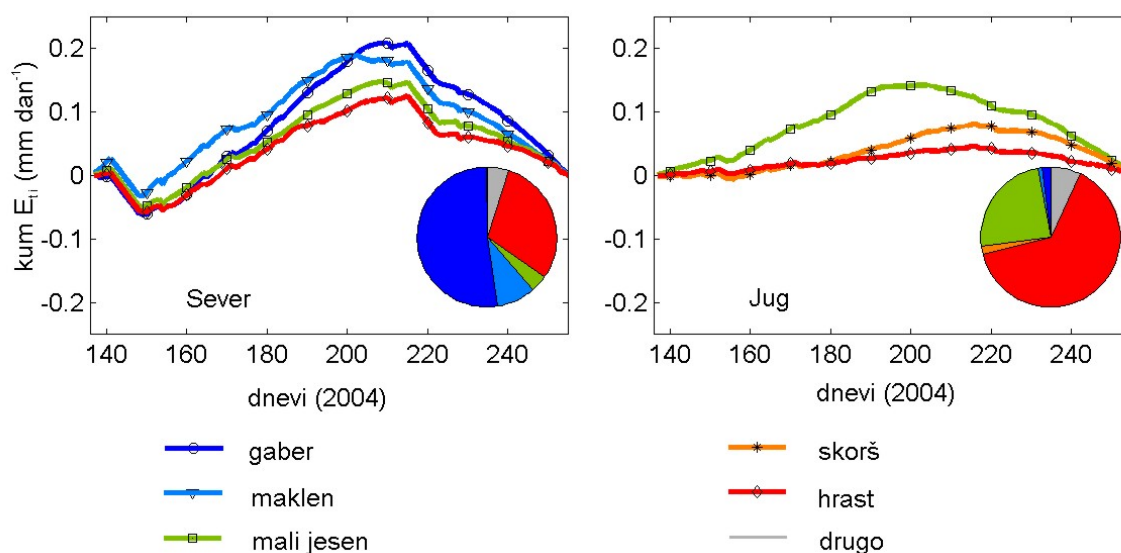


Slika 23: Povprečne hitrosti transpiracijskega toka v odvisnosti od obsega debel za severno in južno ploskev

4.1.2 Kumulativni graf transpiracijskega pretoka

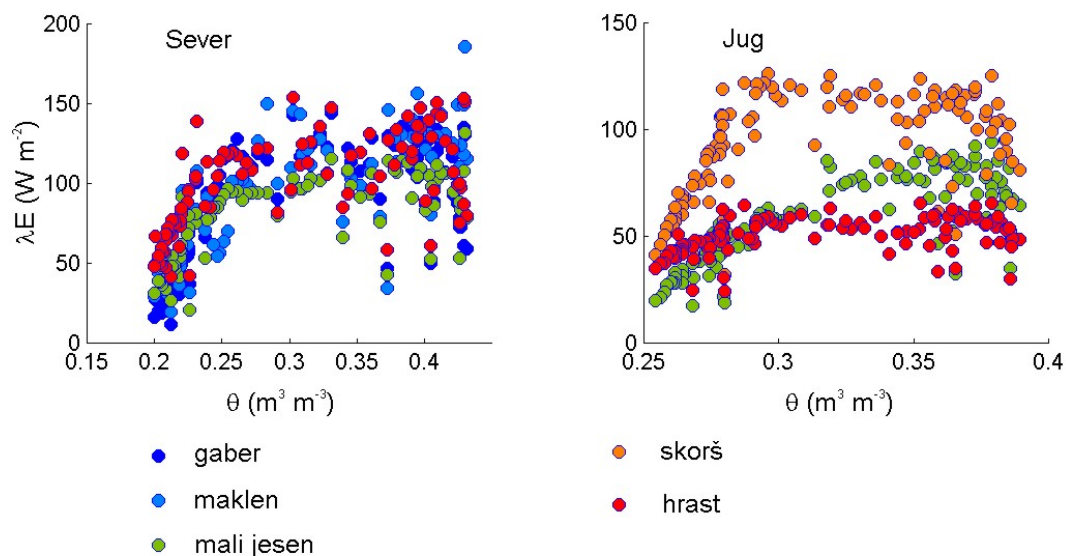
Veliko več nam o različni transpiraciji posameznih drevesnih vrst povedo vrednosti transpiracijskega pretoka in kumulativni graf le-teh za severno in južno ploskev po posameznih vrstah za obdobje od 14. maja do 10. septembra 2004 na Sliki 24. Iz kumulativnega grafa je namreč zelo dobro razvidno spreminjanje transpiracijskega pretoka skozi obdobje rasti, spreminjanje transpiracije posameznih drevesnih vrst ter razlika med severno in južno ploskvijo. Vrednosti $kumE_{ti}$, izračunane po Enačbi 29 za posamezno drevesno vrsto, podajajo odstopanja trenutne transpiracije od povprečne.

Negativne vrednosti $kumE_{ti}$ pomenijo nižjo trenutno transpiracijo od povprečne. Vzrok za zelo malo negativnih vrednosti $kumE_{ti}$ na Jugu je omejeno obdobje prikazanih kumulativnih vrednosti. Kajti 14. maja je transpiracija na južni ploskvi že nad povprečjem celotnega leta. Iz kumulativnega grafa je lepo vidno različno obnašanje istih vrst na Severu in Jugu. Hrast in mali jesen sta bila namreč prisotna na obeh ploskvah, a ima za oba $kumE_{ti}$ izrazito drugačen potek na severni kot na južni ploskvi. Transpiracija je bila čez obdobje rasti na južni ploskvi enakomernejše razporejena kot na severni ploskvi in ima zato graf položnejšo obliko za vse vrste. Ker je vpliv položaja na vrste tako močan, smo ocenili, da je smiselno zanemariti vpliv vrst na transpiracijo in transpiracijski pretok obravnavati na nivoju sestoja.



Slika 24: Kumulativni graf E_t za severno in južno ploskev po posameznih vrstah od 14. maja do 10. septembra 2004

Tudi odvisnost transpiracije od vsebnosti vlage v tleh (Slika 25) upravičuje zanemarjenje vpliva posameznih drevesnih vrst na transpiracijo in preračun na nivo sestoja. Tudi tu je namreč veliko močnejše razlikovanje med ploskvama kot pa med posameznimi drevesnimi vrstami.



Slika 25: Tok latentne toplote transpiracije (λE) v odvisnosti od vsebnosti vlage v tleh (θ) za posamezne drevesne vrste na severni in južni ploskev za 2004.

4.1.3 Vpliv starosti sestoja severne in južne ploskve na transpiracijski pretok

Starost gozda vpliva na transpiracijo v njem (Vertessy et al., 1995). Od starosti drevesa je namreč odvisen polmer debla, od njega debelina prevajalnega lesa in od te moč transpiracijskega toka (Delzon in Loustau, 2005). Ista avtorja v svoji študiji o vplivu starosti gozdnega sestoja na transpiracijski pretok ugotavljata, da je ta pri starejših sestojih ob enakih okoljskih pogojih občutno zmanjšana. Kot glavna vzroka avtorja navajata i) zmanjšanje transpiracije na enoto lista zaradi zmanjšanja prevodnosti listnih rež pri višjih drevesih in ii) pomembno zmanjšanje *LAI*. Naši raziskovalni ploskvi se razlikujeta tako v starosti, kot tudi v *LAI* (Preglednica 1), vendar bomo sestojev obšli pri našem ocenjevanju vplivov okoljskih dejavnikov starost. Kajti v našem primeru starost sestojev manjša razlike v transpiraciji med ploskvama, t.j. zmanjšuje transpiracijo na starejši severni ploskvi ter jo povečuje na mlajši južni ploskvi. Zato se moramo zavedati, da je razlika v transpiraciji med osojno in prisojno lego dejansko še večja, kot jo prikazujejo naši rezultati. Delzon in Loustau (2005) sta pri preučevanju sestojev različnih starosti našla veliko izrazitejše sezonsko spreminjanje transpiracije pri mlajših sestojih. Tega za naš Sever in Jug ne moremo trditi. Spreminjanje

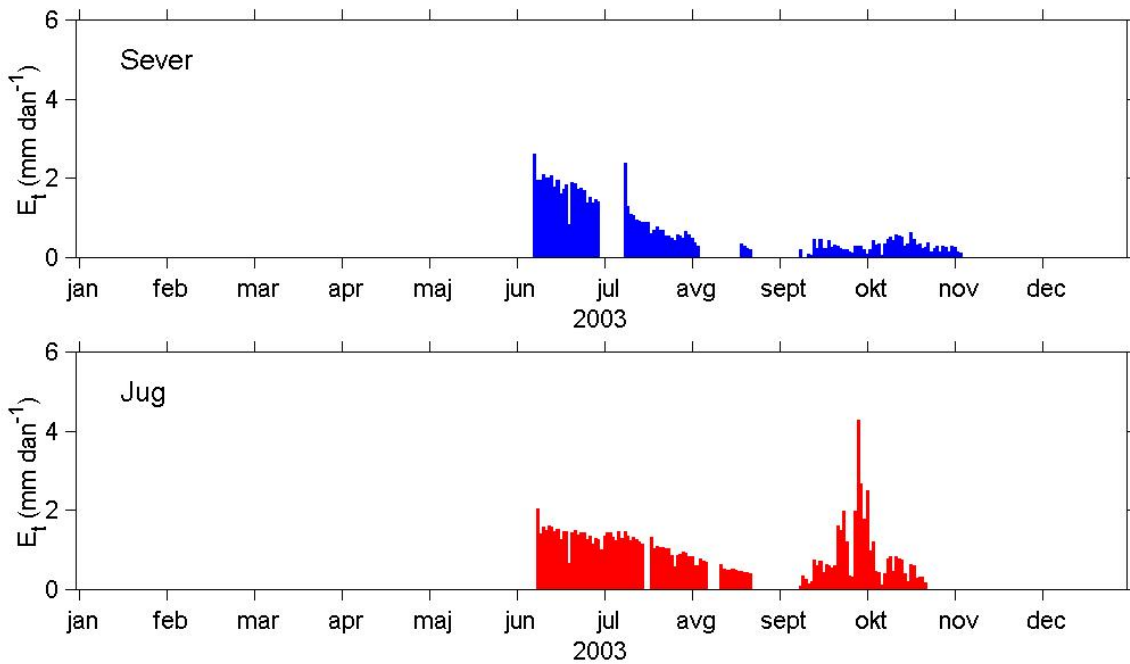
transpiracije preko leta je namreč večje ravno na starejši severni ploskvi. Tako lahko še mirneje obidemo vpliv starosti na ploskvah in se osredotočimo na vplive okoljskih dejavnikov.

4.2 Transpiracija sestoja na severni in južni ploskvi v rastnih obdobjih 2003 in 2004

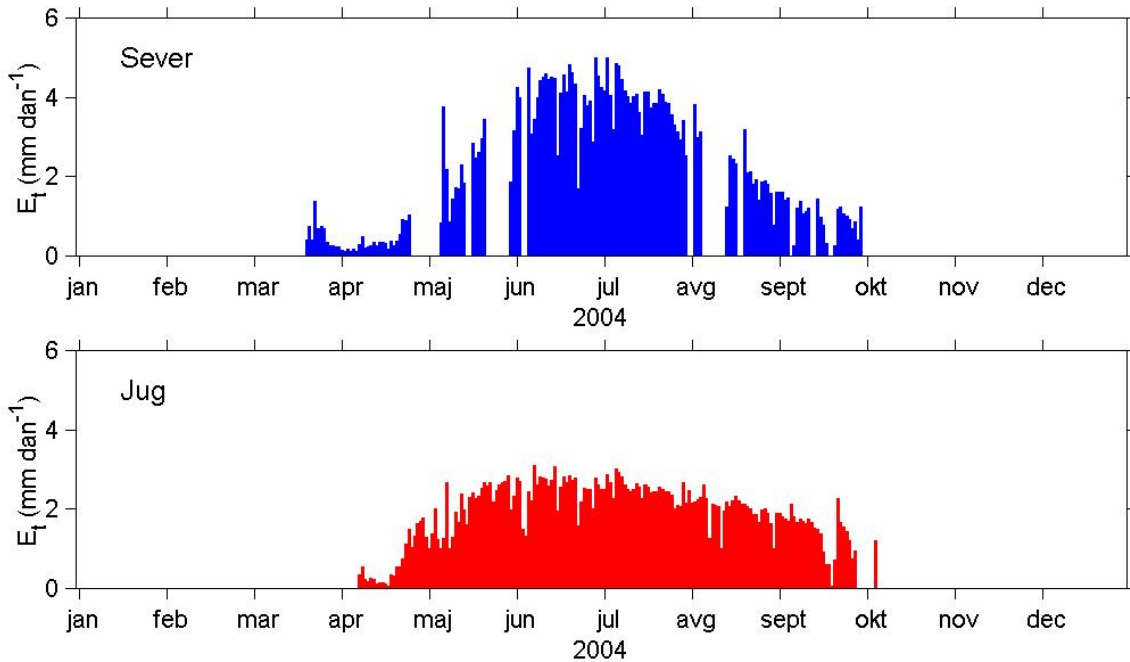
Vrednosti dnevni povprečij transpiracijskega pretoka na nivoju sestoja (E_t) na severni in južni ploskvi iz meritev v letih 2003 in 2004 so prikazane na Sliki 26 in Sliki 27. Prvotno je bilo leto 2003 namenjeno le umerjanju in pripravi na študije v letu 2004. Toda ker je bilo leto 2003 izjemno sušno leto (Casty et al., 2005), leto 2004 pa s hidrološkega stališča eno izmed povprečnih, se nam je ponudila izjemna priložnost, da opazujemo razliko v odzivu severne in južne ploskve na pojav suše. Podatki so tako za leto 2003 sicer okrnjeni in od septembra dalje neuporabni, a iz njih lahko vseeno nekaj razberemo. Izbor let 2003 in 2004 nam je omogočil prikaz osnovnih mikroklimatskih razmer in transpiracije v izbranih gozdnih sestojih v ekstremnih razmerah: v sušnih razmerah v vegetacijskem obdobju leta 2003 ter v običajno do nadpovprečno mokrem vegetacijskem obdobju v letu 2004 (Vilhar, 2006).

Vzrok za manjkajoče podatke na severni ploskvi leta 2004 je izpraznenje avtomobilske baterije, ki je oskrbovala instrumente z električno energijo.

Sezonska poraba vode se je v obravnavanih sestojih močno razlikovala tako v jakosti kakor tudi v dinamiki transpiracije. Stopnje transpiracije so bile za leto 2004 očitno višje na severni ploskvi, kjer je bila $E_{Tmax} = 5.0 \text{ mm dan}^{-1}$, kot na južni ploskvi, kjer je bila $E_{Tmax} = 3.1 \text{ mm dan}^{-1}$. V izjemno sušnem letu 2003 sta bili obe vrednosti nižji, prav tako tudi razlika med njima; $E_{Tmax} = 2.1 \text{ mm dan}^{-1}$ na severni in $E_{Tmax} = 1.6 \text{ mm dan}^{-1}$ na južni ploskvi.



Slika 26: Spreminjanje dnevni povprečij transpiracijskega pretoka na nivoju sestoja (E_t) na severni in južni ploskvi iz meritev v letu 2003



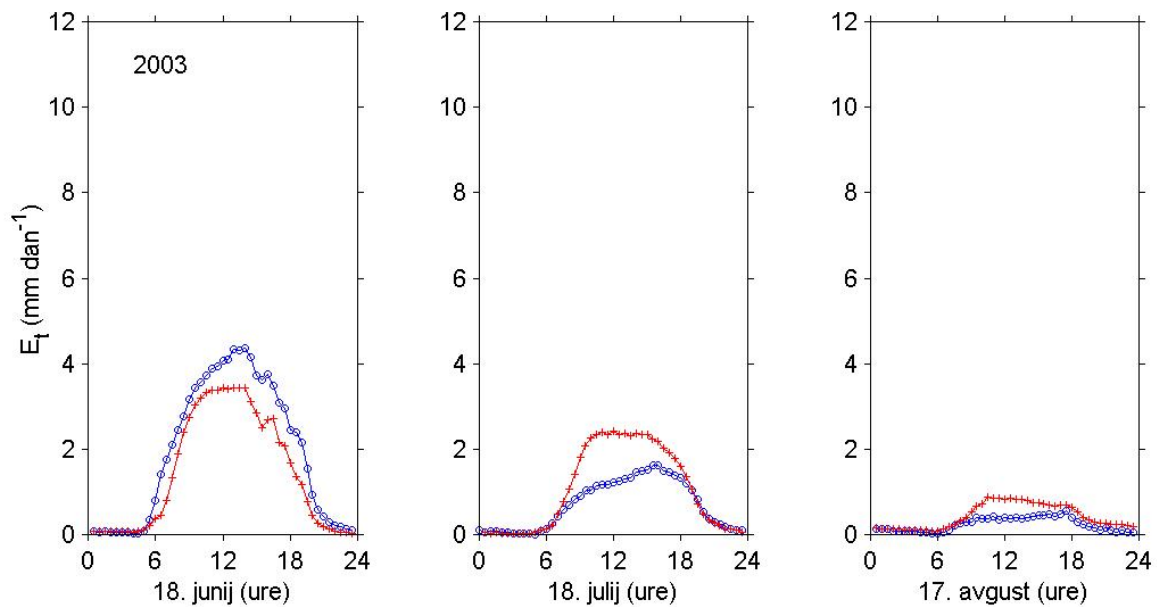
Slika 27: Spreminjanje dnevni povprečij transpiracijskega pretoka na nivoju sestoja (E_t) na severni in južni ploskvi iz meritev v letu 2004

Na Sliki 27 je lepo vidna dinamika spreminjanja transpiracije v letu 2004 za Sever in Jug. V dneh pred brstenjem v sredini aprila so bile vrednosti E_t nizke, po brstenju pa je E_t hitro narasel. Na severni ploskvi se je transpiracije postopoma povečevala in dosegla vrh v začetku julija (1. julij, 182. dan), potem se je zopet postopoma zmanjševala do pozne jeseni. Na južni ploskvi se je transpiracija spomladi in v zgodnjem poletju povečevala mnogo hitreje in dosegla maksimalno vrednost transpiracijskega pretoka že 5. julija (157. dan), in sicer 3.1 mm dan⁻¹, ki pa je znašala le 62 % maksimalne vrednosti na Severu. Od tu se je zmanjševala počasneje in obdržala povprečne vrednosti blizu maksimalne. Za primerjavo dinamike v letu 2003 žal nismo imeli dovolj podatkov (Slika 26), vendar smo iz teh iz druge polovice sezone predpostavljali, da je bila podobna kot v letu 2004.

