

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ŠTUDIJ EKOLOGIJE IN BIODIVERZITETE

Eva ŽEMLJA

**VPLIV MIKROKLIMATSKIH RAZMER NA  
FUNKCIONALNE ZNAČILNOSTI IZBRANIH  
VRST RASTLIN NA BELI GLAVI**

MAGISTRSKO DELO

Magistrski študij – 2. stopnja

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ŠTUDIJ EKOLOGIJE IN BIODIVERZITETE

Eva ŽEMLJA

**VPLIV MIKROKLIMATSKIH RAZMER NA FUNKCIONALNE  
ZNAČILNOSTI IZBRANIH VRST RASTLIN NA BELI GLAVI**

MAGISTRSKO DELO  
Magistrski študij – 2. stopnja

**IMPACT OF MICROCLIMATIC CONDITIONS ON FUNCTIONAL  
TRAITS OF SELECTED PLANT SPECIES ON BELA GLAVA  
(JULIAN ALPS)**

M. Sc. Thesis  
Master Study Programmes

Ljubljana, 2016

Magistrsko delo je zaključek magistrskega študijskega programa 2. stopnje Ekologija in biodiverziteta. Opravljeno je bilo na Katedri za ekologijo in varstvo okolja Oddelka za biologijo na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani.

Po sklepu komisije za študij 1. in 2. stopnje oz. Senata oddelka z dne 21. 2. 2014, je bila za mentorico magistrskega dela imenovana doc. dr. Tadeja Trošt Sedej, za recenzentko pa prof. dr. Alenka Gaberščik.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:	doc. dr. Aleš KLADNIK Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
Članica:	doc. dr. Tadeja TROŠT SEDEJ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
Članica:	prof. dr. Alenka GABERŠČIK Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Datum zagovora      6. 12. 2016

Podpisana izjavljam, da je magistrsko delo rezultat lastnega raziskovalnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačano, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Eva Žemlja

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Du2  
DK UDK 581.5:581.9(043.2)=163.6  
KG alpske rastline/mikroklimatske razmere/usmerjenost pobočja/vsebnost barvil/zgradba lista/optične lastnosti  
AV ŽEMLJA, Eva, dipl. biol. (UN)  
SA TROŠT SEDEJ, Tadeja (mentor)/GABERŠČIK, Alenka (recenzent)  
KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101  
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Študij ekologije in biodiverzitete  
LI 2016  
IN VPLIV MIKROKLIMATSKIH RAZMER NA FUNKCIONALNE ZNAČILNOSTI IZBRANIH VRST RASTLIN NA BELI GLAVI  
TD Magistrsko delo (Magistrski študij – 2. stopnja)  
OP XII, 72 str., 3 pregl., 25 sl., 1 pril., 76 vir.  
IJ sl  
JI sl/en  
AI Preučevali smo funkcionalne značilnosti izbranih vrst rastlin: lepi jeglič (*Primula auricula*), planika (*Leontopodium alpinum*), sleč (*Rhododendron hirsutum*) ter ušivec (*Pedicularis verticillata*), ki smo jih nabrali na Beli glavi v Julijskih Alpah na isti nadmorski višini (1921 m n. m.), a na različno usmerjenih pobočjih (severnem, južnem, vzhodnem in zahodnem). Merili smo vsebnost klorofila a, klorofila b, karotenoidov, antocianinov in UV-absorbirajočih snovi. Pod mikroskopom smo merili morfološke lastnosti – debelino parametrov listne notranjosti. Merili smo odbojnost ter presevnost listov v območju 380–830 nm. Rezultate smo primerjali znotraj ene vrste, nabrane na različno usmerjenih pobočjih, in z enosmerno ANOVO ugotavljali, ali se statistično značilno razlikujejo. Merili smo tudi temperaturo tal v obdobju od prvega do drugega vzorčenja (od začetka do konca rastne sezone). Bolj hladna in osojna severna stran neba je povezana z listno morfologijo, prisojne, toplejše strani neba (jug, vzhod in zahod) pa z vsebnostjo barvil. Ob večji osvetljenosti je vsebnost klorofilov ter karotenoidov večja. Večja vsebnost UV-absorbirajočih snovi, antocianinov in karotenoidov je zaščita pred močnejšim sevanjem in pred drugimi stresnimi dejavniki. Na prisojnih smereh neba je vsebnost klorofilov manjša zaradi fotodestrukcije. Povečanje vsebnosti karotenoidov je prilagoditev na manjšo jakost sevanja. Več statistično značilnih razlik tako pri biokemijskih kot pri morfoloških značilnostih smo ugotovili ob prvem vzorčenju, saj se mladi listi bolj adaptirajo na raznolike okoljske razmere kot odrasli. Vsaka vzorčena vrsta se je na raznolike okoljske razmere odzvala drugače, kar pomeni, da so odzivi vrstno specifični in so rezultat več sprememb v fiziologiji in morfologiji rastline. Potrdimo lahko, da mikroklimatske razmere na različno usmerjenih pobočjih značilno in kompleksno vplivajo na izbrane funkcionalne značilnosti rastlin.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Du2  
DC UDC 581.5:581.9(043.2)=163.6  
CX alpine plants/microclimate/slope aspect/pigments content/leaf morphology/optical properties  
AU ŽEMLJA, Eva  
AA TROŠT SEDEJ, Tadeja (supervisor)/GABERŠČIK, Alenka (reviewer)  
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101  
PB University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Master Study Programmes in Ecology and biodiversity  
PY 2016  
TI IMPACT OF MICROCLIMATIC CONDITIONS ON FUNCTIONAL TRAITS OF SELECTED PLANT SPECIES ON BELA GLAVA (JULIAN ALPS)  
DT M. Sc. Thesis (Master Study Programmes)  
NO XII, 72 p., 3 tab., 25 fig., 1 ann., 76 ref.  
LA sl  
AL sl/en  
AB We measured functional traits of four alpine plant species: mountain cowslip (*Primula auricula*), edelweiss (*Leontopodium alpinum*), hairy alpenrose (*Rhododendron hirsutum*) and whorled lousewort (*Pedicularis verticillata*). They were sampled on Bela glava, Julian Alps, in the same latitude (1921 m above sea level) in four differently orientated slopes – north, south, east and west. We measured chlorophyll a and b, carotenoid, anthocyanins and UV-absorbing compounds content. Under a microscope we measured morphological properties of leaves' internal structure. We measured reflectance and transmittance of leaves for wavelengths from 380 to 830 nm. We compared results among one species between different slopes and used oneway ANOVA to examine statistically significant differences. We placed thermometers in sample sites 10 cm below ground, which measured temperature every hour from first sampling (16/7/2014) at the beginning of growth season, to second sampling, at the end (7/9/2014). Colder, shady (northern) slope correlates with leaf morphology and warmer, sunny slopes (south, east and west) correlate with pigment contents. In some species we noticed higher chlorophyll and carotenoid contents in warmer slopes. Higher UV-absorbing compound, anthocyanins and carotenoid content is due to their protective role from high light intensity and stress factors (e.g. lower night temperatures). Lower chlorophyll content in sunny slopes is a consequence of photodestruction in some plants. Higher carotenoid level in shady slope is adaptation to less intense solar radiation. We find more statistically significant differences in biochemical and morphological properties at first sampling because young leaves are more prone to changes due to environmental factors than adult leaves. Each of our sampled species responded differently to different environmental factors, which means these changes are species specific and are a result of multiple changes in plant physiology and morphology. We can confirm that the impact of different microclimatic conditions in differently orientated slopes is complex, but significant.

## KAZALO VSEBINE

<b>KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA .....</b>	<b>IV</b>
<b>KEY WORDS DOCUMENTATION .....</b>	<b>V</b>
<b>KAZALO VSEBINE .....</b>	<b>VII</b>
<b>KAZALO SLIK .....</b>	<b>VIII</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC .....</b>	<b>X</b>
<b>KAZALO PRILOG .....</b>	<b>XI</b>
<b>SLOVARČEK.....</b>	<b>XII</b>
<b>1 UVOD .....</b>	<b>13</b>
<b>2 PREGLED OBJAV .....</b>	<b>14</b>
2.1 RAZMERE V VIŠJIH NADMORSKIH LEGAH IN PRILAGODITVE VISOKOGORSKIH RASTLIN .....	14
2.2 VPLIV SONČNEGA SEVANJA NA BIOKEMIJSKE IN MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI RASTLIN.....	15
2.3 VPLIV USMERJENOSTI POBOČJA .....	18
<b>3 MATERIAL IN METODE.....</b>	<b>19</b>
3.1 POTEK RAZISKAVE .....	19
3.2 TERENSKO DELO .....	19
3.3 OPIS VZORČENIH RASTLIN .....	21
3.4 LABORATORIJSKE ANALIZE.....	23
<b>3.4.1 Biokemijske značilnosti.....</b>	<b>23</b>
<b>3.4.2 Morfološke značilnosti .....</b>	<b>24</b>
<b>3.4.3 Optične lastnosti .....</b>	<b>24</b>
3.5 STATISTIČNE ANALIZE .....	25
3.6 POSKUSNE RAZMERE .....	26
3.7 RAZMERE NA RASTIŠČU.....	27
<b>4 REZULATI .....</b>	<b>29</b>
4.1 BIOKEMIJSKE ANALIZE .....	29
<b>4.1.1 Klorofil a .....</b>	<b>29</b>

<b>4.1.2</b>	<b>Klorofil b</b> .....	<b>30</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Karotenoidi</b> .....	<b>32</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Antocianini</b> .....	<b>34</b>
<b>4.1.5</b>	<b>UV-absorbirajoče snovi</b> .....	<b>36</b>
<b>4.2</b>	<b>MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI</b> .....	<b>40</b>
<b>4.3</b>	<b>OPTIČNE LASTNOSTI LISTOV</b> .....	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>RAZPRAVA</b> .....	<b>57</b>
<b>5.1</b>	<b>BIOKEMIJSKE ANALIZE</b> .....	<b>57</b>
<b>5.1.1</b>	<b>Vsebnost klorofila a, b in karotenoidov</b> .....	<b>57</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Vsebnost antocianinov in UV-absorbirajočih snovi</b> .....	<b>58</b>
<b>5.2</b>	<b>MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI</b> .....	<b>60</b>
<b>5.3</b>	<b>OPTIČNE LASTNOSTI LISTOV</b> .....	<b>62</b>
<b>6</b>	<b>SKLEPI</b> .....	<b>64</b>
<b>7</b>	<b>POVZETEK</b> .....	<b>65</b>
<b>8</b>	<b>VIRI</b> .....	<b>67</b>

**ZAHVALA**

**PRILOGE**

## KAZALO SLIK

<b>Sl. 1:</b> Prikaz vzorčnih ploskev in smeri neba v naši raziskavi .....	20
<b>Sl. 2:</b> Lepi jeglič .....	21
<b>Sl. 3:</b> Planika .....	21
<b>Sl. 4:</b> Dlakavi sleč .....	21
<b>Sl. 5:</b> Vretenčasti ušivec .....	22
<b>Sl. 6:</b> Delo v laboratoriju - trenje lista in ekstrakcija barvil v topilu (levo), priprava kivete za merjenje absorpcije z UV/VIS-spektrofotometrom (desno). .....	23
<b>Sl. 7:</b> Merjenje morfoloških značilnosti in optičnih lastnosti lista. Levo prikaz merjenja debeline zgornje povrhnjice s cellSens Standard, desno graf presevnosti s programom SpectraSuite.....	24
<b>Sl. 8:</b> Klimatološki parametri, izmerjeni na najbližji meteorološki postaji, na Kredarici (2514 m nmv). Levo trajanje sončnega sevanja in odstotek oblačnosti, desno dnevna količina padavin in povprečna dnevna temperatura. (ARSO) .....	26
<b>Sl. 9:</b> Urne meritve temperature na Beli glavi, v obdobju od 15.7. do 7.9.2014 na rastiščih, usmerjenih v štiri smeri neba, na globini 10 cm.....	27
<b>Sl. 10:</b> Vsebnosti klorofila a z ekstrakcijo po metodi Lichtenthaler in Buschmann (2001a, 2001b) ob 1. vzorčenju, 15.7. (zgoraj) in 2. vzorčenju, 7.9. (spodaj).. ..	29
<b>Sl. 11:</b> Vsebnosti klorofila b z ekstrakcijo po metodi Lichtenthaler in Buschmann (2001a, 2001b) ob 1. vzorčenju, 15.7. (zgoraj) in 2. vzorčenju, 7.9. (spodaj). .....	30
<b>Sl. 12:</b> Vsebnosti karotenoidov z ekstrakcijo po metodi Lichtenthaler in Buschmann (2001a, 2001b) ob 1. vzorčenju, 15.7. (zgoraj) in 2. vzorčenju, 7.9. (spodaj). .....	32
<b>Sl. 13:</b> Vsebnosti antocianinov z ekstrakcijo po metodi Khare in Guruprasad (1993) ob 1. vzorčenju, 15.7. (zgoraj) in 2. vzorčenju, 7.9. (spodaj).....	34
<b>Sl. 14:</b> Vsebnosti UV-A absorbirajočih snovi z ekstrakcijsko metodo po Caldwellu (1968) ob 1. vzorčenju, 15.7. (zgoraj) in 2. vzorčenju, 7.9. (spodaj).....	36
<b>Sl. 15:</b> Prikazane vsebnosti UV-B absorbirajočih snovi po Caldwellu (1968) ob 1. vzorčenju, 15.7. (zgoraj) in 2. vzorčenju, 7.9. (spodaj). .....	38
<b>Sl. 16:</b> Mikroskopska fotografija prečnega prereza lista jegliča z označenimi nekaterimi merjenimi morfološkimi značilnostmi. ....	41
<b>Sl. 17:</b> Mikroskopska fotografija prečnega prereza lista planike z označenimi nekaterimi merjenimi morfološkimi značilnostmi .....	41
<b>Sl. 18:</b> Mikroskopska fotografija prečnega prereza lista ušivca z označenimi nekaterimi merjenimi morfološkimi značilnostmi. ....	42
<b>Sl. 19:</b> Mikroskopska fotografija prečnega prereza lista sleča z označenimi nekaterimi merjenimi morfološkimi značilnostmi. ....	42
<b>Sl. 20:</b> Redundančna analiza (RDA) merjenih morfoloških in biokemijskih značilnosti posameznih vzorčenih rastlin s smermi neba (kvalitativni parameter) julija. ....	46
<b>Sl. 21:</b> Redundančna analiza (RDA) merjenih morfoloških in biokemijskih značilnosti posameznih vzorčenih rastlin s smermi neba (kvalitativni parameter) septembra. ....	47
<b>Sl. 22:</b> Ordinacijski diagram redundančne analize julijskih meritev biokemijskih in morfoloških lastnosti in njihova povezava s posameznimi smermi neba. ....	49
<b>Sl. 23:</b> Ordinacijski diagram redundančne analize septembrskih meritev biokemijskih in morfoloških lastnosti in njihova povezava s posameznimi smermi neba.....	50



<b>Sl. 24:</b> Odbojnost in presevnost pri jegliču (zgoraj) in planiki (spodaj) ob septembrskem vzorčenju v spektru od 380 do 750 nm. ....	52
<b>Sl. 25:</b> Odbojnost in presevnost pri sleču (zgoraj) in ušivcu (spodaj) ob septembrskem vzorčenju v spektru od 380 do 750 nm. ....	53

## KAZALO PREGLEDNIC

<b>Pregl. 1:</b> Zbrani statistični podatki o izmerjenih temperaturah na 10 cm globine na posameznih smereh neba.....	26
<b>Pregl. 2:</b> Povprečne vrednosti $\pm$ standardni odklon posameznih parametrov listne morfologije.....	38
<b>Pregl. 3:</b> Zbrani rezultati optičnih lastnosti ob septembrskem vzorčenju. V odstotkih (%) je izražen delež 10 nm intervalov znotraj posameznega preiskovanega dela spektra, ki se statistično značilno razlikujejo med dvema smerema neba pri posamezni rastlini.....	48