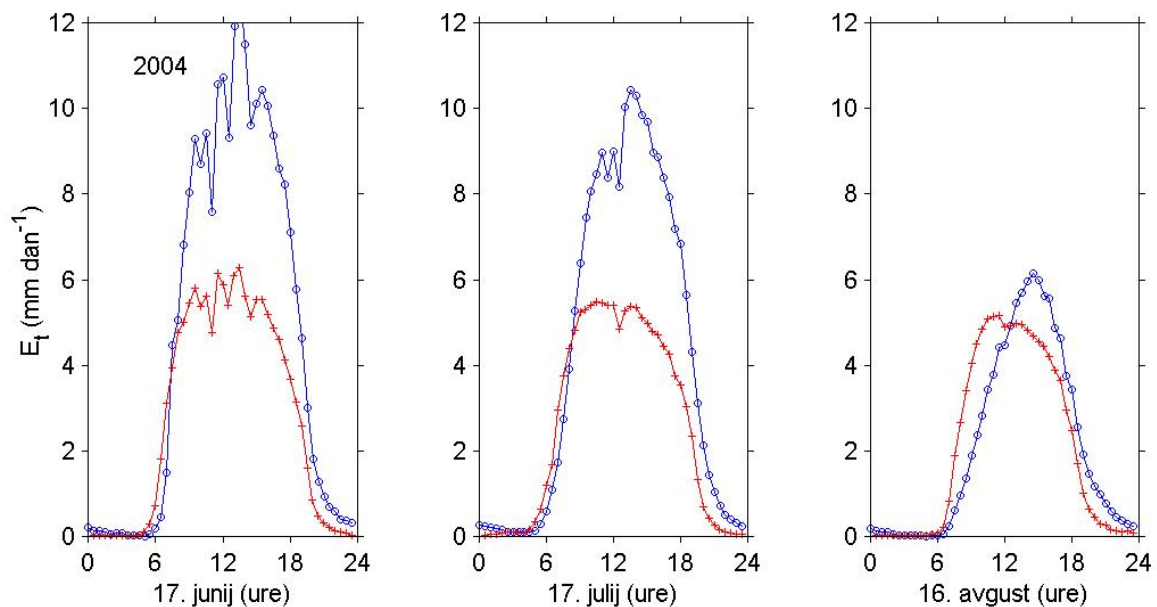
V letu 2004 je povprečna vrednost na severni ploskvi 2.2 mm dan⁻¹, na južni 1.9 mm dan⁻¹, medtem ko je ta v sušnem letu 2003 na severni ploskvi le 31% in na južni 53% vrednosti iz leta 2004.

Dnevno spreminjanje transpiracije sestojata v treh različnih poletnih dneh na severni in južni ploskvi je prikazano na Sliki 28 za leto 2003 in na Sliki 29 za leto 2004. Transpiracijski pretok E_t je celotno leto 2004 ostal večji na Severu, medtem ko se je v letu 2003 zmanjšala pod vrednosti na južni ploskvi (Slika 29). Razlog je v različnem odzivu severne in južne ploskve na sušo. Južno ploskev namreč so namreč pokrivala predvsem drevesne vrste hrasta, maklen in mali jesen, ki so glede vlage izrazito skromne drevesne vrste (Kotar in Brus, 1999). Na severni ploskvi pa je prevladoval navadni gaber, ki se po svojih hidroloških lastnostih bistveno razlikuje od zgoraj omenjenih drevesnih vrst. Zanj je značilno, da je v južnem delu svojega življenjskega prostora pogostejši na vlažnih, svežih, včasih severnih in senčnih rastiščih (Nardini et al., 1999).

Zanimiva sta dve že na prvi pogled opazni razliki v obliki spreminjanja transpiracije preko dneva na severni in južni ploskvi (Slika 28 in Slika 29): i) razlikuje se čas, ko transpiracijski pretok doseže maksimalne vrednosti; na južni ploskvi med 10. in 13. uro, na severni pa med 14. in 17. uro ter ii) v letu 2003 so vrhovi transpiracije odsekani. Razlog za obe oblikovni posebnosti je mogoče omejitev transpiracije z zaprtjem listnih rež.



Slika 28: Dnevno spreminjanje transpiracijskega pretoka na nivoju sestoja (E_t) za Sever (\circ) in Jug ($+$) za tri različne poletne dneve za leto 2003

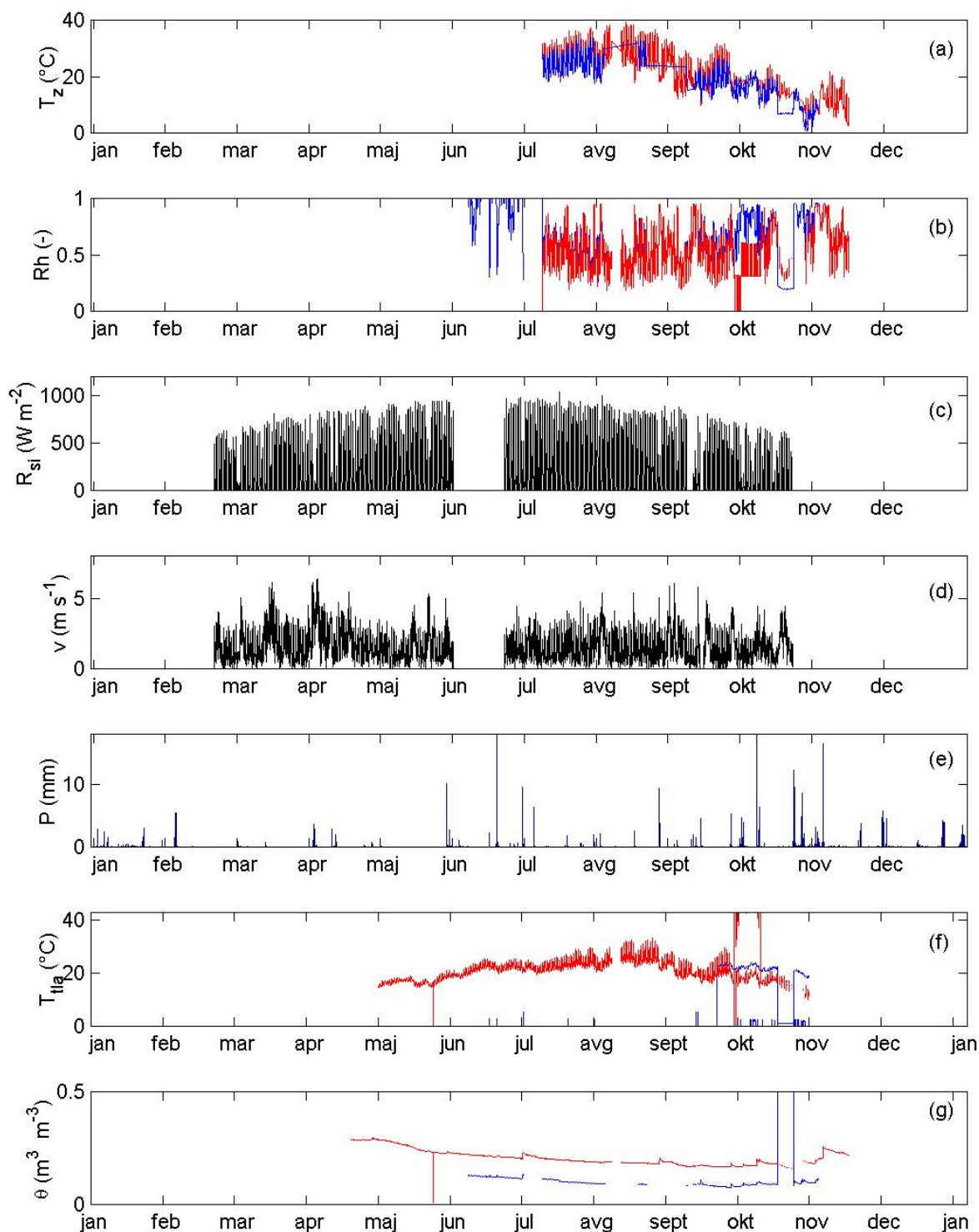


Slika 29: Dnevno spreminjanje transpiracijskega pretoka na nivoju sestoja (E_t) za Sever (\circ) in Jug ($+$) za tri različne poletne dneve za leto 2004

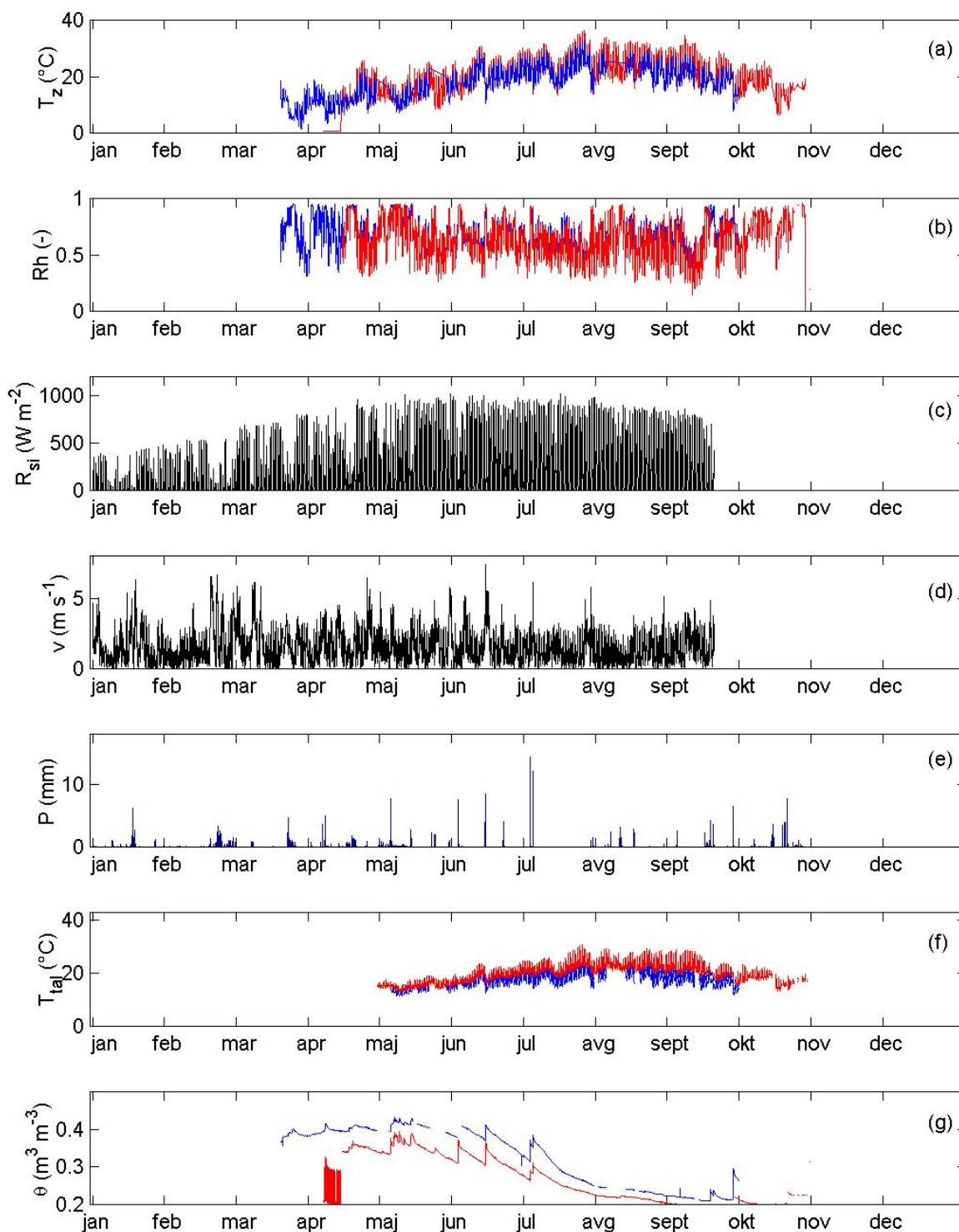
4.3 Vpliv okoljskih dejavnikov na transpiracijo sestoja

Spreminjanje okoljskih dejavnikov v opazovanem vegetacijskem obdobju 2004 je prikazano na Sliki 31. Temperatura zraka je na južni ploskvi pomembno večja kot na severni (do 6°C - 111. dan) (Slika 31a), relativna vlažnost zraka pa ves čas manjša (Slika 31b). Kratkovalovno obsevanje (Slika 31c), hitrost vetra (Slika 31d) in padavine (Slika 31e) sicer niso bili merjeni na vsaki ploskvi posebej, in nam kot taki ne morejo služiti pri primerjavi med ploskvama. Za našo študijo pa so imeli veliko vrednost, saj s svojim spreminjanjem preko vegetacijskega obdobje in nihanjem preko dneva močno vplivajo na transpiracijo. Ob predpostavki, da so vrednosti teh meteoroloških in hidroloških spremenljivk na obeh ploskvah enake, smo lahko raziskovali različen odziv transpiracije oz. tukaj prisotnega rastlinskega pokrova nanje na severni in južni raziskovalni ploskvi. Padavine na Sliki 31e so nam razložile predvsem spreminjanje vlažnosti tal skozi rastno obdobje. Tla na severni ploskvi ves čas vsebujejo občutno več vlage kot na južni (Slika 31g). Slika 31f kaže na medsebojno razlikovanje ploskev tudi v temperaturi tal, a s podobnim sezonskim potekom in temperaturnim vrhom v koncu julija.

Slika 30 prikazuje spreminjanje okoljskih dejavnikov v opazovanem vegetacijskem obdobju 2003. Iz Slike 30a vidimo, da je sušo spremljala nekoliko višja T_z , na prisojni južni ploskvi že po pričakovanjih višja kot na osojni severni. Povprečna Rh je bila leta 2003 za 12% nižja kot leta 2004, dospelo R_{si} 14% nižje, u približno enaka, vsota padavin P od začetka januarja do konca oktobra se je med letoma razlikovala za 20%.



Slika 30: Polurne vrednosti okoljskih dejavnikov v opazovanem vegetacijskem obdobju 2003: (a) temperatura zraka (T_z), (b) relativna zračna vlaga (Rh), (c) dospelokratkovalovno sončno obsevanje (R_{si}), (d) hitrost vetra (u), (e) padavine (P), (f) temperatura tal (T_{tal}), in (g) volumska vsebnost vlage v tleh (θ).



Slika 31: Polurne vrednosti okoljskih dejavnikov v opazovanem vegetacijskem obdobju 2004: (a) temperatura zraka (T_z), (b) relativna zračna vlaga (R_h), (c) dospelno kratkovalovno sončno obsevanje (R_{si}), (d) hitrost vetra (u), (e) padavine (P), (f) temperatura tal (T_{tal}), in (g) volumska vsebnost vlage v tleh (θ).

Preglednica 11: Povprečne ter maksimalne vrednosti transpiracije in okoljskih dejavnikov za Sever in Jug, 2003 in 2004 ter razmerja teh vrednosti med posameznima ploskvama in letoma

		Sever	Jug	2003 : 2004		Sever : Jug
				Sever	Jug	
λE_{maks} ($W m^{-2}$)	2003	132.5	108.4	36%	58%	122%
	2004	364.9	186.8			
E_t_{maks} ($mm dan^{-1}$)	2003	2.1	1.6	42%	52%	124%
	2004	5.0	3.1			
E_t_{povp} ($mm dan^{-1}$)	2003	0.7	1.0	32%	53%	70%
	2004	2.2	1.9			
T_z_{povp} ($^{\circ}C$)	2003	18.1	21.2	102%	111%	85%
	2004	17.8	19.1			
T_z_{maks} ($^{\circ}C$),	2003	34.0	39.2	103%	108%	87%
	2004	33.0	36.2			
T_z_{min} ($^{\circ}C$),	2003	12.2	9.9	154%	138%	123%
	2004	7.9	7.2			
VPD_{povp} (kPa)	2003	8.5	8.1	112%	83%	105%
	2004	7.6	9.8			
VPD_{maks} (kPa)	2003	38.9	45.0	125%	108%	86%
	2004	31.0	41.6			
VPD_{min} (kPa)	2003	0.9	1.2	129%	100%	75%
	2004	0.7	1.2			
θ_{povp} ($m^3 m^{-3}$)	2003	-	0.21	-	78%	-
	2004	0.33	0.27			
θ_{maks} ($m^3 m^{-3}$)	2003	-	0.29	-	76%	-
	2004	0.42	0.38			
θ_{min} ($m^3 m^{-3}$)	2003	-	0.17	-	90%	-
	2004	0.22	0.19			
Rh_{povp} (%)	2003	52.0		88%		
	2004	58.8				
$R_{si_{povp}}$ ($W m^{-2}$)	2003	372.8		114%		
	2004	328.4				
$R_{si_{maks}}$ ($W m^{-2}$)	2003	1037		101%		
	2004	1025				
u_{povp} ($m s^{-1}$)	2003	1.6		100%		
	2004	1.6				
$\sum P$ (mm) od jan. do sept.	2003	590		80%		
	2004	735				
$\sum P$ (mm) od jan. do jul.	2003	342		62%		
	2004	548				

Vpliva hitrosti vetra na transpiracijo nismo analizirali, čeprav spada med najpomembnejše okoljske dejavnike transpiracije (van Dijk, 2003). Za to smo se odločili zaradi dveh razlogov.

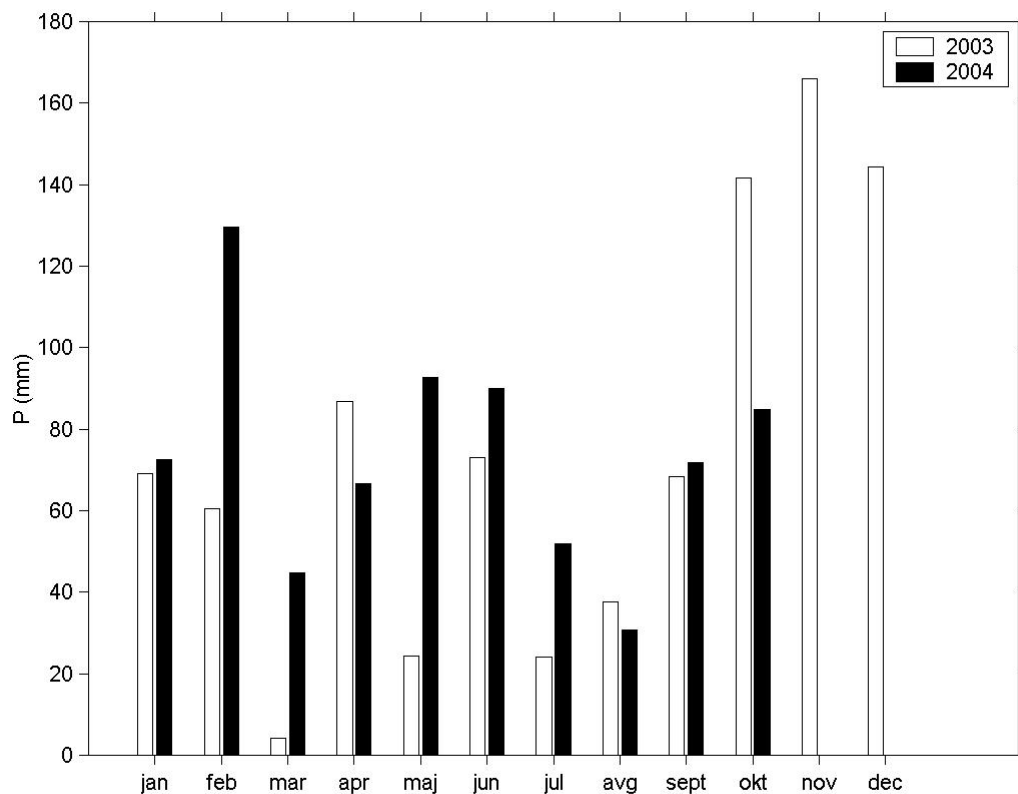
Prvi je bil kraj meritev hitrosti vetra. Hitrost vetra namreč ni bila merjena na gozdnih raziskovalnih ploskvah, ampak na 3 km oddaljeni merilni postaji na 9 m visokem stolpu. Na ta način pridobljene vrednosti se nam niso zdele primerne za analizo vpliva na transpiracijo. Ocenili smo, da se hitrost vetra znotraj gozdnih sestojev na severni in južni raziskovalni ploskvi znatno razlikujejo od izmerjenih vrednosti nad krošnjami. Pri tem smo upoštevali različno lego in gozdni pokrov različne gostote. Drugi razlog sta enaki povprečni vrednosti hitrosti vetra za 2003 in 2004 (Preglednica 11). Iz njiju smo sklepali, da se hitrost vetra med letoma ne razlikuje bistveno in zato ni razlog za razlike v transpiraciji med mokrim in sušnim letom.

V Preglednici 11 so zbrane minimalne, maksimalne in povprečne vrednosti transpiracijskega pretoka ter posameznih okoljskih dejavnikov. Pomagale so nam pri nadaljnji analizi vpliva posameznih dejavnikov na transpiracijo sestoja severne in južne raziskovalne ploskve, prikazani v sledečih podpoglavjih.

4.3.1 Padavine

Za tu prisoten submediteranski padavinski režim velja, da so podobno kot letne in sezonske vsote padavin tudi mesečne vsote zelo spremenljive, kar lahko povzroči velika odstopanja dejanskega padavinskega režima od dolgoletnega povprečja (Ogrin, 1995). Transpiracija ni neposredno odvisna od padavin, ampak padavine vplivajo na mikroklimo in tla. Tako so padavine preko vpliva na mikroklimo in lastnosti tal močan okoljski dejavnik na transpiracijo.

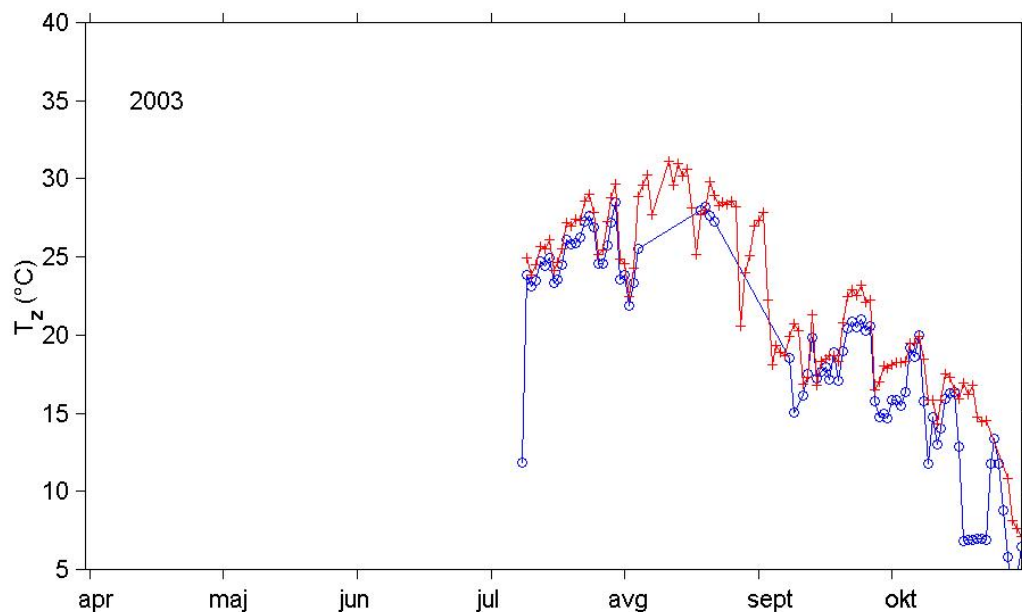
Padavine v letu 2003 so bile občutno nižje zlasti od padavin, padlih v zimskih, pomladnih ter poletnih mesecih v letu 2004 (Slika 32). Prav padavine v teh mesecih pa so najbolj odločilne za transpiracijo. Vsota padavin v letu 2003 za čas od januarja do julija je bila kar za skoraj 40% nižja od vsote padavin za isto obdobje v letu 2004 (Preglednica 11).



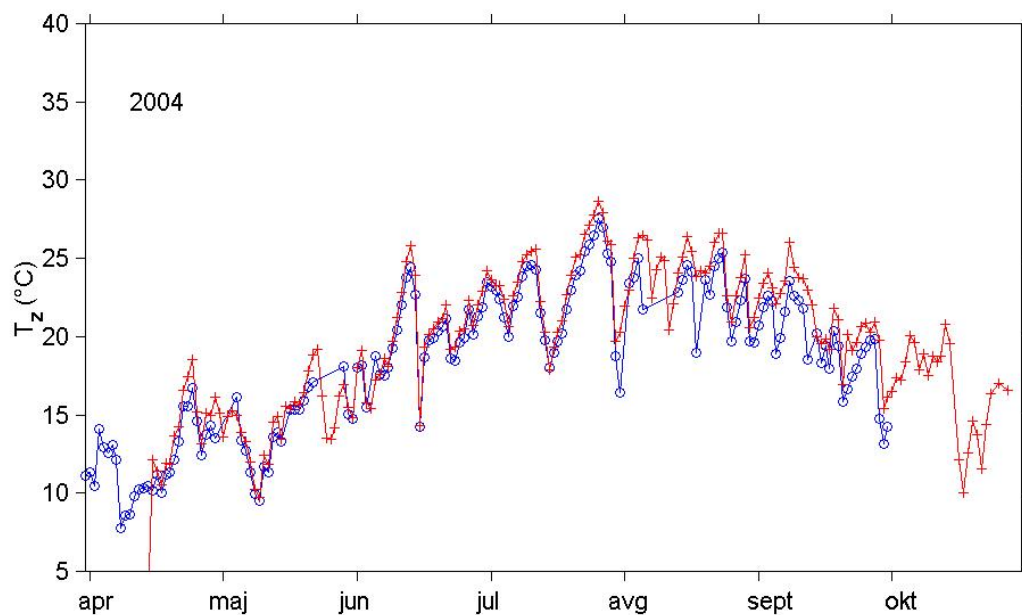
Slika 32: Mesečne vrednosti padavin nad krošnjami P za leti 2003 in 2004

4.3.2 Temperatura in vlažnost zraka

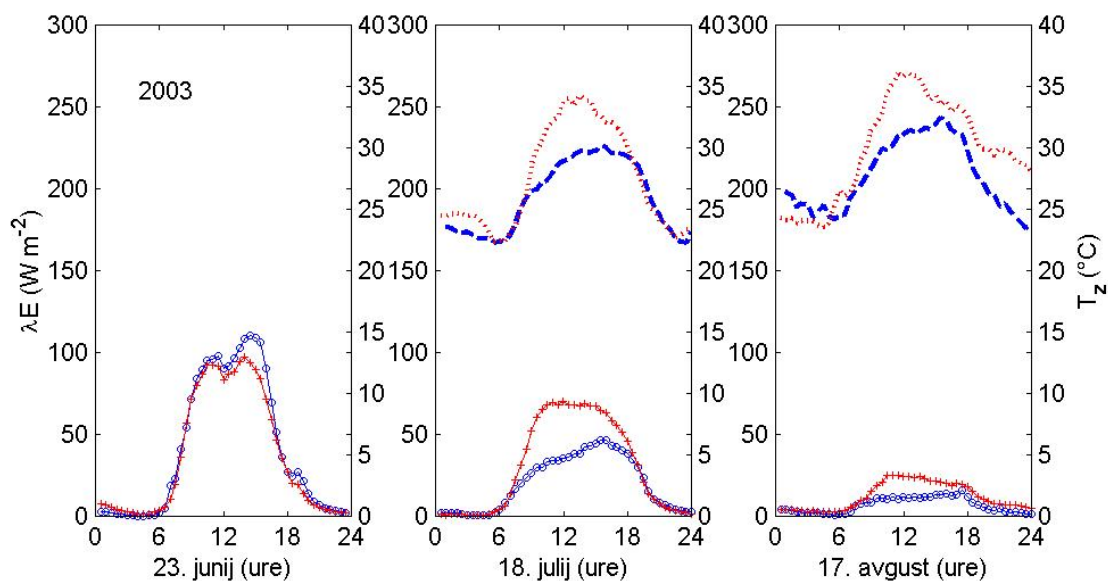
Obravnavano obdobje za temperaturo zraka smo zaradi nepopolnih podatkov in lažje primerjave med letoma vzeli od 7. julija do 25. septembra 2003 in od 14. aprila do 25. septembra 2004. Najvišje ($T_{z \max}$) in najnižje ($T_{z \min}$) polurne temperature zraka smo izmerili na južni ploskvi: 39.2 °C (9. avgusta 2003) in 7.2 °C (24. april 2004). Na severni ploskvi je bil razpon temperatur manjši, minimalna temperatura zraka je bila 7.9 °C (23. september 2004), maksimalna pa 34.0 °C (26. julij 2003).



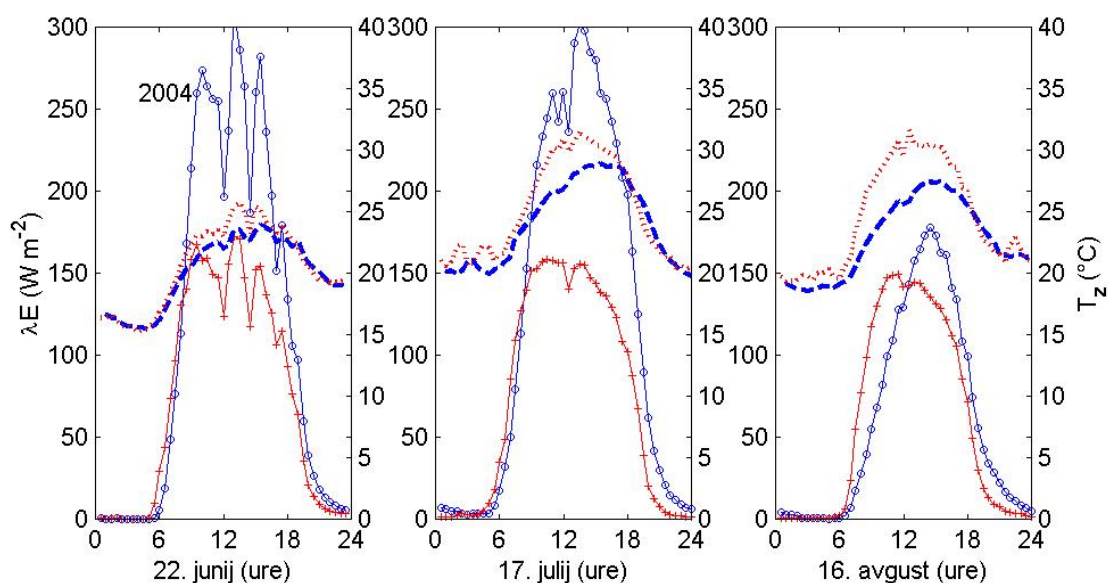
Slika 33: Spreminjanje dnevni povprečij temperature zraka (T_z) za severno (o) in južno (+) ploskev v ravnem obdobju 2003



Slika 34: Spreminjanje dnevni povprečij temperature zraka (T_z) za severno (o) in južno (+) ploskev v ravnem obdobju 2004



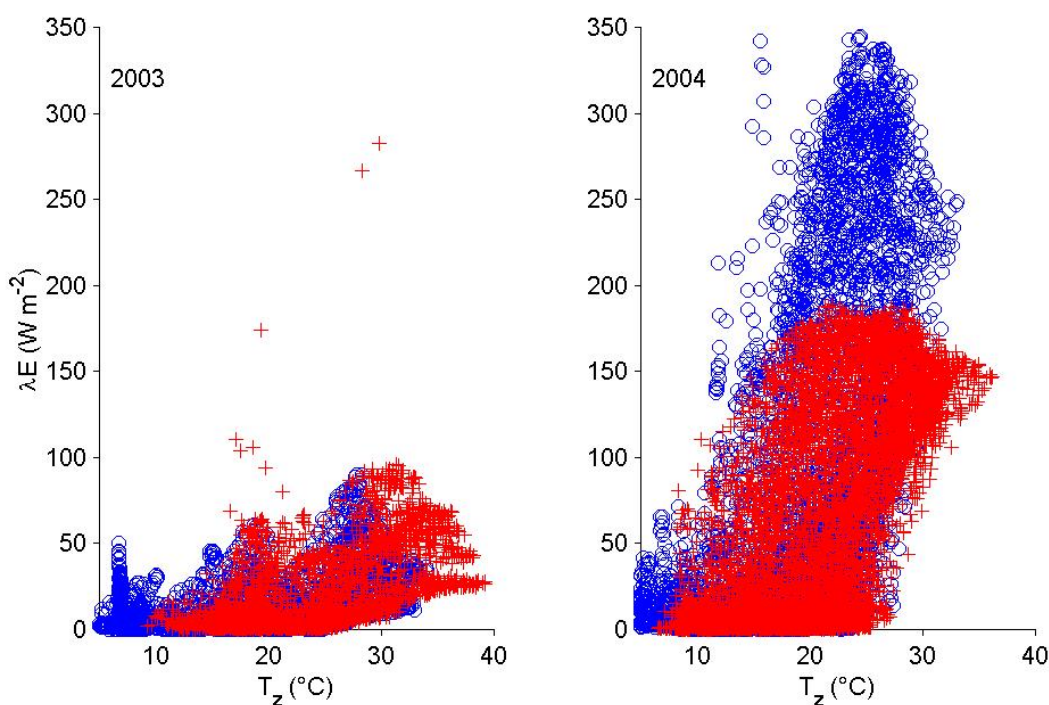
Slika 35: Dnevni potek polurnih vrednosti toka latentne toplote transpiracije (λE) za severno (\circ) in južno ($+$) ploskev ter temperature zraka (T_z) za severno ($--$) in južno (\dots) ploskev za tri različne poletne dneve za leto 2003



Slika 36: Dnevni potek polurnih vrednosti toka latentne toplote transpiracije (λE) za severno (\circ) in južno ($+$) ploskev ter temperature zraka (T_z) za severno ($--$) in južno (\dots) ploskev za tri različne poletne dneve za leto 2004

Zaradi preglednejšega prikaza so na Sliki 33 in Sliki 34 prikazane povprečne dnevne vrednosti temperatur in njihovo spreminjanje čez leto. V času meritev 2003 so na obeh

ploskvah temperature zraka dosegle najvišje vrednosti v sredi avgusta, medtem ko v letu 2004 že prej – v drugi polovici julija. Povprečna vrednost temperature zraka (T_z povp) za Sever je bila za 2003 za 15% nižja od povprečne vrednosti temperature zraka za Jug, za 2004 pa le 7% (Preglednica 11). Na severni ploskvi je bila T_z povp leta 2003 višja kot 2004 za 2%, na južni ploskvi pa za 11%.