## KAZALO PRILOG

**Pril. A:** RDA morfoloških in biokemijskih parametrov v povezavi z optičnimi lastnostmi

## SLOVARČEK

funkcionalne lastnosti	(angl. <i>functional traits</i> ) – morfološke, fiziološke, biokemijske, strukturne, vedenjske in fenološke lastnosti, ki določajo odziv rastline na okoljske razmere in vplivajo na fitness osebk (Nock, Vogt in Beisner, 2016)
UV	ultravijolično sevanje
UV-A	ultravijolično A-sevanje (315–380 nm)
UV-B	ultravijolično B-sevanje (280–315 nm)
NIR	bližnje infrardeče sevanje (angl. <i>near-infrared</i> ) (740–830 nm)
PAR	fotosintezno aktivni del sevanja (angl. <i>photosynthetically active radiation</i> )
RDA	redundančna analiza (angl. <i>redundancy analysis</i> )
ANOVA	analiza variance (angl. <i>analysis of variance</i> )
d	debelina
<i>P. auricula</i>	<i>Primula auricula</i> , lepi jeglič
<i>L. alpinum</i>	<i>Leontopodium alpinum</i> , planika
<i>R. hirsutum</i>	<i>Rhododendron hirsutum</i> , dlakavi sleč
<i>P. verticillata</i>	<i>Pedicularis verticillata</i> , vretenčasti ušivec
sever	meritev rastline, vzorčene na severnem pobočju
jug	meritev rastline, vzorčene na južnem pobočju
vzhod	meritev rastline, vzorčene na vzhodnem pobočju
zahod	meritev rastline, vzorčene na zahodnem pobočju
prvo vzorčenje	ob začetku rastne sezone, julija, 16. 7. 2014
drugo vzorčenje	ob koncu rastne sezone, septembra, 7. 9. 2014

## 1 UVOD

V sledečem magistrskem delu smo preučevali razlike v izbranih funkcionalnih značilnostih pri štirih izbranih rastlinskih vrstah na Beli glavi (Julijske Alpe, 1926 m n. m.). Želeli smo ugotoviti, ali rast na različno usmerjenih pobočjih hriba vpliva na razlike v biokemijskih, morfoloških in optičnih lastnostih rastlin. Dejavnika, ki najbolj vplivata na funkcionalne značilnosti rastlin, sta topografija in višinski gradient (Carpenter, 2005, Kearney in sod., 2014; Gong in sod., 2008; Bennie in sod., 2008). Večina alpskih raziskav se osredotoča na abiotске parametre in njihov vpliv na razlike v sestavi, pogostosti in razširjenosti vrst (Cantlon, 1953) pa tudi na produktivnost (Zhao in sod., 2011).

Z izrazom 'funkcionalne značilnosti' označujemo morfološke, fiziološke in fenološke lastnosti, ki določajo odziv rastline na okoljske razmere. Funkcionalne značilnosti določajo fitness organizma s tem, ko določajo njegovo preživetje, rast in razmnoževanje, in vplivajo na delovanje celotnega ekosistema (Violle in sod., 2007). Skupek interakcij med različnimi biološkimi, biofizičnimi, hidrološkimi in topografskimi dejavniki v okolju določa mikroklimatske razmere (Xu in sod., 2004). Te v glavnem zajemajo temperaturo zraka, temperaturo podlage na površini ter na 5 cm globine, diurnalni temperaturni razpon, hitrost vetra ter vsebnost vlage (Delany, 1953; Xu in sod., 2004; Kearney in sod., 2014, Islam in sod., 2015) pa tudi količino sončnega sevanja (D'Odorico, 2007; Hazrati in sod., 2016). Na temperaturo tal vpliva tudi tip podlage oziroma njegova toplotna kapaciteta. Dejavnika, ki pomembno vplivata na delovanje ekosistema, sta temperatura podlage (Wundram in sod., 2010) ter količina prejete svetlobne energije (Holland in Steyn, 1975). To vpliva na kroženje snovi, razvoj rastlin in pedofavne, prav tako pa določa agregatno stanje vode v tleh (Ahmad in Rasul, 2008). Rastline se na razmere prilagodijo tekom rastne sezone in tudi tekom dneva (Gratani in Fiorentino, 1988). Strategije preživetja in razmnoževanja ter s tem funkcionalne značilnosti rastline so tako povezane z okoljskimi razmerami. Zaradi različnih razmer in spreminjanja le-teh prihaja do razlik v fenotipskih lastnostih pri istih vrstah, ki uspevajo na različnih rastiščih (Kearney in sod., 2014; Hazrati in sod., 2016).

## Hipoteze

1. Pričakujemo razlike v funkcionalnih značilnostih rastlin, rastočih na različno usmerjenih pobočjih zaradi mikroklimatskih razlik. Te obsegajo predvsem razlike v jakosti in trajanju sevanja ter s tem razlike v temperaturnih razmerah med smermi neba.
2. Pričakujemo razlike v biokemijskih in morfoloških značilnostih ter optičnih lastnostih med izbranimi rastlinskimi vrstami.
3. Izbrane rastlinske vrste bodo imele na jugu večjo količino UV-absorbirajočih snovi zaradi večje količine sevanja na južnem pobočju.

## 2 PREGLED OBJAV

### 2.1 RAZMERE V VIŠJIH NADMORSKIH LEGAH IN PRILAGODITVE VISOKOGORSKIH RASTLIN

Alpinske rastline so podvržene ostrim razmeram, ki vladajo v gorskem svetu: malo prsti, pomanjkanje hranil, kratka vegetacijska doba, velika temperaturna nihanja, velika jakost sevanja (Billings in Mooney, 1968; Körner, 2003; Illa in sod., 2005) in mehanske motnje (Körner, 2003; Tieszen, 1970). Številne prilagoditve na te razmere sta opisala Billings in Mooney (1968): Večina alpskih rastlin je trajnic in imajo večji delež biomase pod zemljo. Dormantna semena so odporna na nizke in dolgotrajno neugodne temperature, dormanco sprožijo nizke temperature, fotoperioda in suša, germinacijo pa temperature nad lediščem. Optimalno stopnjo fotosinteze alpinske rastline dosežejo pri nižjih temperaturah. Svetlobna saturacijska točka je višja kot pri nižinskih rastlinah. Za fotosintezo zadoščajo že nižje koncentracije CO<sub>2</sub>. Letna produktivnost je nizka, vendar skoncentrirana na kratkotrajno rastno sezono, ko pa je sorazmerno visoka. Odporne so na sušo, ki je v alpskem svetu prisotna pozimi zaradi zmrzovanja prsti in suhih vetrov, poleti pa zaradi visokih temperatur. Fotosintetsko aktivne so lahko tudi ob nižjih vodnih potencialih. Trajnice imajo razvite založne organe: podzemne za ogljikove hidrate, liste in stebela za lipide – zaloge jim omogočajo hitro rast takoj po nastopu bolj ugodnih razmer na začetku pomladi. Na nizke zimske temperature so odporne predvsem na račun raztopljenih ogljikovih hidratov, posebno rafinoze. Cvetne nastavke izdelajo eno sezono prej, njihov razvoj v naslednji je odvisen od temperature in fotoperiode. Z višanjem nadmorske višine je bolj pomembno oprашevanje z vetrom, žužkocvetke uspevajo v nižjih legah, kjer so najpomembnejši oprашevalci dvokrilci (Diptera). Pomembno je tudi vegetativno razmnoževanje. Razvoj semen je odvisen predvsem od temperature med drugo polovico rastne sezone in cvetenjem.

Posebno sta izraziti prilagoditvi na nizke temperature ter povečano UV-sevanje v gorskem svetu. Odpornost na mraz zagotavljajo prilagojene membrane, ki se ob tvorjenju kristalov ledu ne poškodujejo (Körner, 2003), UV-sevanje (posebej UV-B) pa rastline absorbirajo s pomočjo fenolnih spojin v povrhnjici in zgornjih plasteh mezofila. Selektivna prepustnost povrhnjice za fotosintezno aktivni del svetlobe in hkrati neprepustnost za sevanje UV-dela spektra je pomembna lastnost kopenskih rastlin, posebej teh, ki rastejo v okoljih s povečanim sevanjem (Day in Demchik, 1995; Day in sod., 1993; Ziska in sod., 1992; Robberecht in Caldwell, 1983; Caldwell, 1968).

## 2.2 VPLIV SONČNEGA SEVANJA NA BIOKEMIJSKE IN MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI RASTLIN

V alpskem svetu ima zaradi višje nadmorske višine večji pomen količina sončnega sevanja, njena jakost in kvaliteta. Zaradi kombinacije visoke odbojnosti lista, nizke presevnosti povrhnjice, povečane vsebnosti UV-absorbirajočih flavonoidov (Caldwell, 1968; Day in Demchik, 1995; Ziska in sod., 1992) ter uspešnosti popravljalnih mehanizmov (Robberecht in Caldwell, 1978) so rastline višjih nadmorskih višin dobro zaščitene pred vplivi povečanega UV-B-sevanja tudi brez dodatne tvorbe zaščitnih barvil (Barnes in sod., 1987; Ziska in sod., 1992). Svetloba različnih valovnih dolžin omogoča različne procese in različen izplen fiksacije CO<sub>2</sub>, rastlina pa v ta namen sintetizira več barvil, s katerimi zajame čim večji del svetlobnega spektra (Hogewoning in sod., 2012).

UV-absorbirajoče snovi (flavonoidi in drugi) so fenolne spojine, ki absorbirajo v UV-spektru, z absorpcijskim vrhom okrog 300 nm. Pri zelnatih rastlinah se večinoma nahajajo v vakuolah celic povrhnjice, njihova tvorba je inducirana z UV-B, UV-A, modro in rdečo svetlobo (Middleton in Teramura, 1993; Day in sod., 1992). Antocianini dajejo rastlinam rdečkasto-vijolično barvo, saj absorbirajo predvsem v zelenem in rumenem delu spektra. Nahajajo se v vakuolah in v citosolu. S svojim visokim antioksidativnim potencialom so pomembni pri odstranjevanju škodljivih prostih radikalov, do njihove sinteze pride kot odziv na stres (Gould, 2004).

Okoljskim razmeram se posamezni listi lahko prilagodijo s spremenjenim razmerjem barvil v fotosistemih, saj nekatera omogočajo svetlobne reakcije pri drugih valovnih dolžinah, druga pa ščitijo fotosintezni aparat pred prostimi radikali (Šircelj, 2008; Middleton in Teramura, 1993; Day in sod., 1993; Gould, 2004). Prilagoditve so lahko tudi trenutne, npr. preusmeritev odvečne energije, sprememba v usmerjenosti lista, in s tem spremenjen vpadni kot sončnih žarkov (Hogewoning in sod., 2012; Joesting in sod., 2012; Smith in sod., 1998). Večja intenziteta sončnega sevanja skupaj z nizkimi nočnimi temperaturami znižuje izkoristek CO<sub>2</sub>, saj deluje zaviralno na procese karboksilacije (D'Odorico, 2013). UV-B-sevanje povzroči povečano sintezo flavonoidov že pri sadikah (Wellmann, 1983, cit. po Barnes in sod.).

Pri odraslih rastlinah večja jakost UV-sevanja povzroči zmanjšano presevnost in povečano absorptivnost v UV-spektru (Barnes in sod., 1987). Robberecht in Caldwell (1978, 1983) sta ugotovila, da pri večini vzorčenih rastlin skozi zgornjo povrhnjico prodre manj kot 10 % UV-B-sevanja, saj ga absorbirajo UV-absorbirajoče snovi v povrhnjici in zgornjem mezofilu.

Za proces fotosinteze je potreben klorofil, ki svetlobo absorbira in pretvori v kemijsko energijo – organske spojine (Sevik in sod., 2012). Klorofili so tetrapiroli, ki imajo v notranjosti s koordinacijsko vezjo pripet ion magnezija. Molekule klorofila so del proteinskega kompleksa v reakcijskem centru fotosistema, ki se nahaja na membranah kloroplastov (Ohtzuka in sod., 1997). Pri semenkah najdemo klorofil a in klorofil b, ki se razlikujeta v molekularni zgradbi in absorpcijskih vrhovih. Ta dva sta različna, zaradi česar je povečan izkoristek svetlobe. Vsebnost klorofila in razmerje kl a/b pri rastlinah sta vrstno specifična, odvisna sta tudi od okoljskih dejavnikov. Listi, ki prejmejo več sončne svetlobe, vsebujejo več klorofila a (Sevik in sod., 2012). Beale in Appleman (1971) sta proučevala vsebnost klorofila pri *Chlorelli* glede na količino svetlobe, ki je na voljo za rast, in ugotovila, da je, v kolikor je svetlobe dovolj, sinteza klorofila zmanjšana, in obratno. Odziv na različne jakosti svetlobe so proučevali tudi Lichtenthaler in sodelavci (2007), ki so ugotovili, da se sončni in senčni listi razlikujejo v zgradbi kloroplastov, razmerju vsebnosti kl a/b ter karotenoidov, in s tem v fotosintezni kapaciteti. Senčni listi štirih vzorčenih drevesnih vrst so imeli večjo vsebnost barvil glede na suho snov. Pri sončnih listih je večje razmerje kl a/b in manjše razmerje kl/kar na račun karotenoidov ksantofilnega cikla.

Karotenoidi ( $\beta$ -karoten, lutein, violaksantin, neoksantin, zeaksantin, anteraksantin in  $\alpha$ -karoten) so tetraterpeni in se v rastlinah nahajajo v kromoplastih in membranah kloroplastov. Kloroplastni karotenoidi imajo pomembno vlogo pri zbiranju svetlobe v območju modre svetlobe (400–500 nm) in posredovanju ekscitacijske energije do klorofilov, s čimer se poveča izkoristek svetlobe in učinkovitost fotosinteze (McWilliam in Naylor, 1967; Hogewoning in sod., 2012; Gonçalves in sod., 2001; Lichtenthaler in sod., 2007; Šircelj, 2008). Po drugi strani pomagajo pri odstranjevanju kisikovih radikalov, ki nastanejo zaradi presežka svetlobne energije ali drugih stresnih dejavnikov. Karotenoide rastline tvorijo kot odziv na povečano sevanje, saj z njimi ščitijo fotosintezni aparat pred fotooksidativnim stresom (Šircelj, 2008), zato je večja vsebnost karotenoidov posledica večje jakosti in količine sevanja (Gonçalves in sod., 2001; Bandurski, 1949). Njihova sinteza je inducirana z UV-A- in modro svetlobo (Middleton in Teramura, 1993). Spremembe v vsebnosti klorofilov in karotenoidov na gram suhe mase so posledica fotodestrukcije zaradi večje svetlobne intenzitete (Gonçalves in sod., 2001; Bandurski, 1949) in nizkih temperatur (McWilliam in Naylor, 1967).



Lahko pa so tudi posledica sprememb v anatomiji in pojavu nefotosinteznega tkiva, na kar naj bi okoljske razmere vplivale bolj kot na izgradnjo barvil pri alpskih rastlinah (Tieszen, 1970; Sevik in sod., 2012). Večja vsebnost je prav tako posledica povečanega UV-B-sevanja, vendar odziv ni tako očiten pri rastlinah, ki uspevajo v okoljih z naravno visokimi jakostmi UV-B-sevanja. Middleton in Teramura (1993) domnevata, da do sprememb v vsebnosti fotosinteznih barvil ne pride, v kolikor se tvorijo UV-absorbirajoče snovi.