Slika 37: Spreminjanje toka latentne toplote transpiracije (λE) s temperaturo zraka (T_z) za severno (o) in južno (+) ploskev za rastni obdobji 2003 in 2004

Dnevno spreminjanje temperature zraka (T_z) je vzporedno s spreminjanjem toka latentne toplote transpiracije (λE) za severno in južno ploskev prikazano za tri izbrane poletne dni za 2003 in 2004 na Sliki 35 in Sliki 36. Obe sliki sta dober primer, ko transpiracija ni vedno tesno povezana s temperaturo zraka. Tako na Sliki 35 kakor tudi na Sliki 36 se λE po obliki poteka in jakosti med dnevi razlikuje, medtem ko T_z ohranja približno isti vzorec in isto vrednost (med 20 in 35 °C). T_z na severni ploskvi je vedno nekoliko nižja kot na južni, obratno stalno razmerje pa ne velja vedno za λE (npr. 18. julij in 17. avgust 2003, ko je λE za Jug višja kot za Sever). Do podobnih ugotovitev so prišli tudi Granier et. al. (2000), ki so za mlad bukov gozd na vzhodu Francije ugotovili, da je temperatura zraka pod približno

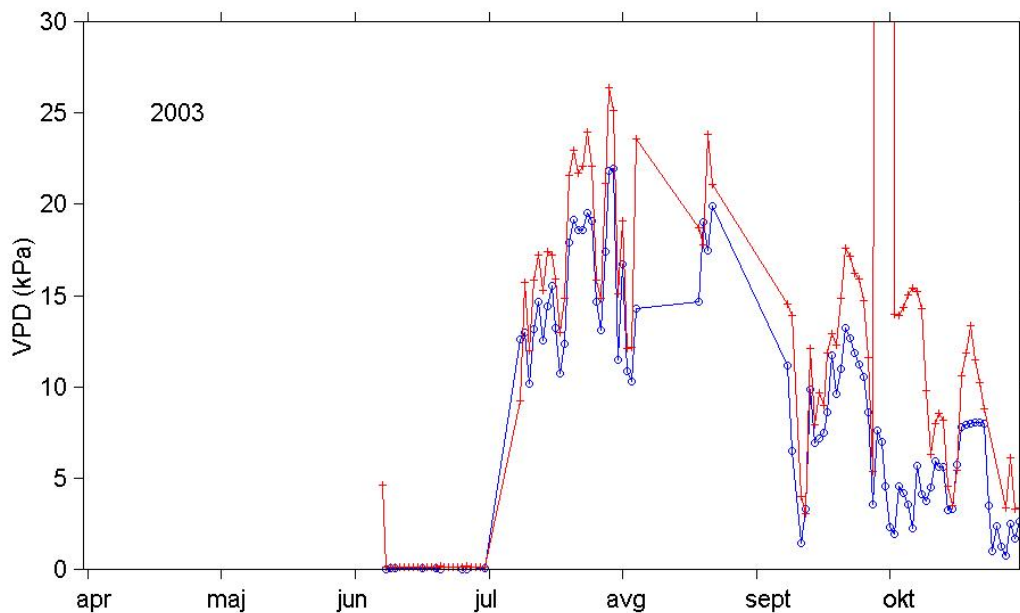
15 – 17 °C močno zmanjšala prevodnost krošnje v poletnih mesecih, medtem ko nizke T_z v septembru in oktobru niso vplivale na λE . Vpliv nizkih temperatur v višku obdobja rasti je bil opazen tudi iz naših rezultatov dnevnih povprečij T_z in E_t za leto 2004 ob primerjavi Slike 34 in Slike 27. Na Sliki 34 sta vidni dve zmanjšanji T_z : na sredi meseca junija in na sredi meseca julija, ki sta se zelo natančno ujemali z istočasnim upadom E_t na Sliki 27. Vpliv T_z na λE dodatno osvetljuje Slika 37 s prikazom polurnih podatkov. Za leto 2003 zaradi pomanjkljivih podatkov nismo mogli ničesar razbrati, za 2004 pa je vidno zmanjšanje pod 20 °C na južni ploskvi, na severni pa že pod 24 °C.

Večina študij transpiracije vključuje vpliv vlažnosti zraka nanjo (Oren et al., 1999; Oren in Pataki, 2001; Delzon in Loustau, 2005; Poyatos et al., 2005; Wullschleger et al., 2001; Hölscher et al., 2005; Martinez-Vilalta et al., 2003). Nekatere od njih so bile narejene prav s ciljem raziskati zvezo med vlažnostjo zraka in transpiracijo. Ugotovitve se močno razlikujejo glede na vrsto sestoja in ostale mikroklimatske dejavnike. Dobljene zveze so od linearnih (Oren et al., 1999) do paraboličnih (Hölscher et al., 2005). V veliki večini raziskav je vlažnost zraka izražena z deficitom tlaka vodne pare (VPD) izračunano po Enačbi 9. Na ta način je mogoče združiti dva mikroklimatska dejavnika ozračja: temperaturo in vlažnost zraka v eno količino.

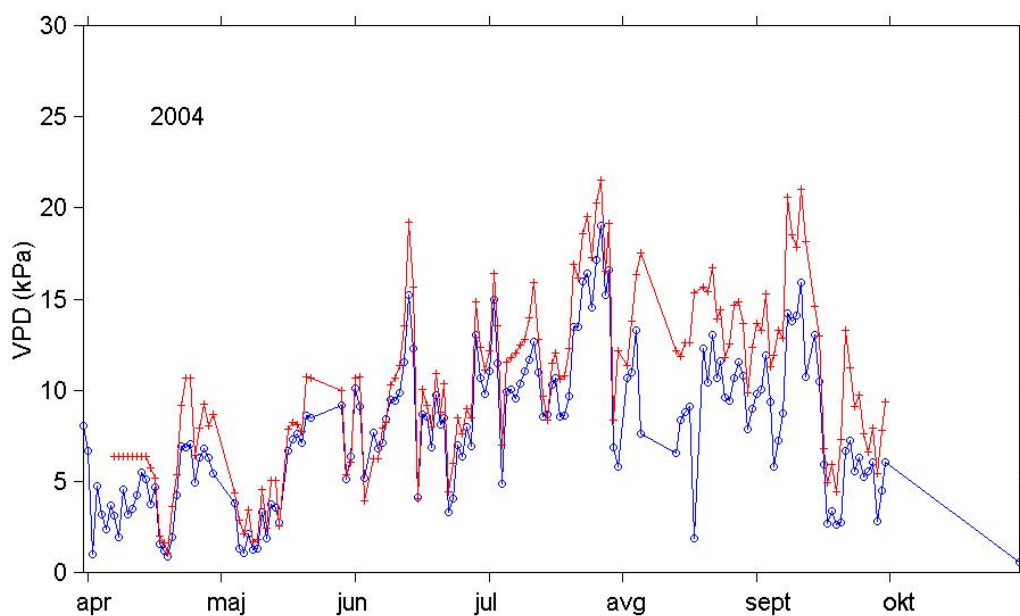
Obravnavano obdobje za deficit tlaka vodne pare smo zaradi navezave na temperaturo zraka vzeli spet od 7. julija do 25. septembra 2003 in od 14. aprila do 25. septembra 2004. Najvišje (VPD_{maks}) polurne deficite tlaka vodne pare smo izmerili na južni ploskvi, 45.0 kPa (29. julija 2003), najnižje (VPD_{min}) pa na severni ploskvi z vrednostjo 0.7 kPa (23. septembra 2004). Na južni ploskvi je bil razpon deficita tlaka vodne pare z 1.2 – 45.0 kPa nekoliko večji kot na severni z 0.7 – 38.9 kPa (Preglednica 11).

Zaradi preglednejšega prikaza so tudi za VPD prikazane povprečne dnevne vrednosti na Sliki 38 in Sliki 39 in njihovo spreminjanje čez leto. Tako v času meritev 2003 kakor tudi 2004 so na obeh ploskvah deficiti tlaka vodne pare zraka dosegli najvišje vrednosti v drugi polovici avgusta. Povprečna vrednost deficita tlaka vodne pare (VPD_{povp}) za Sever je bila v 2003 za

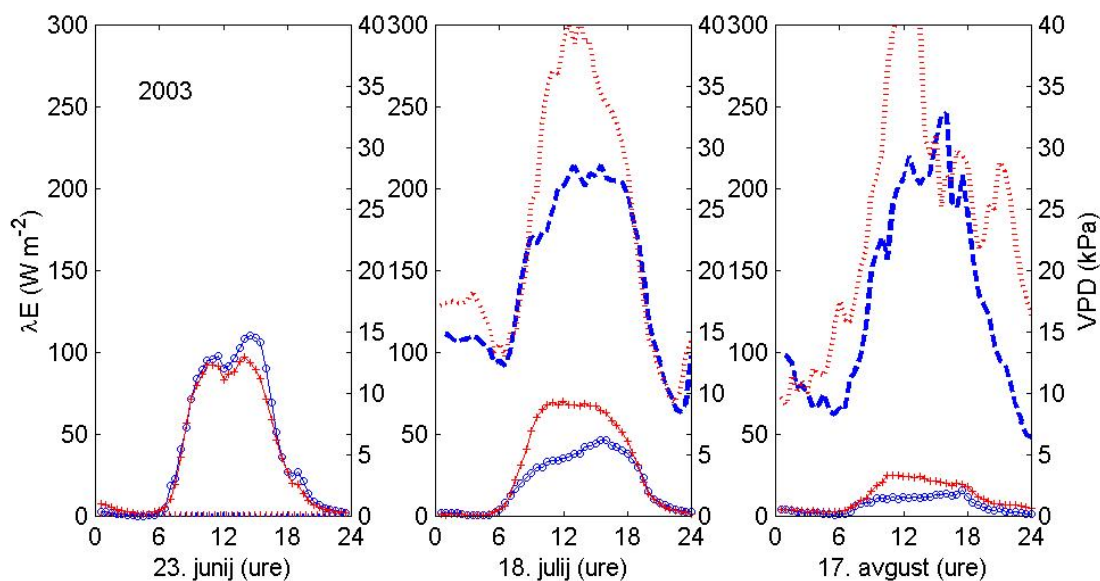
5% višja od VPD_{povp} za Jug, v 2004 pa 22% višja (Preglednica 11). Na severni ploskvi je bila VPD_{povp} leta 2003 višja kot 2004 za 12%, na južni ploskvi pa nižja za 17%.



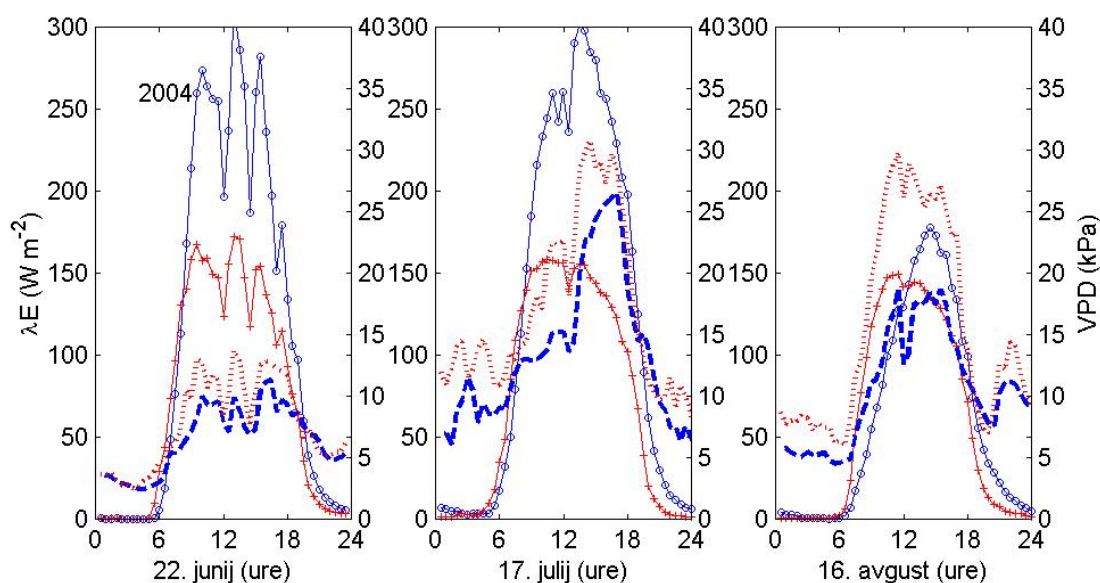
Slika 38: Spreminjanje dnevnih povprečij deficita tlaka vodne pare (VPD) za severno (\circ) in južno ($+$) ploskev v rastnem obdobju 2003



Slika 39: Spreminjanje dnevnih povprečij deficita tlaka vodne pare (VPD) za severno (\circ) in južno ($+$) ploskev v rastnem obdobju 2004



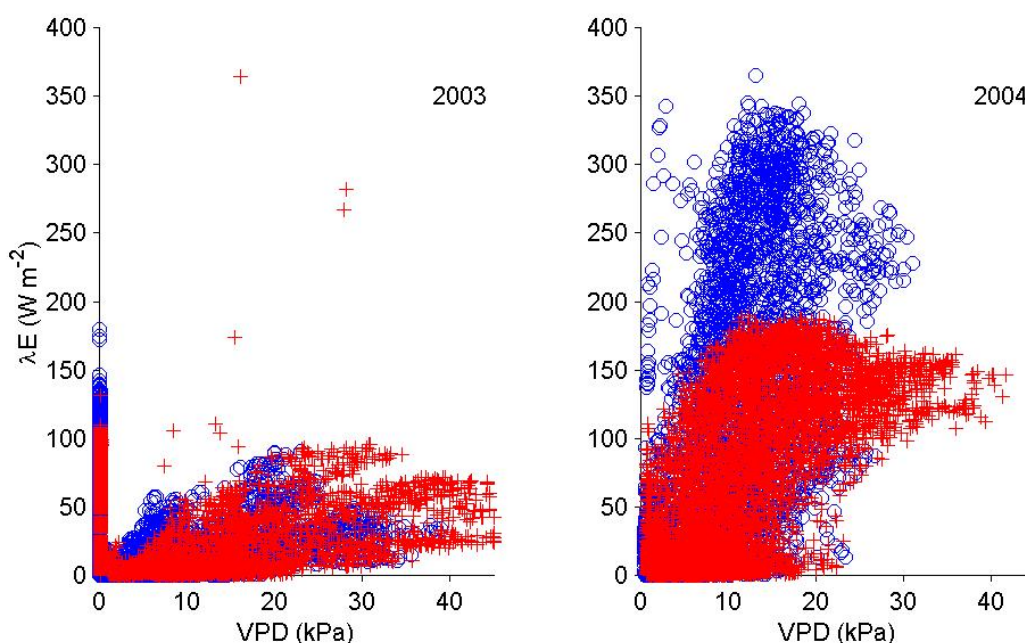
Slika 40: Dnevni potek polurnih vrednosti toka latentne toplote transpiracije (λE) za severno (\circ) in južno ($+$) ploskev ter deficita tlaka vodne pare (VPD) za severno ($--$) in južno (\dots) ploskev za tri različne poletne dneve za leto 2003



Slika 41: Dnevni potek polurnih vrednosti toka latentne toplote transpiracije (λE) za severno (\circ) in južno ($+$) ploskev ter deficita tlaka vodne pare (VPD) za severno ($--$) in južno (\dots) ploskev za tri različne poletne dneve za leto 2004

Dnevno spreminjanje deficita tlaka vodne pare (VPD) je vzporedno s spreminjanjem toka latentne toplote transpiracije (λE) za severno in južno ploskev prikazano za tri izbrane poletne

dni za 2003 in 2004 na Sliki 40 in Sliki 41. Obe sliki kažeta podobno kot pri temperaturi: da transpiracija ni vedno tesno povezana tudi ne z vlažnostjo zraka. Tako na Sliki 40 kakor tudi na Sliki 41 se λE ne sledi vedno tesno poteku VPD , čeprav se dnevna nihanja v nekaterih dneh (npr. 18. julij 2003, 16. avgust 2004) dobro ujemajo. Kljub temu, da severna ploskev skoraj vseskozi ohranja tako polurne (Sliki 40 in 41) kakor povprečne dnevne (Sliki 38 in 39) vrednosti VPD nižje kot južna ploskev, je bila transpiracija večinoma višja na severni kot na južni ploskvi. Oren in Pataki (2001) kot mogoče vzroke te nedosledne zveze med transpiracijo in deficitom tlaka vodne pare izpostavljata prevladujoč vpliv sončnega sevanja in vlage tal. Isti avtor ugotavlja, da je λE močno odvisen od VPD ob močnem sončnem obsevanju in pri zadostni količini vlage v tleh. V takih optimalnih razmerah λE eksponentno raste z VPD do najvišje vrednosti, kjer se λE zasiči (Oren et al., 1999). Kdaj se λE zasiči pa je odvisno od med-vrstnih razlik v ranljivosti dreves na sušo (Martinez-Vilalta et al., 2003). Kako se zveza med VPD in λE razlikuje med Severom in Jugom prikazuje polurnimi podatki Slika 42. Za leto 2003 je vpliv zaradi pomanjkljivih podatkov nejasen VPD na λE , za 2004 pa je viden različen odziv λE severne in južne ploskve na iste vrednosti VPD ter zasičenje pri različnih vrednostih VPD ; na Severu pri 11 kPa, na Jugu pri 14 kPa.



Slika 42: Spreminjanje toka latentne toplote transpiracije (λE) z deficitom tlaka vodne pare (VPD) za severno (\circ) in južno ($+$) ploskev za rastni obdobji 2003 in 2004

Dnevna E_t je bila v naši študiji podobna vrednostim, poročanim za gozd z nižjim VPD (Oren et al., 1999; Oren in Pataki, 2001), toda dnevna E_t je bila na našem sestoju višja zaradi višjega LAI . Wullschleger et al. (2001) pa podaja našim skladne rezultate dnevne E_t izmerjene pri zelo podobnem območju VPD (5 – 40 kPa) v mešanem hrastovem sestoju v ZDA.

4.3.3 Sončno obsevanje

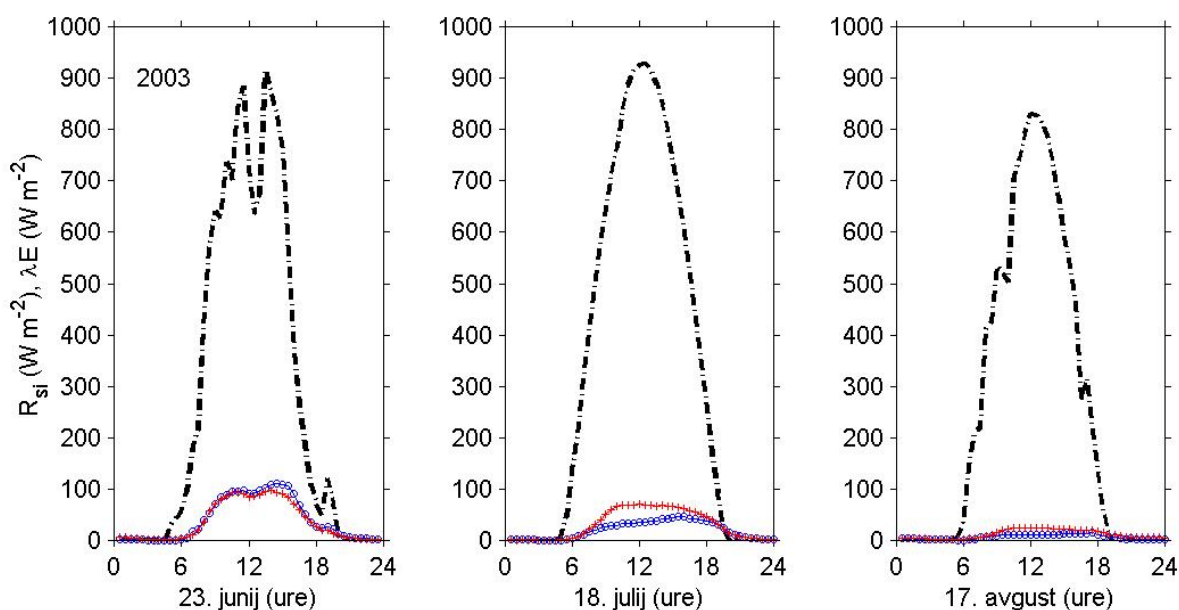
Medtem ko nam je analiza deficita tlaka vodne pare omogočila določiti vpliv ozračja znotraj krošnje na transpiracijo, nam je analiza kratkovalovnega dosepelega sevanja omogoča določiti vpliv ozračja nad krošnjo (Oren et al., 1999).

Kratkovalovnega dosepelega sevanja (R_{si}) nismo merili na vsaki ploskvi posebej, ampak smo vrednosti vzeli kar iz bližnje meteorološke postaje. Pri tem se moramo zavedati narejene napake, saj bi za večjo natančnost morali uporabiti za vsako ploskev njej primeren korekcijski faktor lege. Vendar za nas je bila ta nenatančnost zanemarljiva, saj nas zanima odziv transpiracije na R_{si} na Severu in Jugu v letih 2003 in 2004 in ne R_{si} kot tako.

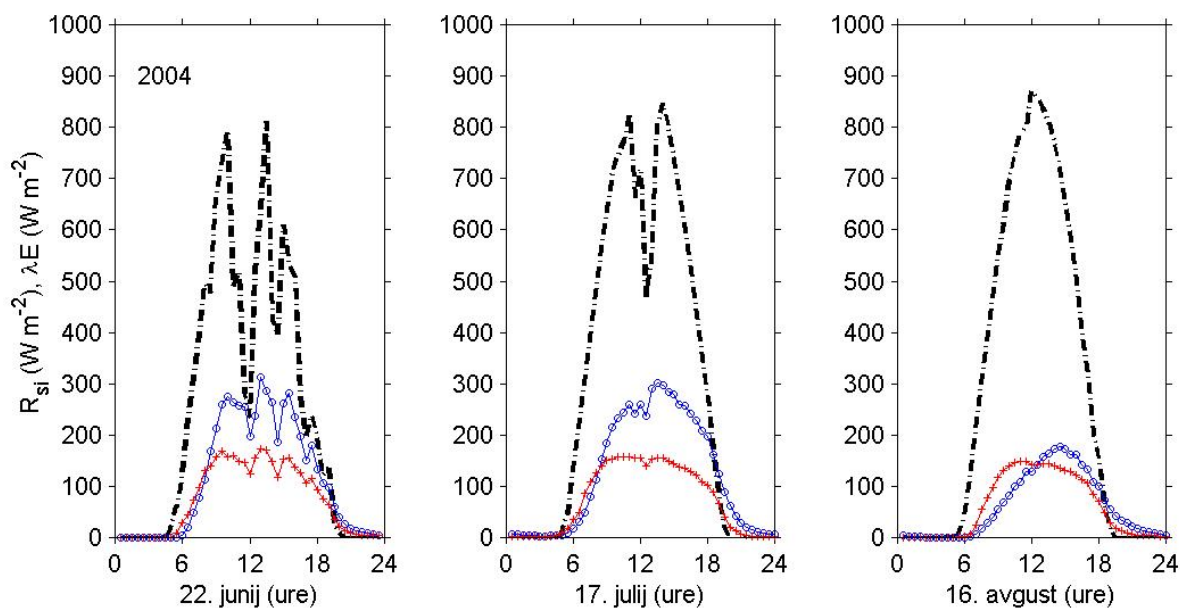
Letno spreminjanje R_{si} je za leti 2003 in 2004 prikazano že na Sliki 30c in Sliki 31c. Vrednosti R_{si} se med suhim in povprečno mokrim letom bistveno niso razlikovale. Za 2003 je povprečna vrednost znašala ($R_{si\ povp}$) 372.8 W m^{-2} , za 2004 pa 328.4 W m^{-2} . Maksimalna vrednost ($R_{si\ maks}$) je bila v letu 2003 le za 1% večja od leta 2004 (Preglednica 11). Obe $R_{si\ maks}$ sta bili doseženi na sredini julija. Ob primerjavi E_t na severni in južni ploskvi ter R_{si} je opaziti dokaj izrazito podobnost poteka letnega spreminjanja med njima na južni ploskvi. Vendar zanjo nismo uspeli najti kakršnegakoli oprijemljivega vzroka ali razlage. Za dnevno spreminjanje λE je iz Slike 43 in Slike 44 opaziti, da zelo tesno sledi dnevnemu spreminjanju R_{si} . Še posebej je ta dokaj tesna povezanost lepo vidna ob pojavu oblačnosti; 200. dan 2003 je primer popolnoma jasnega dneva, 175. dan 2003 primer rahle oblačnosti opoldne, 175. dan 2004 pa že dokaj močne oblačnosti preko dneva.

V drugih nam znanih študijah vpliva kratkovalovnega dosepelega sevanja na transpiracijo niso bile ugotovljene enake povezanosti med njima. Oren et al. (1999) so v raziskavi gozdnega

sestoja z izrazito nizkim LAI (2.2) zaključili, da R_{si} mogoče izvaja kontrolo nad E_t le v kratkem obdobju dneva in da je pozitiven vpliv R_{si} na E_t pomemben, a relativno majhen. Ravno nasprotno pa Wullschleger et al. (2001) za gozdni sestoj z LAI (6.2) po vrednosti veliko bližje našemu vidijo v R_{si} dejavnik, ki veliko bolj kot VPD določa sezonski in dnevni vzorec spreminjanja E_t . Te dve nasprotni si ugotovitvi imata verjetno glavne vzroke v zelo različnem LAI , ki določa vpliv luči na prevodnost krošnje (Oren et al., 1999).

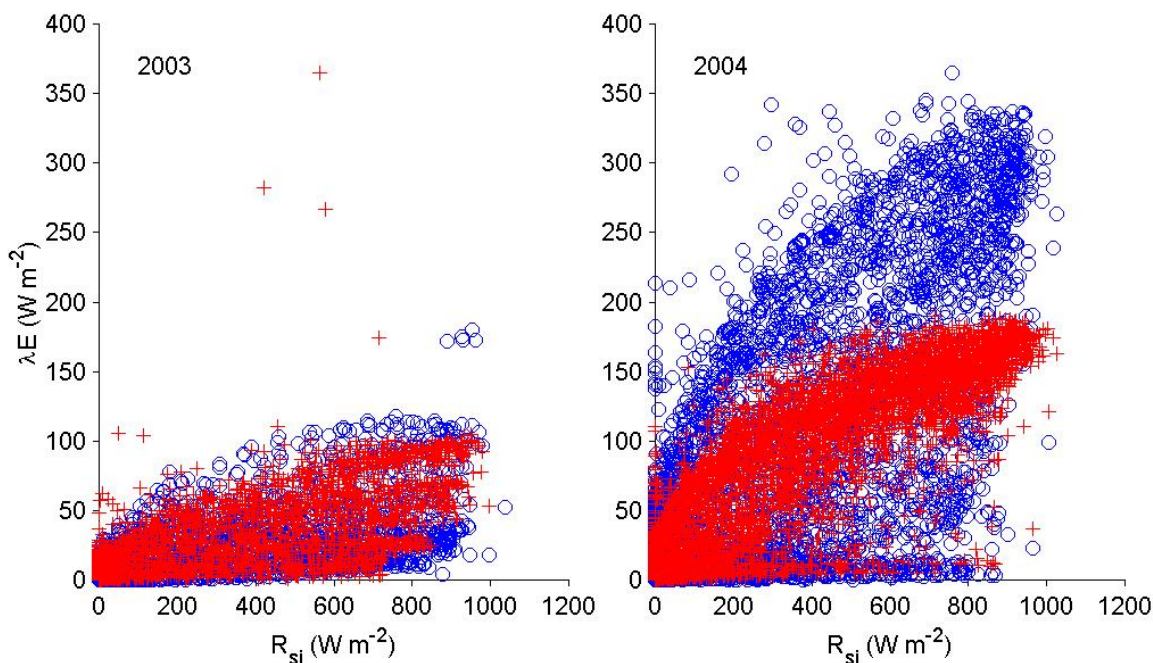


Slika 43: Dnevno spreminjanje kratkovalovnega doselega sevanja (R_{si}) (---) in toka latentne toplote transpiracije (λE) na severni (o) in južni (+) ploskvi za tri različne poletne dneve za rastno obdobje 2003



Slika 44. Dnevno spreminjanje kratkovalovnega dosepega sevanja (R_{si}) (---) in toka latentne toplote transpiracije (λE) na severni (o) in južni (+) ploskvi za tri različne poletne dneve za rastno obdobje 2004

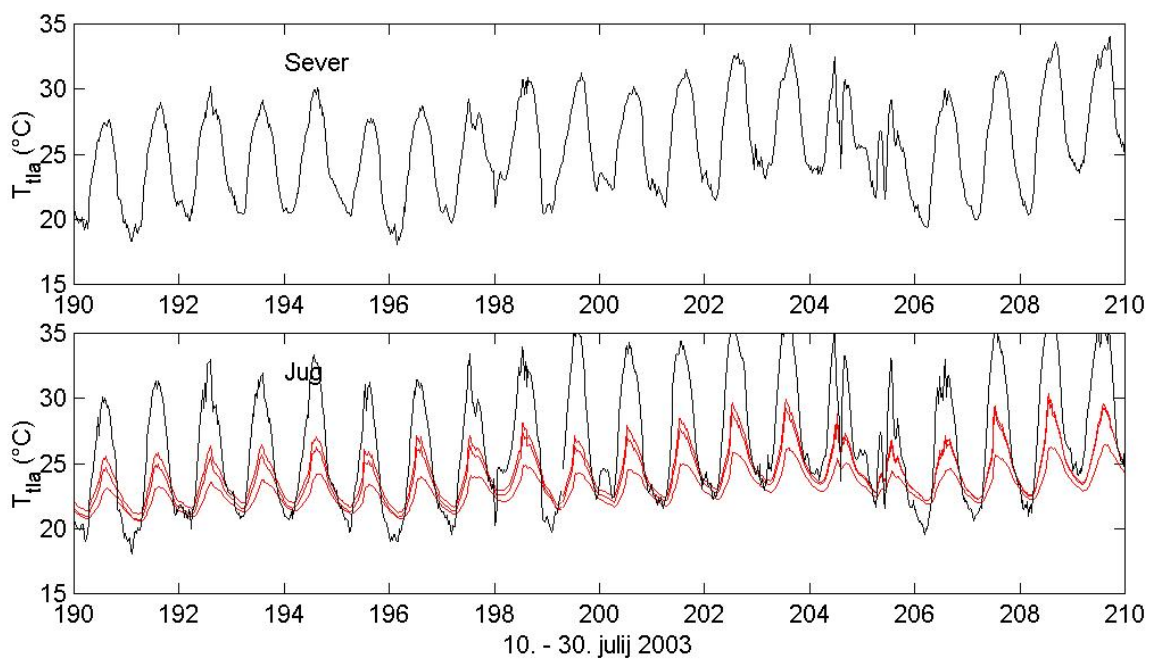
Oren in Pataki (2001) poročata, da ko so se listi razprli in je bila vlažnost tal zadostna, se je transpiracija povečevala s R_{si} eksponentno do maksimalne vrednosti, medtem ko se je transpiracija povečevala z R_{si} linearno, ko je bila vlažnost tal največja. Ta ugotovitev velja tudi za naši gozdni raziskovalni ploskvi (Slika 45). Za razločevanje podatkov glede na vlažnost tal bi bila potrebna podrobnejša analiza. Maksimalne vrednosti λE za severno in južno ploskev so si bile v letu 2003 zelo blizu, medtem ko so se te v letu 2004 skoraj dvakratno razlikovale. Oren in Pataki (2001) razlikovanje v odzivu maksimalnih vrednosti λE na R_{si} pripisujeta razlikam v drevesnih vrstah. Glede na različne drevesne sestoje na severni in južni ploskvi je to tudi za nas sprejemljiva razlaga.