Zgradba listne notranjosti vpliva na difuzijo in izkoristek svetlobe ter CO<sub>2</sub> v rastlini, s tem pa določa fotosintezno učinkovitost rastline (Smith in sod., 1997, 1998; Lichtenthaler in sod., 2007; Joesting in sod., 2012; Park, 2013). Odvisna je od genske osnove, okoljskih razmer – predvsem jakosti in spektra svetlobe, v katerih se list razvija, pa tudi od dostopnosti vode, ki je posledica sončnega sevanja. Morfologija listov alpskih rastlin se občutno spreminja z nadmorsko višino, in sicer predvsem zaradi sprememb v temperaturi ter parcialnem tlaku CO<sub>2</sub> (Hovenden in Vander Schoor, 2004). Joesting je s sodelavci (2012) ugotovil, da je razmerje med prejeto svetlobo na obeh straneh lista ključnega pomena za izgradnjo listne morfologije. Zgornja stran lista prejme 3–4-krat več sončnega sevanja, prečni prerezi listov pa so pokazali, da je debelina lista večja, kot je bilo napovedano z modelom, in da pride do pojava večplastnega stebričastega tkiva na zgornji strani lista. Park (2013) je ugotovil, da je masa listov glede na površino večja pri rastlinah *Rhododendron schlippenbachii* na južnih pobočjih v primerjavi s severnimi. Bolj obsevani listi so debelejši. Sorazmerno z jakostjo svetlobe se spreminja debelina in oblika celic zgornje in spodnje povrhnjice, saj to vpliva na prehod svetlobe v notranjost lista (Smith in sod., 1997).

Vsa svetloba, ki pride do nekega predmeta, se mora bodisi od njega odbiti, v njem absorbirati, ali preiti skozenj (Woolley, 1971). Optične lastnosti lista določajo razmerje med odbito, absorbirano in presevno svetlobo določenega dela spektra. Listi, ki vsebujejo manj vode, več svetlobe odbijejo. Voda je glavni absorbent v IR-delu spektra, biološke strukture in spojine vplivajo na absorpcijo v UV- in vidnem delu svetlobnega spektra (Woolley, 1971). Na optične lastnosti poleg notranje zgradbe ter biokemijskih lastnosti vplivajo tudi struktura povrhnjice ter zunajcelične tvorbe (dlačice, voski). Voski kutikule in strukture na površju lahko v manjši meri vplivajo na zmanjšano presevnost pa tudi povečano odbojnost. Povečano sevanje vpliva na razvoj gostejših dlačic na listni površini. Te zmanjšajo absorptivnost in povečajo odbojnost lista (Smith in Nobel 1978; Robberecht in Caldwell, 1983; Robberecht in sod., 1980). Vpliv posamezne morfološke in biokemijske značilnosti na odbojnost in presevnost listov variira med različnimi rastlinskimi vrstami (Robberecht in Caldwell, 1978; Smith in Nobel, 1978; Caldwell 1968).

### 2.3 VPLIV USMERJENOSTI POBOČJA

Številni raziskovalci se strinjajo, da do razlik v gradientih temperature zraka in tal tik ob površju, vsebnosti vlage in dolžini rastne sezone prihaja zaradi različne količine in jakosti sončnega sevanja (Måren in sod., 2015; Bennie in sod., 2008; Holland in Steyn, 1975; Cantlon, 1953).

Na severni polobli so južna pobočja osončena večino dneva in Auslander (2003) s sodelavci predpostavlja, da južna pobočja lahko prejmejo tudi šestkrat več sončnega sevanja kot severna in imajo toplejše, bolj sušne in raznolike mikroklimatske razmere (Bennie in sod., 2008). Višinski gradient temperature in s tem meje pojavnosti rastlin so zamaknjene zaradi razlik v sončnem sevanju, ki je posledica zemljepisne širine – oddaljenosti od ekvatorja (Körner, 2003) ter usmerjenosti pobočja (Holland in Steyn, 1975). Ta ima v višjih legah velik pomen, saj določa različni vpadni kot sončnih žarkov (Sidari in sod., 2000) in različno količino sončnega sevanja (Geiger, 1965, cit. po Iogna in sod., 2011; Cantlon, 1953; Holland in Steyn, 1975), to pa skupaj s temperaturo okoliškega zraka, vlažnostjo in precipitacijo vpliva na temperaturo tal (Islam in sod., 2015; Cantlon, 1953). V višjih nadmorskih višinah so pomemben dejavnik tudi spremenljive vremenske razmere, saj so dopoldnevi večkrat jasni, popoldnevi pa oblačni in nevihtni. Posledično prejmejo vzhodna pobočja večjo količino sončnih žarkov kot zahodna (Farji-Brener in sod., 2009).

Sidari in sodelavci (2008) so ugotovili, da imajo severna pobočja manjšo vsebnost organske snovi in manjšo stopnjo mikrobne aktivnosti. Kirchner (2013) je s sodelavci med opazovanjem nalaganja dušikovih spojin na različno usmerjena pobočja domneval, da je na severnih pobočjih manjši vpliv toplega vzgonskega vetra v primerjavi z južnimi. Gong (2008) je s sodelavci ugotovil, da je erozija na prisojnih (južnih) pobočjih hitrejša, da so osojna (severna) pobočja bolj produktivna kot južna in da tam K, N in P niso bili limitirajoči dejavnik, kot je dostopnost vode. To je tudi glavni dejavnik, ki vpliva na sestavo rastlinskih združb (Armesto and Martinez, 1978; Badano in sod., 2005; Martinez in Armesto, 1983; Sternberg in Shoshany, cit. po Gong in sod., 2008). Bolj suhi mikrohabitati imajo večjo vrstno pestrost zaradi zmanjšanja kompeticije na račun vodnega stresa (Badano in sod., 2005). V nasprotju pa so Måren in sod. (2015) ugotovili večjo vrstno pestrost gozdov severnih pobočij v primerjavi z južnimi, saj drevesa potrebujejo več vlage, ki jo osojnim pobočjem omogoča manjša jakost sevanja in s tem manjša evapotranspiracija ter dlje trajajoč sneženi pokrov.

Biološki procesi v tleh so odvisni od temperature podlage, saj ta določa dostopnost vode in metabolno aktivnost dekompozitorjev (Ahmad in Rasul, 2008; Sidari in sod., 2000), vpliva pa tudi na pH in koncentracijo ionov (Tomlinson, 1993, cit. po Brown in sod., 2000).

Iogna in sod. (2011) so pokazali, da majhne mikroklimatske spremembe (npr. v vlažnosti in temperaturi) zaradi sprememb v vetru in sevanju lahko vplivajo na občutne spremembe v funkcionalnih lastnostih rastlin, ki uspevajo na različno usmerjenih pobočjih. Nobel in Linton (1997) sta proučevala razlike v sestavi treh vrst puščavskih rastlin na severnem in južnem pobočju ter ugotovila, da so zaradi bolj vlažnih razmer na severni strani hriba rastline tam večje rasti kot na južni strani. Zhao in sod. (2011) so primerjali fotosintetske in morfološke lastnosti vrste *Caragana microphylla* s severnih in južnih pobočij in ugotovili, da so rastline južnih pobočjih večje rasti, imajo več listov, ki so daljši in širši v primerjavi s severnimi. Na različno usmerjenih pobočjih so v tleh ugotovili različno razmerje C : N : P, kar je vodilo v drugačne fotosintetske in morfološke lastnosti pri proučevani vrsti. Zaključili so, da je vpliv usmerjenosti pobočja na funkcionalne značilnosti posreden, vendar značilen.

### 3 MATERIAL IN METODE

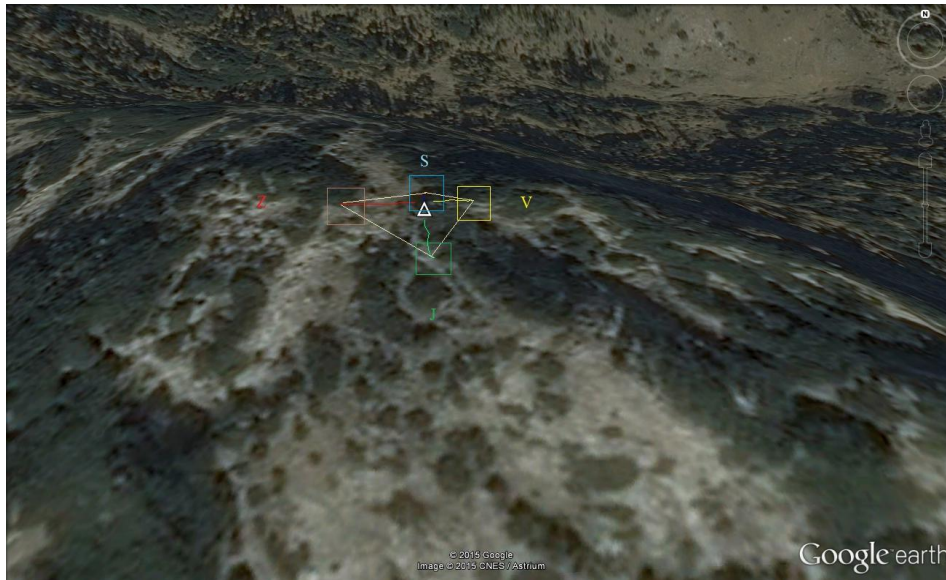
#### 3.1 POTEK RAZISKAVE

Delo je potekalo na terenu in v laboratoriju. Terenski del je zajemal izbor ožjega območja nabiranja rastlin, nastavitev avtomatskih termometrov ter vzorčenje izbranih rastlin na začetku (16. 7. 2014) in na koncu rastne sezone (7. 9. 2014) na Beli glavi v Julijskih Alpah (1926 m n. v.; 46°19'6.78"S, 13°47'33.86"V). Pri izboru vzorčnih mest smo upoštevali določila za izbor vrha pri projektu GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments). Bela glava ustreza vsem kriterijem, predvsem pa je z vseh strani vrh podobno strm in so rastišča na pobočjih podobna. Drugi del je vključeval analizo vrst v laboratoriju v naslednjih nekaj dneh po vzorčenju. Analize smo izvedli hitro in bolj občutljive parametre izmerili najprej ter s tem zmanjšali absolutne napake v rezultatih. Z vedno istim vrstnim redom analiz smo se izognili večjim relativnim napakam.

#### 3.2 TERENSKO DELO

Najprej smo določili usmerjenost pobočij hriba. Na točki na pobočju, ki je točno usmerjena v določeno smer neba, smo s klinometrom SUUNITO določili 5 višinskih metrov od vrha. To je bila sredina 9 m<sup>2</sup> velikega območja, kjer smo nabrali vzorčne rastline. Na sredinski točki smo izbrali tudi primerno mesto, kjer smo 10 cm globoko v zemljo zakopali Onset HOBO Data-logger TidbiTv2 za avtomatsko merjenje temperature vsako uro do naslednjega vzorčenja. Na vseh štirih geografsko različno usmerjenih področjih smo nato izbrali rastlinske vrste, ki se pojavljajo povsod: lepi jeglič, planika, dlakavi sleč in vretenčasti ušivec, ter nabrali njihove zelene dele za analizo v laboratoriju.

Ob drugem vzorčenju na koncu sezone smo poleg vzorčenja istih rastlinskih vrst na istih ploskvah prenesli tudi podatke iz zakopanih termometrov ter tako dobili podatke o nihanju temperature na rastišču v obdobju od 16. 7. do 7. 9. 2014.



**Slika 1:** Prikaz vzorčnih ploskev (barvni kvadrati s površino 9 m<sup>2</sup>) in smeri neba v naši raziskavi (S – sever, J – jug, V – vzhod, Z – zahod). Bel trikotnik (Δ) označuje vrh Bele glave, črte označujejo razdaljo 5 višinskih metrov od vrha.

### 3.3 OPIS VZORČENIH RASTLIN

**Lepi jeglič** (*Primula auricula* L.) spada med jegličevke. Je zaščitena alpska trajnica z mesnatimi, nepecljatiimi listi, nameščenimi v rozeti. Na robu jajčastih, belo popršenih listov, so pogoste kalcifikacije. Živo rumeni cvetovi izraščajo v skupinah na do 20 cm dolgih peceljih. Cveti od marca do julija (Lippert, 1987; Martinčič in sod., 2007).



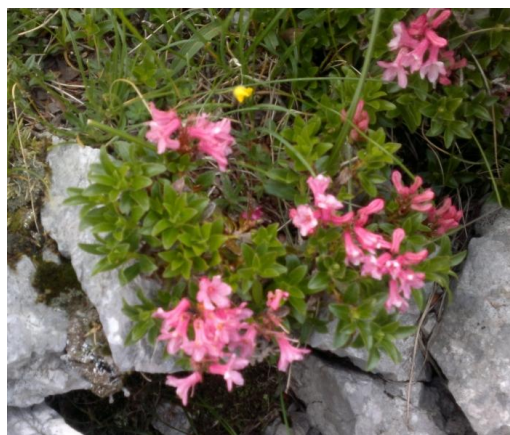
**Slika 2:** Lepi jeglič  
(Foto: Eva Žemlja)



**Slika 3:** Planika  
(Foto: Eva Žemlja)

**Planika** (*Leontopodium alpinum* Cass.) spada v družino nebinovk in je najstarejša zavarovana in značilna alpska rastlina na Slovenskem. Suličasti gosto belo-volnato dlakavi, pritlični listi so lahko nekoliko zožani v pecelj, spet drugi so povsem sedeči. Na stebelu je 5–8 koškov s cevastimi cvetovi, ki se združujejo v pakobule s srebrnasto dlakavimi ovršnimi listi. Je do 20 cm visoka trajnica, ki cveti od junija do avgusta (Lippert, 1987; Martinčič in sod. 2007).

**Dlakavi sleč** (*Rhododendron hirsutum* L.) spada med vresovke. Ploščati, svetleči zeleni listi so na robovih štrleče odlakani. Je do 1 m visok, razrasel grm, ki uspeva od montanskega do subalpinskega pasu. Rožnati do svetlo rdeči zvonasti cvetovi so vidni od junija do avgusta (Lippert, 1987; Martinčič in sod., 2007).



**Slika 4:** Dlakavi sleč  
(Foto: Eva Žemlja)



**Slika 5:** Vretenčasti ušivec  
(Foto: Eva Žemlja)

**Vretenčasti ušivec** (*Pedicularis verticillata* L.) je trajnica iz družine črnobinovk, ki s svojim dlakavim stebлом lahko zraste tudi 30 cm v višino. Ima zelene do temno vijoličaste liste, ki so pernato deljeni in sedeči, nameščeni v vretencu. Večinoma uspeva na z apnencem bogatih tleh, nad 1500 m nadmorske višine. Roza do vijolični cvetovi so nameščeni v klasastih socvetjih in cvetijo od junija do avgusta (Lippert, 1987; Martinčič in sod., 2007).

### 3.4 LABORATORIJSKE ANALIZE

#### 3.4.1 Biokemijske značilnosti

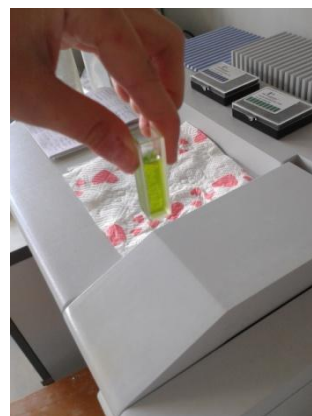
Ekstrakcije **klorofilov in karotenoidov** smo izvedli po metodi Lichtenthaler in Buschmann (2001a, 2001b). Vzorce smo strli v terilnici, ekstrahirali v 10 mL acetona (100 % (v/v)), centrifugirali (4000 rpm, 4°C, 4 min) v centrifugirkah za klorofil in odčitali prostornine ekstraktov. Ekstinkcije smo izmerili z VIS-spektrofotometrom pri valovnih dolžinah 470, 645 in 662 nm. Vsebnosti klorofilov (Kl a in Kl b) ter karotenoidov (Kar) smo preračunali na suho maso po formulah:

$$\text{Kl a [mg g}^{-1} \text{ ss]} = c_a \times V / \text{ss} = (11,24 E_{662} - 2,04 E_{645}) \times V / \text{ss}$$

$$\text{Kl b [mg g}^{-1} \text{ ss]} = c_b \times V / \text{ss} = (20,13 E_{645} - 2,04 E_{652}) \times V / \text{ss}$$

$$\text{Kar [mg g}^{-1} \text{ ss]} = (1000 E_{470} - 1,9 c_a - 63,14 c_b) \times V / \text{ss} / 214,$$

pri čemer je  $c_{a,b}$  = koncentracija klorofila a oz. klorofila b [mg g<sup>-1</sup> ss]; V = volumen ekstrakta [mL]; ss = suha masa vzorca [g];  $E_{470, 645, 662}$  = ekstinkcija pri valovni dolžini 470, 645, 662 nm