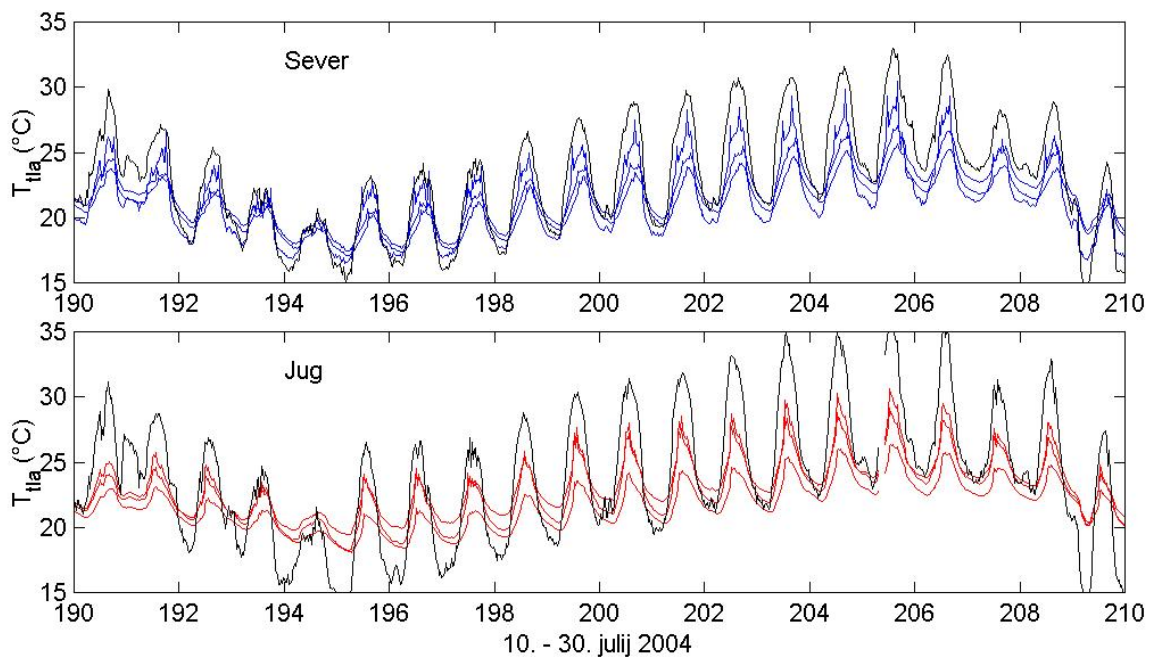
Slika 45: Spreminjanje toka latentne toplote transpiracije (λE) s kratkovalovnim dospelim sevanjem (R_{si}) za severno (o) in južno (+) ploskev za rastni obdobje 2003 in 2004

4.3.4 Temperatura in vlažnost tal

Rezultati meritev temperature tal med 10. in 30. julijem na merjenih globinah so prikazani na Sliki 46 za rastno obdobje 2003 ter na Sliki 47 za rastno obdobje 2004. Za leto 2003 ni podatkov s Severa, ker so bili merilni instrumenti za merjenje temperature tal nameščeni šele jeseni 2003. Zato je bila primerjava med severno in južno ploskev omejena na rastno obdobje 2004. Meritve so sicer potekale na štirih različnih globinah (1, 2, 5 in 70 cm), vendar senzorja na 70 cm na obeh ploskvah nista pravilno delovala, zato so bili rezultati pridobljeni le za plitvejši sloj tal (1 – 5 cm). Sliki 48 in 49 prikazujeta dnevne poteke temperature tal na globinah 1, 2 in 5 cm.



Slika 46: Nihanje temperature zraka (—) in temperature tal na globinah 1, 2 in 5 cm na južni (—) ploskvi med 10. in 30. julijem za rastno obdobje 2003



Slika 47: Nihanje temperature zraka (—) in temperature tal na globinah 1, 2 in 5 cm na severni (—) in južni (—) ploskvi med 10. in 30. julijem za rastno obdobje 2004

Z vseh prikazov rezultatov temperature tal je ob primerjavi s temperaturo zraka razvidno (Slika 47 in Slika 48), da tla v temperaturi tesno sledijo zraku, le da v nekoliko milejši obliki. Temperature tal na Severu so bile vseskozi očitno nižje kot na Jugu, a manj kot temperatura zraka; z globino so se te razlike le še manjšale (Preglednica 12). Najvišja temperatura tal je bila na obeh ploskvah izmerjena na globini 1 cm 22. julija; na Severu 30.6 °C, na Jugu pa 31.4 °C. Tudi najnižja temperatura je bila izmerjena za Sever in Jug v istem dnevu (28. maja) na globini 5 cm; 13.0 oz. 14.5 °C.

Preglednica 12: Vrednosti temperatur tal

		Sever	Jug	Sever : Jug
$T_{\text{tal 1 cm}} (^{\circ}\text{C})$	2004	21.0	22.2	95%
$T_{\text{tal 2 cm}} (^{\circ}\text{C})$	2004	19.4	20.2	96%
$T_{\text{tal 5 cm}} (^{\circ}\text{C})$	2004	19.0	19.3	98%
$T_{\text{tal povp}} (^{\circ}\text{C})$	2004	19.8	20.6	96%
$T_{\text{tal maks 1 cm}} (^{\circ}\text{C})$	2004	30.6	31.4	96%
$T_{\text{tal min 5 cm}} (^{\circ}\text{C})$	2004	13.0	14.5	90%

Za vpliv temperature tal na transpiracijo so Mellander et al. (2004) dokazali, da so odločilne le nizke temperature, medtem ko ostala temperaturna nihanja v tleh transpiracije ne spreminjajo. Tako je v svoji študiji transpiracije borovega gozda na jugu Švedske določil kot mejno vrednost temperature tal +8 °C. Mejna temperatura se sicer s krajem in vrsto gozda spreminja in je ne moremo privzeti tudi za naši gozdni raziskovalni ploskvi, toda lahko pa iz poteka spreminjanja transpiracije in temperature tal sklepamo, da v opazovanem obdobju rasti temperatura tal ni bila omejitveni dejavnik transpiracije, če pa že – pa zanemarljivo majhen.

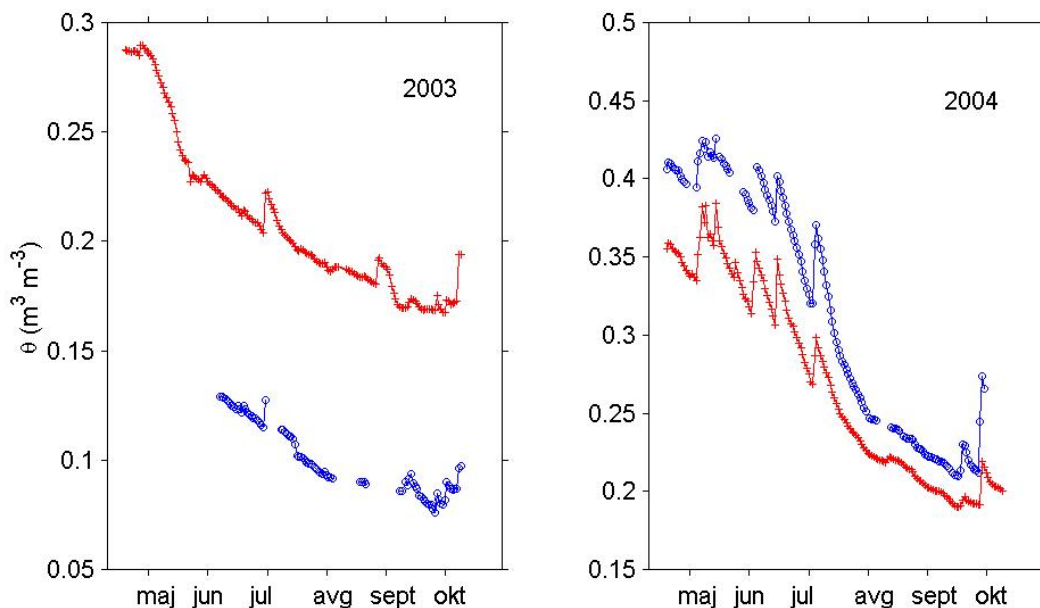
Neprimerno večji in pomembnejši omejitveni dejavnik transpiracije kot temperatura tal je bila vlažnost tal. V vlažnosti tal se namreč odraža izčrpavanje zaloge vode, ki jo imajo rastline na razpolago za transpiracijo (Giambelluca et al., 2003). Slika 49 prikazuje dnevna povprečja izmerjenih volumskih vsebnosti vlage v tleh (θ) za severno in južno ploskev za rastni obdobji 2003 in 2004. Lepo je vidno sezonsko upadanje vlage v tleh na Severu in Jugom v letih 2003 ter 2004. Sezonsko nihanje vlage v tleh je odvisno od sezonskega nihanja padavin. Enako tudi drugi avtorji (Giambelluca et al., 2003, Martinez-Vilalta et al., (2003), Poyatos et al., 2005)

ugotavljajo v svojih študijah. Na Sliki 50 so za obe ploskvi lepo razvidni prispevki padavin k vlažnosti tal, posebej v poletnih mesecih (junij, julij), ko se na dan dežja vlažnost tal naenkrat močno poveča. Značilen primer je 183. dan (1. julij 2004), ko se zaradi 28 mm padlega dežja poveča voda v tleh za $6 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na severni in za $5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na južni ploskvi.

Na Sliki 5g pa preseneča rezultat, da je bilo v letu 2003 na severni manj vlage v tleh kot na južni ploskvi, in sicer kar za 45%. Vzrok so na severni ploskvi nedelujoči senzorji na globinah 25, 45 in 75 cm. Tako je prikazana povprečna vrednost vlažnosti le vrhnega sloja tal, ki pa je po pričakovanju manjša od povprečne vrednosti vlažnosti tal vseh globin.

Ker tako za 2003 θ na severni ploskvi ne moremo primerjati z ostalimi vrednostmi, smo se za 2003 omejili le na južno ploskev. S primerjavo severne in južne ploskve v letu 2004 vidimo, da je vlažnost tal na Severu vseskozi višja od vlage tal na Jugu. Njune povprečne vrednosti (θ_{povp}) se v obdobju rasti 2004 razlikujejo za 22%. θ_{povp} je za Sever v letu 2003 ($0.21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) za 22% manjša kot za 2004 ($0.27 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Maksimalna vrednost volumske vsebnosti vlage v tleh (θ_{maks}) je v letu 2004 na Severu ($0.42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) 111% vrednosti na Jugu ($0.38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), v 2003 ($0.29 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) pa je na Jugu le 76% vrednosti θ_{maks} kot v 2004 ($0.38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Minimalni vrednosti volumske vsebnosti vlage v tleh (θ_{min}) se v letu 2004 še nekoliko bolj razlikujeta (na Severu je θ_{min} za 16% večja od θ_{min} na Jugu), v letu 2003 pa θ doseže najnižje vrednosti: $0.17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

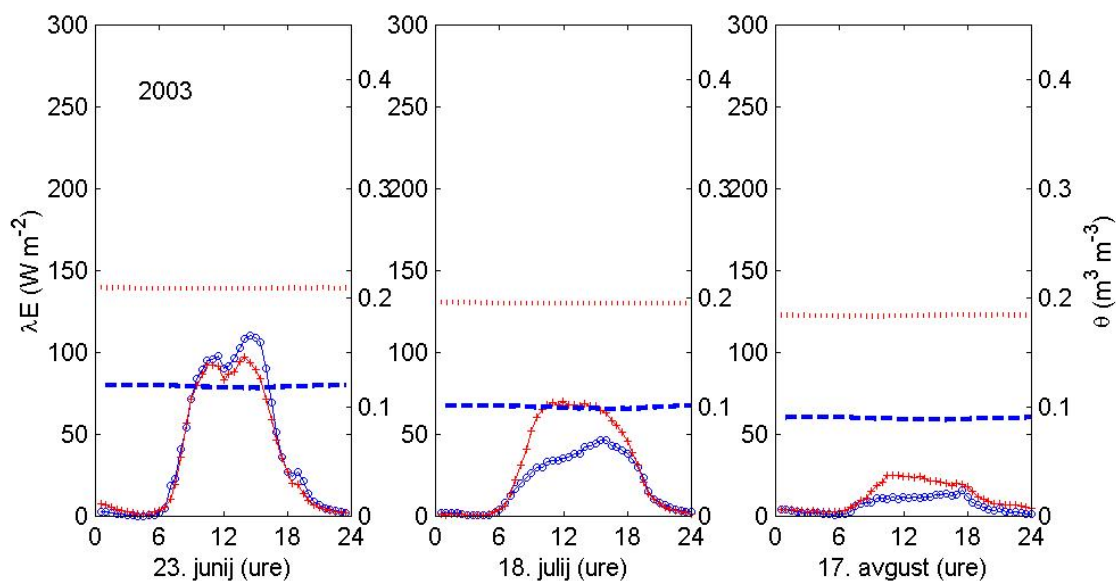
Vlaga v tleh za razliko od drugih okoljskih spremenljivk nima izrazitega dnevnega poteka, (Poyatos et al., 2005), kar je razvidno tudi iz naših rezultatov na Slikah 50 in 51, ki prikazujejo polurne vrednosti volumske vsebnosti vlage v tleh (θ) za severno in južno ploskev za rastni obdobji 2003 in 2004. Dnevne vrednosti θ delujejo kot nekakšne dnevne konstante, ki sicer ne vplivajo na oblikovni potek dnevne transpiracije, močno pa vplivajo na njeno velikost. Do enakih ugotovitev so prišli tudi Hölscher et al. (2005) ter Delzon in Loustau (2005).



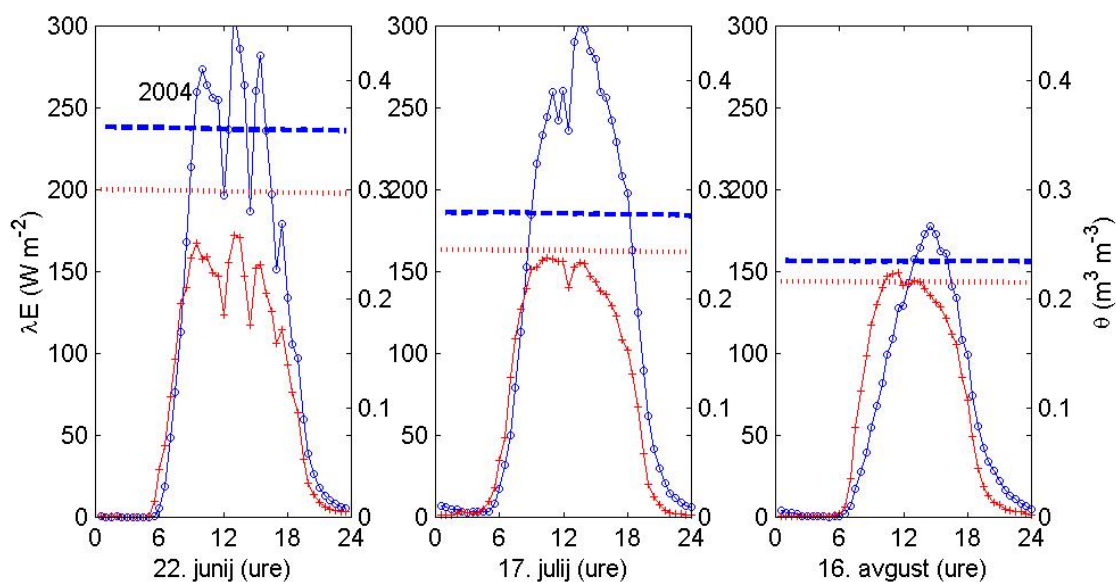
Slika 48: Spreminjanje dnevnih povprečij volumske vsebnosti vlage v tleh (θ) za severno (o) in južno (+) ploskev za rastni obdobji 2003 in 2004

O vplivu vlažnosti tal na transpiracijo v rastnem obdobju 2004 nam veliko povesta Sliki 51 in 52. Na Sliki 51 je lepo vidna postopno zmanjševanje vlažnosti tal, ki ji transpiracija v količinskem smislu dosledno sledi. Kaže se razlika med severno in južno ploskvijo; na Severu je vlaga v tleh kakor tudi transpiracija hitreje zmanjšujeta kot na Jugu. Proti koncu poletja (17. avgusta) so vrednosti na Jugu in že tesno blizu vrednostim na Severu (Slika 51, 230. dan).

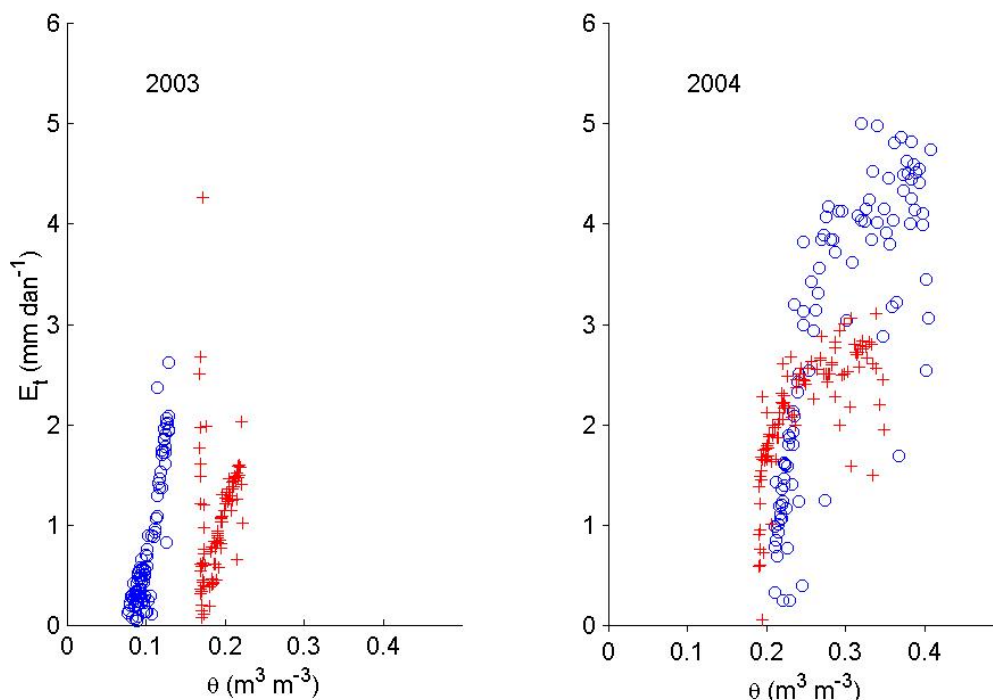
Za drugo polovico ravnega obdobja 2003 je bilo opaziti, da je transpiracija na Jugu prehitela transpiracijo na Severu. Najbolj verjeten vzrok za takšno spremembo vlažnost tal. Vendar žal za to obdobje ne Severu nimamo primernih rezultatov.