**Slika 6:** Delo v laboratoriju – trenje lista in ekstrakcija barvil v topilu (levo), priprava kivetve za merjenje absorpcije z UV-/VIS-spektrofotometrom (desno).  
(Foto: Eva Žemlja)

Vsebnost **antocianinov** smo določili po Khareju in Guruprasadu (1993). Vzorce smo strli v terilnici in ekstrahirali v 10 mL ekstrakcijskega medija (metanol : HCl (37 %) = 99:1 (v/v)). 4 min smo centrifugirali pri 4000 rpm na 4° C in odčitali prostornine ekstraktov. Vzorce smo shranili v temi (24 ur, 3–5 °C). Ekstinkcije smo izmerili pri 530 nm z UV-/VIS-spektrofotometrom. Relativno vsebnost antocianinov (Ant) smo izračunali po formuli:

$$\text{Ant (relativna enota)} = E_{530} \cdot V \cdot \text{ss}^{-1},$$

pri čemer je  $E_{530}$  = ekstinkcija pri valovni dolžini 530 nm; V = prostornina ekstrakta [mL]; ss = suha masa [g]

Vsebnost **UV-B- in UV-A-absorbirajočih snovi** (UV-B 280–320 nm, UV-A 320–400 nm) smo določili po Caldwellu (1968). Sveže vzorce smo strli v terilnici, ekstrahirali v 10 ml ekstrakcijskega medija (metanol : destilirana voda : HCl (37 %) = 79 : 20 : 1 (v/v)) in 20 minut inkubirali. Nato smo 10 min centrifugirali pri 4000 rpm na 10 °C in odčitali prostornine ekstraktov. Ekstinkcije pri valovnih dolžinah od 280 do 400 nm smo določili z UV-/VIS-spektrofotometrom. Vsebnosti UV-A- in UV-B-absorbirajočih snovi smo izračunali po formuli:

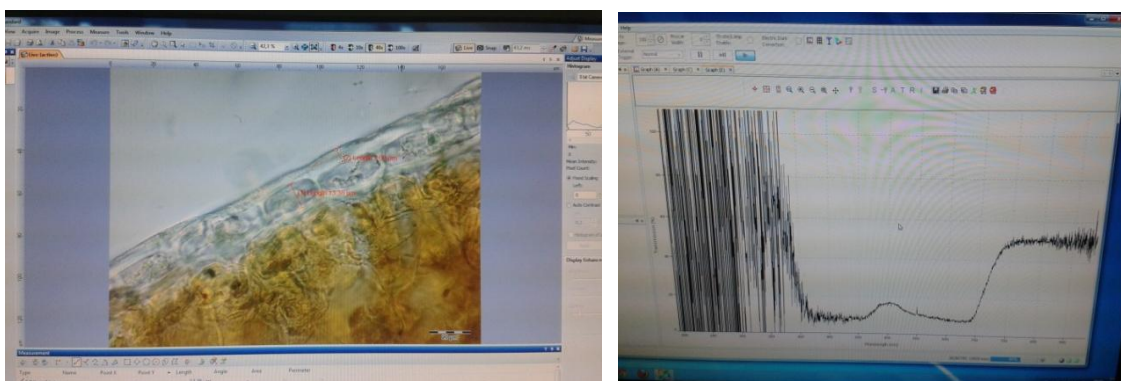
UV-absorbirajoče snovi (relativna enota) =  $I \cdot V^{-1} \cdot ss^{-1}$ ,  
pri čemer je I = integral ekstinkcijskih vrednosti v intervalu 280–320 nm (UV-B) ter 320–400 nm (UV-A); V = prostornina ekstrakta [ml]; ss = suha masa [g]

### 3.4.2 Morfološke značilnosti

Na sveže pripravljenih preparatih prečnih prerezov listov smo opazovali njihovo zgradbo in s cellSens Standard na računalniku, povezanem z mikroskopom, merili naslednje parametre: debelino celotnega lista, debelino kutikule, debelino zgornje povrhnjice, debelino spodnje povrhnjice, debelino gobastega tkiva ter debelino stebričastega tkiva. Vse te meritve smo opravili nekje na sredini lista, stran od žil, na 5 različnih listih vsake vrste z vsake smeri neba.

### 3.4.3 Optične lastnosti

Odbojnost in presevnost listov v območju 380–830 nm smo merili s spektrometrom Ocean Optics Jaz, s programom SpectraSuite na 5 listih vsake vrste z vsake smeri neba. Absorptivnost (A) smo izračunali iz meritev odbojnosti (O) in presevnosti (P):  
 $A = 100 - (O+P)$ .



**Slika 7:** Merjenje morfoloških značilnosti in optičnih lastnosti lista. Levo prikaz merjenja debeline zgornje povrhnjice s cellSens Standard, desno graf presevnosti s programom SpectraSuite.  
(Foto: Eva Žemlja)



### 3.5 STATISTIČNE ANALIZE

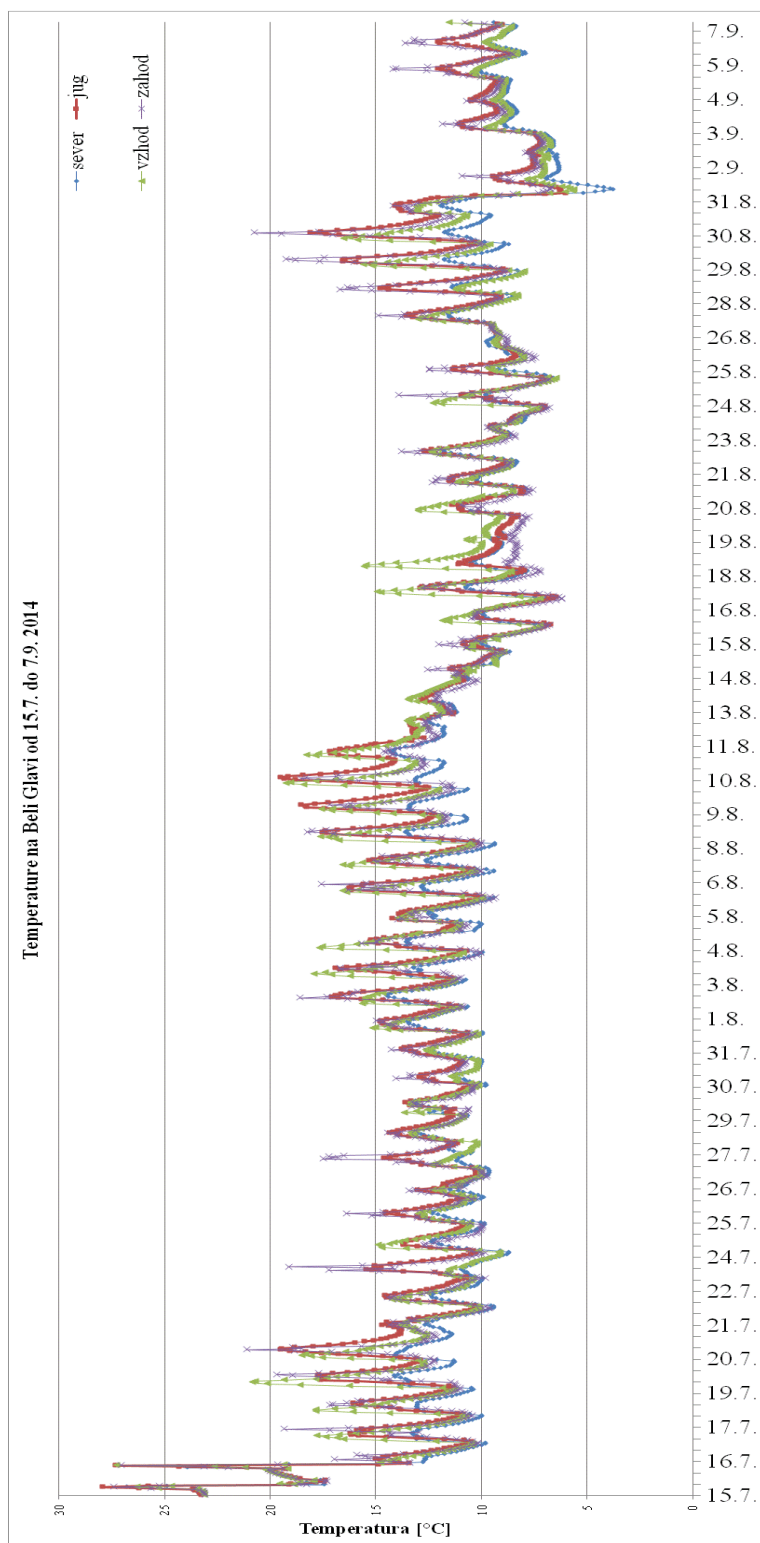
Enosmerno analizo variance (ANOVA) in Bonferroni post hoc teste za izračun statistično značilnih razlik pri  $p \leq 0,05$  smo opravili s programom IBM SPSS Statistics 22.0.0.0 ter izračun srednjih vrednosti s programom Microsoft Excel 2007. Redundančne analize (RDA) za ugotavljanje povezave med parametri na različnih smereh neba in merjenimi značilnostmi rastlin smo izvedli s programom CANOCO 5 (Cajo J. F., B. in P. Šmilauer, 1997–2014). Med seboj smo primerjali značilnosti pri isti rastlinski vrsti, ob istem vzorčenju, vendar na različnih smereh neba. Ugotavljali smo, ali in kako se vrednosti izbranih parametrov statistično značilno razlikujejo zaradi različne geografske usmeritve in ali prihaja do statistično značilnih razlik pri istih smereh neba na začetku in na koncu sezone (primerjava različnih vzorčenj).