Slika 49: Dnevni potek polurnih vrednosti toka latentne toplote transpiracije (λE) za severno (\circ) in južno ($+$) ploskev ter volumske vsebnosti vlage v tleh (θ) za severno ($--$) in južno (\dots) ploskev za tri različne poletne dneve za rastno obdobje 2003



Slika 50: Dnevni potek polurnih vrednosti toka latentne toplote transpiracije (λE) za severno (\circ) in južno ($+$) ploskev ter volumske vsebnosti vlage v tleh (θ) za severno ($--$) in južno (\dots) ploskev za tri različne poletne dneve za rastno obdobje 2004



Slika 51: Razmerje med dnevni transpiracijskim pretokom (E_t) in dnevno volumsko vsebnostjo vlage v tleh (θ) za severno (o) in južno (+) ploskev za rastni obdobji 2003 in 2004

Iz razmerja med dnevni transpiracijskim pretokom in dnevno volumsko vsebnostjo vlage v tleh za rastno obdobje 2004, prikazanega na Sliki 51, je viden zelo pomenljiv podatek o razliki med ploskvama. Razmerje med E_t in θ namreč najprej narašča zelo strmo, potem pa se odkloni – najprej za Jug, potem pa za Sever. Točka odklona je malo pred $0.3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Ta točka pomeni mejno vrednost za sušne razmere v tleh (Delzon in Loustau, 2005). Zato lahko ocenjujemo, da je v letu 2004 na Severu transpiracijo kasneje prizadela suša kot na Jugu. S tem podatkom lahko iz Slike 48 razberemo, da se na severni ploskvi suša pojavi sredi avgusta, na južni pa že konec julija.

5 ZAKLJUČKI

Spremljanje transpiracijskega pretoka in okoljskih vplivov nanj skozi obdobje enega leta in pol je dalo obsežne rezultate, zadostne za osnovno analizo transpiracije kot komponente vodnega kroga v gozdu in njene odvisnosti od okoljskih dejavnikov na dveh gozdnih sestojih. Različni legi ploskev sta dajali dobre pogoje za študijo vplivov različnih okoljskih spremenljivk na izhlapevanje vode skozi gozdni pokrov. Senzorji toka drevesnega soka so omogočili zaznavanje že majhnih dnevnih nihanj transpiracije, ki so spremljala spreminjanja lastnosti ozračja in tal.

Rezultati meritev pred preračunom na nivo gozdnega sestoja severne in južne raziskovalne ploskve so nam služili za analizo transpiracije posameznih drevesnih vrst. Med obsegom debel in povprečnimi vrednostmi neposredno dobljenih hitrosti transpiracijskega toka ni bilo najti smotnih povezav s primerjavo posameznih drevesnih vrst. Primerjava Severa in Juga pa je že kazala na različne pogoje za transpiracijo na severni in južni ploskvi. Za leto 2004 so bile izračunane vrednosti transpiracijskega pretoka za posamezne drevesne vrste. Njihov kumulativni graf preko obdobja rasti in analiza odvisnosti od vlage v tleh sta upravičila zanemarjenje vpliva posameznih drevesnih vrst ter starosti dreves na transpiracijo in preračun na nivo gozdnega sestoja severne in južne ploskve.

Sezonska poraba vode se je v obravnavanih sestojih močno razlikovala tako v jakosti kakor tudi v dinamiki transpiracije. Stopnje transpiracije so bile za leto 2004 očitno višje na severni kot na južni ploskvi. V letu 2003 je bila transpiracija za obe ploskvi nižja. Zmanjšala se je tudi razlika med njima, kar je rezultat večjega zmanjšanja transpiracije ob suši na severni kot na južni ploskvi. Za analizo razlike v dinamiki je bilo opazovano spreminjanje transpiracije skozi dobo rasti v letu 2004. Na severni ploskvi se je transpiracije postopoma povečevala in dosegla vrh v začetku julija (1. julij, 182. dan), potem se je zopet postopoma zmanjševala do pozne jeseni. Na južni ploskvi se je transpiracija spomladi in v zgodnjem poletju povečevala mnogo hitreje in dosegla maksimalno vrednost transpiracijskega pretoka že v začetku junija, ki pa je znašala le 62 % maksimalne vrednosti na Severu.

Temperatura zraka je bila povprečno nižja na Severu kot na Jugu. V letu 2003 je bila razlika med njima še enkrat večja kot v letu 2004. Rezultati so pokazali tudi velik vpliv nizkih temperatur zraka na transpiracijo v obdobju rasti za leto 2004; na Jugu je bilo opaženo upadanje transpiracije pod 18 °C, na Severu pa že pod 24 °C.

Vlažnost zraka je bila na južni ploskvi nižja kot na severni, z nekoliko večjim razponom izmerjenih vrednosti. Tako kot s temperaturo transpiracija tudi z vlažnostjo zraka ni vedno tesno povezana. Kljub temu, da severna ploskev skoraj vseskozi ohranja tako polurne kakor povprečne dnevne vrednosti VPD nižje kot južna ploskev, je transpiracija večinoma višja na severni kot na južni ploskvi. Za leto 2003 je vpliv VPD na λE zaradi pomanjkljivih podatkov nejasen, za 2004 pa je viden različen odziv λE severne in južne ploskve na iste vrednosti VPD . Pri različnih vrednostih VPD opazimo zasičenje; na Severu pri 11 kPa, na Jugu pa šele pri 14 kPa.

Kratkovalovno dospelostevanje se za leti 2003 in 2004 ni bistveno razlikovalo. Za dnevno spreminjanje λE je bilo opaziti, da zelo tesno sledi dnevni spreminjanju R_{si} . Še posebej lepo je bila ta povezanost vidna ob pojavu oblačnosti.

Ugotovili smo, da je spreminjanje temperature tal zelo podobno spreminjanju temperature zraka, le da so nihanja manjša. Temperature tal na Severu je bila vseskozi očitno nižja kot na Jugu, a manj kot temperatura zraka; z globino so se te razlike le še manjšale. Iz poteka spreminjanja transpiracije in temperature tal smo sklepali, da v opazovanem obdobju rasti temperatura tal ni bila omejitveni dejavnik transpiracije.

Neprimerno večji in pomembnejši omejitveni dejavnik transpiracije kot temperatura tal je bila vlažnost tal. S primerjavo severne in južne ploskve v letu 2004 vidimo, da je bila vlažnost tal na Severu vseskozi višja od vlažnosti tal na Jugu. Njune povprečne vrednosti se v obdobju rasti 2004 razlikujejo za 22%. Vlaga v tleh v primerjavi z drugimi okoljskimi spremenljivkami ni imela izrazitega dnevnega poteka. Dnevne vrednosti θ so delovale kot nekakšne dnevne konstante, ki niso vplivale na oblikovni potek dnevne transpiracije, močno

pa so vplivale na njeno velikost. Točka odklona razmerja med E_t in θ je bila malo pred $0.3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Ta točka pomeni mejno vrednost za sušne razmere v tleh. Zato smo lahko sklepali, da je bila v letu 2004 na Severu transpiracija kasneje izpostavljena suši kot na Jugu.

VIRI

Uporabljeni viri

Brilly, M. in Šraj, M. 2000. Osnove hidrologije. UL FGG, Ljubljana, 234 str.

Brilly, M. 2004. Skripta pri predmetu Melioracije (neobjavljeno). UL FGG, 35 str.

Bruijnzeel, L.A. 2000. Forest Hydrology. Chapter 12 v Evans, J.S. (editor): The Forestry Handbook, Volume 1. Blackwell, Oxford, str. 301-343.

Brunetti, M., M. Maugeri, T. Nanni. 2000. Variations of temperature and precipitation in Italy from 1866 to 1995. Theoretical and Applied Climatology, 65: 165-174.

Casty, C., H. Wanner, J. Lutenbacher, J. Esper, R. Bohm. 2005. Temperature and precipitation variability in the European Alps since 1500'. International Journal of Climatology, 25: 1855-1880.

Čampa, J. 1994. Vrednotenje hidrološke funkcije gozdnega prostora. V: Zbornik seminarja Gozd in voda. Poljče, 11. – 13. oktober 1994. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška Fakulteta, Oddelek za gozdarstvo: str. 41-50.

Delzon, S., Loustau, D. 2005. Age-related decline in stand water use: sap flow and transpiration in a pine forest chronosequence. Agricultural and Forest Meteorology, 129: 105-119.

Dingman, S.L. 1994. Physical Hydrology. New York, University of New Hampshire: 575 str.

Giambelluca, T.W., Zieger, A.D., Nullet, M.A., et al. 2003. Transpiration in a small tropical forest patch. Agricultural and Forest Meteorology, 117: 1-22.

Globovnik, L. 2001. Celosten pristop k urejanju voda v povodjih: Celostna analiza časovnih in prostorskih komponent vodnega režima kot izhodišče sodobnim postopkom simuliranja in planiranja vodnogospodarskih rešitev, rabe tal in varstva narave: povodje Dragonje. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 176 f.

Granier, A. 1987. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiol.*, 3: 309-320.

Granier, A., Bobay, V., Gash, J.H.C. et. al. 1990. Vapour flux density and transpiration rate comparisons in a stand of Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Les Landes forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 51: 309-319.

Granier, A., Biron, P., Lemoine, D. 2000. Water balance, transpiration and canopy conductance in two beech stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 100: 291-308.

Hölscher, D., Koch, O., Korn, S., Leuschner, C. 2005. Sap flux of five co-occurring tree species in a temperate broad-leaved forest during seasonal soil drought. *Trees*, 19: 628-637.

Karba, R. 1994. Gradniki sistemov vodenja. Ljubljana, Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo: 326 str.

Kotar, M., Brus, R. 1999. Naše drevesne vrste. Ljubljana, Slovenska matica v Ljubljani: 320 str.

Lah, A. et al. 2002. Okoljski pojavi in pojmi: okoljsko izrazje v slovenskem in tujih jezikih z vsebinskimi pojasnili. Ljubljana, Svet za varstvo okolja Republike Slovenije: 207 str.

Martinez-Vilalta, J., Mangiron, M., Ogaya, R., et al. 2003. Sap flow of three co-occurring Mediterranean woody species under varying atmospheric and soil water conditions. *Tree Physiology*, 23: 747-758.

- Massman, W., Lee, X. 2002. Eddy covariance flux corrections and uncertainties in long-term studies of carbon and energy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 113: 121-144.
- Meinzer, F., James, S., Goldstein, G. 2004. Dynamics of transpiration, sap flow and use of stored water in tropical forest canopy trees. *Tree Physiology*, 24: 901-909.
- Mellander, P. E., Bishop, K., Lundmark, T. 2004. The influence of soil temperature on transpiration: a plot scale manipulation in a young Scots pine stand. *Forest Ecology and Management*, 195: 15-28.
- Mikoš, M., Kranjc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2003. Hidrološko izrazje – Terminology in Hydrology. *Acta hydrotechnica*, 20, 32.
<http://ksh.fgg.uni-lj.si/ksh/acta/> (2.2.2006).
- Nardini, A., Logullo, M.A., Salleo, S. 1999. Competitive strategies for water availability in two Mediterranean *Quercus* species. *Plant, Cell and Environment*, 22: 109-116.
- Ogrin, D. 1995. Podnebje Slovenske Istre. Koper, Knjižnica Annales: 381 str.
- Ogrin, D. 2002. Dry and wet years in submediterranean Slovenia from the 14th to the mid-19th century. *Geographica*, 37: 55-62.
- Oren, R., Phillips, N., Ewers, B.E. et al. 1999. Sap-flux-scaled transpiration responses to light, vapour pressure deficit, and leaf area reduction in a flooded *Taxodium distichum* forest. *Tree Physiology*, 19: 337-347.
- Oren, R., Pataki, D.E. 2001. Transpiration in response to variation in microclimate and soil moisture in southeastern deciduous forests. *Oecologia*, 127: 549-559.
- Padežnik, M., 2004. Določanje indeksa površine za določanje prestreženih padavin. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Univerzitetni študij vodarstva in komunalnega inženirstva: 65 f.

- Podobnik, A., Devetak, D. 1997. Raznolikost živih bitij. Ljubljana, DZS: 255 str.
- Poyatos, R., Llorens, P., Gallart, F. 2005. Transpiration of montane *Pinus sylvestris* L. and *Quercus pubescens* Willd. forest stands measured with sap flow sensors in NE Spain. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2: 1011-1046.
- Sadar, Z., revirni gozdar pri Zavodu za gozdove. Starost sestoja na raziskovalnih ploskvah. Koper, 12.4.2007. Osebna komunikacija - ustni vir.
- Smolej, I. 1988. Gozdna hidrologija. V: Rejic, M., Smolej, I., Sladkovodni ekosistemi, varstvo voda in gozdna hidrologija. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, VTOZD za gozdarstvo: str. 187–225.
- Šraj, M. 2003. Modeliranje in merjenje prestreženih padavin. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 236 f.
- Tyree, M. T., 2000. Water relation of plants. V: Baird, A.J., Wilby, R.L. (ur.). *Eco-hydrology: Plants and Water in Terrestrial and Aquatic Enviroments*. London, Routledge: ch. 2.
- van der Tol, C. 2007. Climatic constraints on carbon assimilation and transpiration of sub-Mediterranean forests. Doctoral thesis. Vrije Universiteit Amsterdam, The Netherlands: 139 str.
- van Dijk, A. 2003. *Ecohydrology*. Amsterdam, Vrije Universiteit: 343 str.
- Vertessy, R.A., Benyon, R.G., O'Sullivan, S.K., et al. 1995. Relationships between stem diameter, sapwood area, leaf area and transpiration in a young mountain ash forest. *Tree Physiology* 15: 559-567.
- Vilhar, U. 2006. Vodna bilanca dinarskega jelovo-bukovega gozda na Kočevskem rogu. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 295 f.

Ward, R., Robinson, M. 2000. Principles of Hydrology. London, McGraw-Hill: 450 str.

Wilson, K.B., Hanson, P., Mulholland, P., Baldocchi, D., Wullschleger, S.
2002. A comparison of methods for determining forest evapotranspiration
and its components: sap-ow, soil water budget, eddy covariance and catchment
water balance. Agricultural and Forest Meteorology, 106: 153-168.

Wilson, K.B., Hanson, P.J., Baldocchi, D.D. 2000. Factors controlling evaporation and energy
partitioning beneath a deciduous over an annual cycle. Agricultural and Forest Meteorology,
120: 83-103.

Wullschleger, S.D., Meinzer, F.C., Vertessy, R.A. 1998. A review of whole-plant water use
stands in trees. Tree Physiology, 18: 499-512.

Wullschleger S.D., Hanson, P.J., Todd, D.E. 2001. Transpiration from a multi-species forest
as estimated by xylem sap flow techniques. Forest Ecology and Management, 143: 205-213.

Internetni viri:

http://www.phschool.com/science/biology_place/labbench/lab9/transpull.html. (22.12.2005)

http://www.phschool.com/science/biology_place/labbench/lab9/xylem.html. (22.12.2005)

Ostali viri

Botanični slovarček. http://botanika.biologija.org/zeleni-skrat/STUD_GRADIVO/ (8.1.2006).

Fiziologija, gradivo za vaje na Biotehniški fakulteti. <http://www.bf.uni-lj.si/ag/botanika/gradiva/> (8.1.2006).

Jurčič – Zlobec, B., Berkopec, A. 2005. Matlab z uvodom v numerične metode. Ljubljana,
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko: 197 str.

Leksikon Cankarjeve založbe Naravoslovje. 1996. 1. izdaja. Ljubljana, Cankarjeva založba:
700 str.

McCulloch, J.S.G., Robinson, M. 1993. History of forest hydrology. *Journal of Hydrology*,
150: 189-216.

Oblak, S., Škrjanc, I. 2006. Matlab s Simulinkom. Priročnik za laboratorijske vaje. 1. izdaja.
Ljubljana, Fakulteta za elektrotehniko: 154 str.

PRILOGA A: M-FILE FUNKCIJE SATVAP ZA IZRAČUN DEFICITA TLAKA VODNE PARE

```
[vs,ss] = satvap(Ts);  
[vn,sn] = satvap(Tn); izračun nasičenega parnega tlaka iz temperature zraka  
vpds = vs.*(1-rhs);  
vpdn = vn.*(1-rhn); izračun dejanske vlage v zraku iz RH in satvap  
  
function [es,s] = satvap(T);  
  
%function [es,s]= sapvap(T) calculates the saturated vapour pressure at  
temperature T (°C)  
%and the derivative of es to temperature s (kPa/°C)  
%the output is in mbar or hPa. The approximation formula that is used is:  
%es(T) = es(0)*10^(aT/(b+T));  
%where es(0) = 6.107 mb, a = 7.5 and b = 237.3 degrees C  
%and s(T) = es(T)*ln(10)*a*b/(b+T)^2  
  
a=7.5;  
b=237.3;          %(°C)  
  
es = 6.107*10.^(7.5.*T./(b+T));  
s = es*log(10)*a*b./(b+T).^2;
```

PRILOGA B: M-FILE FUNKCIJE CALCSMC ZA IZRAČUN VOLUMSKE VSEBNOSTI VLAGE V TLEH

```
function SMC = CalcSMC(s,type,T);

%function CalcSMC(s,type,T)
%calculates soil moisture content for CS615 and CS616 sensors from the raw
data
%Input is s: first column time and other columns data
%type: 1 = CS615 and 2 = CS616
%T = temperature in C: first column time and other columns temperatures,
same format as s
%Output is volume fraction of soil moisture content (first column is time)
SMC = s;
if type ==1
    C0 = -.2408; %calibrated for slovenian soil
    C1 = .1761;
    C2 = .1328;
    TC0 = 0;
    TC1 = 1;
    TC2 = 0;
    for i = 2: size(s,2)
        SMC(:,i) = C0 + C1*SMC(:,i) + C2*SMC(:,i).^2;
        if nargin>2
            TempCorr = TC0 + TC1*SMC(:,i)+TC2*SMC(:,i).^2;
            SMC(:,i) = SMC(:,i)-(T(:,i)-20).*TempCorr;
        end
    end
elseif type == 2
    C0 = .0103; %calibrated for slovenian soil
    C1 = -.0201;
    C2 = .0009;
    TC0 = 0;
    TC1 = 1;
    TC2 = 0;

    for i = 2: size(s,2)
        SMC(:,i) = C0 + C1*SMC(:,i) + C2*SMC(:,i).^2;
    end
elseif type ==3
    C0 = -.298;%standard calibration for electrical conductivity of 3.0 dS
m-1
    C1 = .361;
    C2 = .096;
    TC0 = -3.46*10^(-4);
    TC1 = .019;
    TC2 = -.045;
    for i = 2: size(s,2)
        SMC(:,i) = C0 + C1*SMC(:,i) + C2*SMC(:,i).^2;
        if nargin>2
            TempCorr = TC0 + TC1*SMC(:,i)+TC2*SMC(:,i).^2;
            SMC(:,i) = SMC(:,i)-(T(:,i)-20).*TempCorr;
        end
    end
end
```



```
elseif type == 4
    C0 = -.018;%standard calibration for EC<dS m-1, rho<1.55 gcm-3 and
    clay<30%
    C1 = -.007;
    C2 = .0006;
    TC0 = .526;
    TC1 = -.052;
    TC2 = .00136;

    for i = 2: size(s,2)
        SMC(:,i) = C0 + C1*SMC(:,i) + C2*SMC(:,i).^2;
    end
```

**PRILOGA C: PRIKAZ IZSEKA REZULTATOV POLURNIH VREDNOSTI
NAPETOSTI ELEKTRIČNEGA TOKA ZA 12 SENZORJEV**

7.9543056e+001	4.1900000e-001	4.2100000e-001	3.6400000e-001	4.2700000e-001
4.3500000e-001	4.1900000e-001	3.6900000e-001	2.8300000e-001	4.2900000e-001
3.9200000e-001	2.1400000e-001	4.3500000e-001		
7.9563889e+001	4.5800000e-001	4.7000000e-001	3.7000000e-001	4.3100000e-001
4.6700000e-001	4.4400000e-001	3.8700000e-001	2.7500000e-001	4.3300000e-001
3.9600000e-001	2.2500000e-001	4.5300000e-001		
7.9584722e+001	4.6900000e-001	4.8300000e-001	3.8600000e-001	4.4400000e-001
4.7300000e-001	4.5000000e-001	4.0400000e-001	2.9200000e-001	4.4300000e-001
3.9800000e-001	2.3600000e-001	4.7100000e-001		
7.9605556e+001	4.7300000e-001	4.9200000e-001	3.7700000e-001	4.3600000e-001
4.7800000e-001	4.5400000e-001	4.1500000e-001	3.0900000e-001	4.3200000e-001
3.9600000e-001	2.7100000e-001	4.6400000e-001		
7.9626389e+001	4.7500000e-001	4.9400000e-001	3.8700000e-001	4.4500000e-001
4.7900000e-001	4.5700000e-001	4.2800000e-001	3.2700000e-001	4.4400000e-001
3.9700000e-001	3.0400000e-001	4.9500000e-001		
7.9647222e+001	4.7800000e-001	4.9800000e-001	3.8800000e-001	4.4200000e-001
4.8200000e-001	4.6000000e-001	4.3100000e-001	3.3200000e-001	4.4000000e-001
4.0400000e-001	2.9900000e-001	4.7800000e-001		
7.9668056e+001	4.8000000e-001	4.9700000e-001	3.9500000e-001	4.4500000e-001
4.8400000e-001	4.6200000e-001	4.3100000e-001	3.4100000e-001	4.5000000e-001
4.1200000e-001	3.1300000e-001	4.8600000e-001		
7.9688889e+001	4.8200000e-001	4.9800000e-001	3.9800000e-001	4.4800000e-001
4.8600000e-001	4.6400000e-001	4.3800000e-001	3.6000000e-001	4.5200000e-001
4.1300000e-001	3.1600000e-001	4.8700000e-001		
7.9709722e+001	4.8100000e-001	4.9400000e-001	4.0000000e-001	4.4900000e-001
4.8600000e-001	4.6500000e-001	4.3800000e-001	3.7100000e-001	4.5600000e-001
4.2100000e-001	3.1800000e-001	4.8300000e-001		
7.9730556e+001	4.8300000e-001	4.9200000e-001	4.1200000e-001	4.6400000e-001
4.8800000e-001	4.6600000e-001	4.3500000e-001	3.7600000e-001	4.6900000e-001
4.2600000e-001	3.1400000e-001	4.9000000e-001		
7.9751389e+001	4.8000000e-001	4.9000000e-001	4.1000000e-001	4.5200000e-001
4.8700000e-001	4.6300000e-001	4.4000000e-001	4.1700000e-001	4.6000000e-001
4.3100000e-001		3.3500000e-001		4.8500000e-001

PRILOGA D: M-FILE FUNKCIJE SAPFLOW ZA IZRAČUN HITROSTI TRANSPIRACIJSKEGA TOKA

```
function [Sap] = Sapflow (s)

%[Sap]=Sapflow(s)
%Calculates sap flow from sap flow voltages using the principle of Granier
%The input is matrix s with:
%first column: time as real values as a fraction of the year (eg 2003.564)
%other columns: sap flow voltages
%Output is a matrix with:
%first column: time as real values as a fraction of the year
%other columns: sap flow speed (m s-1)

Day=s(:,1);
nc=size(s,2);

%removes strange values from sap voltages
for j = 2 : nc
    k=find((s(:,j)<.1));
    s(k,j)=NaN;
end

%determines which day to start and to end (starts and ends at midnight)
StartDay = ceil(min(Day));
EndDay = floor(max(Day));

%initiates(vpelje) the matrixes
M=zeros(nc,366);
t=zeros(48,366,nc);

%determines the number of half hours before midnight of the first complete
day
Start = floor(48*(ceil(min(Day))-min(Day)));

%fills matrix t with: dim 1: half ourly values, dim 2: daynumber, dim 3:
sensor number
for k = 2:nc
    for i = 1 : (EndDay-StartDay)
        for j = 1 : 48
            t(j,i+StartDay,k) = s(48*(i-1)+Start+j,k);
        end;
    end;
end

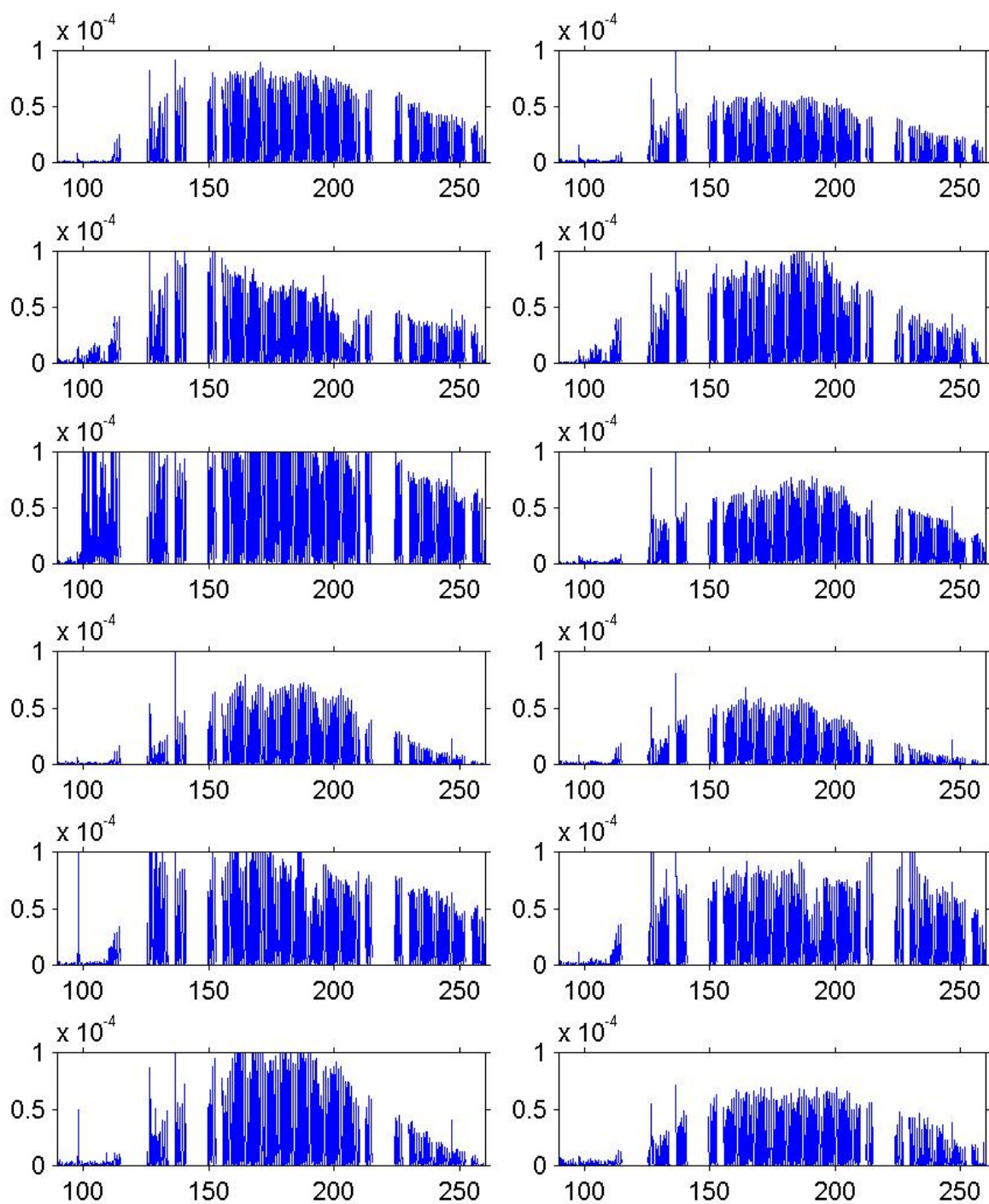
t(24,150,2)
%gets the daily maximum value of sap voltage for each day and each sensor
from matrix t
M=max(t,[],1);
figure(10)
hold off
plot(M(1,:),2);

%initiates sap flow matrix s and K matrix
```

```
Sap=zeros(size(s,1),nc);
K=zeros(size(s,1),nc);

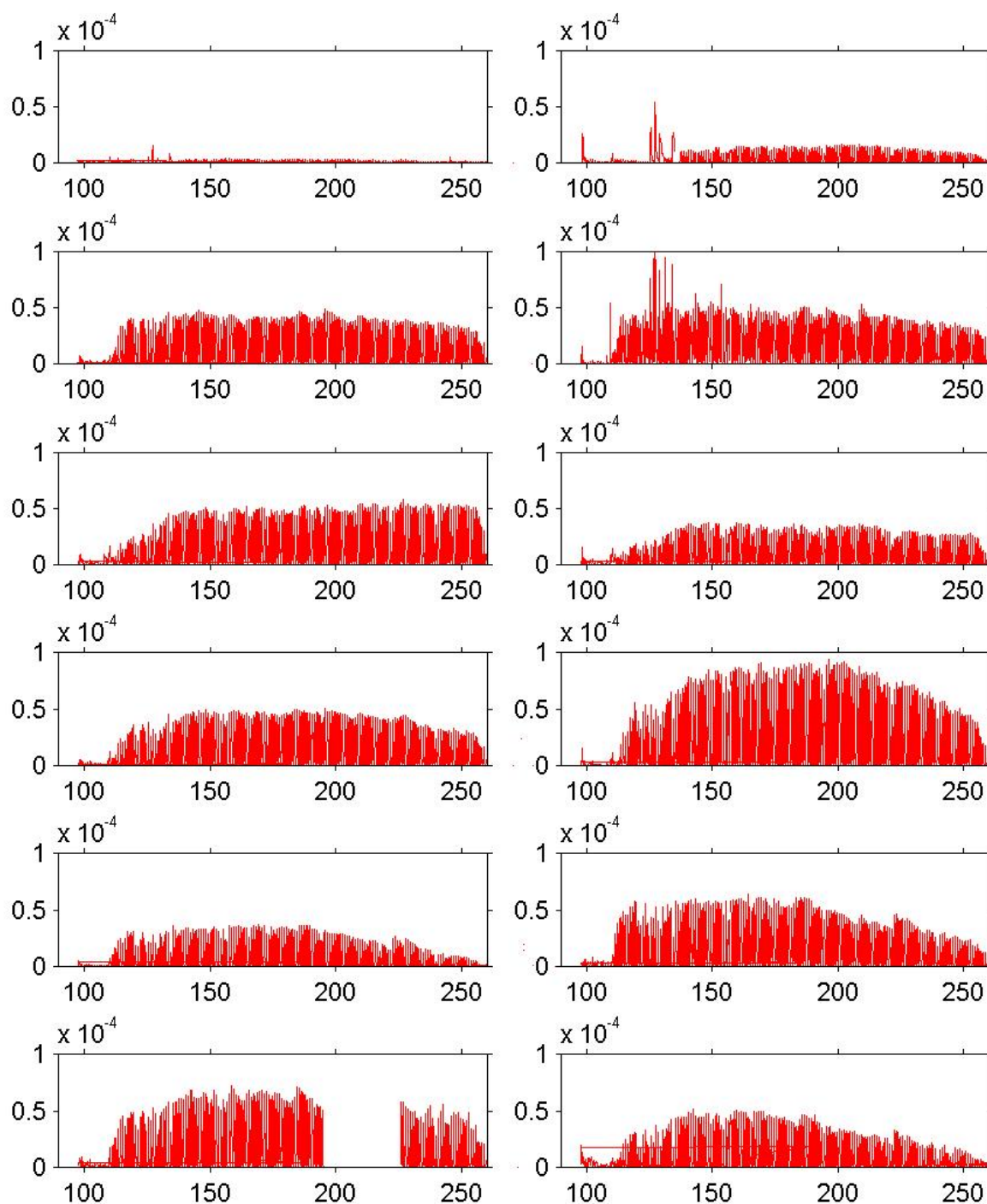
%calculates K for each half ourly value, using s and M
%for the first day it uses the maximum of the coming night
%for the last day it uses the maximum of the previous night
%for all other days it uses the average of the maxima of previous and
coming night
for k = 2 : nc
    for i = 1 : size(Sap,1);
        if (i<(Start+60))
            K(i,k)=M(1,ceil(Day(i)+1),k)/s(i,k)-1;
        elseif (i>size(Sap,1)-48)
            K(i,k)= M(1,floor(Day(i)),k)/s(i,k)-1;
        else
            K(i,k)= (M(1,floor(Day(i)),k)+M(1,ceil(Day(i)),k))/2/s(i,k)-1;
        end
        if (K(i,k)<0)
            K(i,k)=0;
        end
        %calculates speed of sap flow
        Sap(i,k)= 0.000119*K(i,k)^1.23;
        if Sap(i,k)>.0001            Sap(i,k) = NaN;
        end
        Sap(i,1)= Day(i);
    end
end
```

PRILOGA E1: PRIKAZ V_{SAP} ZA SEVERNO PLOSKEV V LETU 2004



mali jesen, maklen, hrast, hrast, hrast, navadni gaber

PRILOGA E2: PRIKAZ V_{SAP} ZA JUŽNO PLOSKEV V LETU 2004



hrast, hrast, hrast, skorš, mali jesen, mali jesen

PRILOGA F:M-FILE FUNKCIJE UPSCALESAP ZA IZRAČUN TOKA LATENTNE TOPLOTE TRANSPIRACIJE ZA POSAMEZNO GOZDNO PLOSKEV

```
function [T,lE] = UpscaleSap(s,factor);

%This function converts sap flow (m s-1) to transpiration flux in mm d-1
and in W m-2
%[T,lE] = UpscaleSap(sapflow, factor)
%factor = m2 sapwood area per m2 ground surface

rhowater = 1000; %kg m-3
lambda = 2.45*10^6; %J kg-1
T=s;
lE=s;
for i = 2 : size(s,2)
    T(:,i)=factor*s(:,i); %[m3 m-2 s-1]
    lE(:,i)=T(:,i)*rhowater*lambda; %[W m-2]
    T(:,i)=T(:,i)*1000*86400; %[mm d-1]
end
```