### 3.6 POSKUSNE RAZMERE



**Slika 8:** Klimatološki parametri, izmerjeni na najbližji meteorološki postaji, na Kredarici (2514 m n. v.).  
Levo trajanje sončnega sevanja in odstotek oblačnosti, desno dnevna količina padavin in povprečna dnevna temperatura (ARSO).

### 3.7 RAZMERE NA RASTIŠČU



**Slika 9:** Urne meritve temperature na Beli glavi v obdobju od 15. 7. do 7. 9. 2014 na rastiščih, usmerjenih v štiri smeri neba, na globini 10 cm.

**Preglednica 1:** Zbrani statistični podatki o izmerjenih temperaturah na 10 cm globine na posameznih smereh neba. Vse meritve so v °C.

	minimum	maksimum	povprečje	standardni odklon
<b>sever</b>	3,801	27,333	10,733	2,451
<b>jug</b>	6,026	27,974	11,934	2,891
<b>vzhod</b>	5,642	27,308	11,686	2,890
<b>zahod</b>	6,204	27,431	11,486	2,854

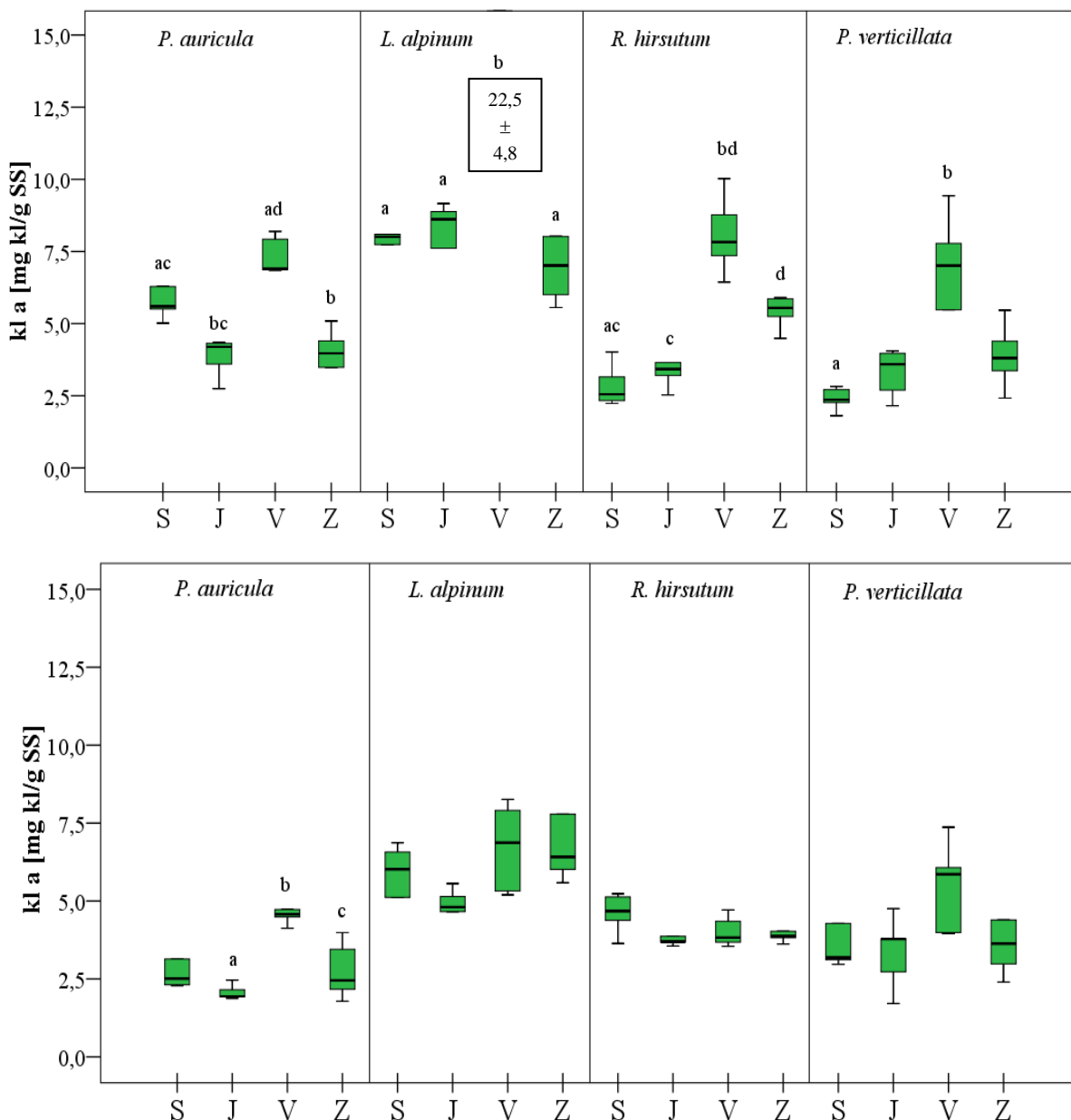
Naše meritve temperaturnih nihanj na 10 cm globine so posledica temperature zraka, strukture in tipa podlage ter okoliških vremenskih razmer: sončnega sevanja, precipitacije, vlage, zračnega tlaka in vetra (Islam in sod., 2015; Tsiligiridis in Papakostas, 2014; D'Odorico, 2012).

Izmerjena najnižja temperatura tal na severnem pobočju Bele glave (3,8 °C) v primerjavi z najvišjo minimalno temperaturo, ki je bila izmerjena na jugu (6,0 °C), ter najnižje povprečne temperature na severnem pobočju (10,7 °C) in najvišje na južnem (11,9 °C) kažejo na to, da so več sevanja prejela južno usmerjena pobočja. O večji jakosti sevanja na južnem pobočju severno od ekvatorja govorijo izsledki več raziskav (Auslander, 2003; Måren in sod. 2015; Bennie in sod. 2008; Holland in Steyn, 1975). Če upoštevamo, da so količina padavin, zračni tlak ter tip podlage na obeh pobočjih enaki, lahko razlike v temperaturi pripišemo razlikam v sevanju. Vetrovne razmere so na severni strani ostrejše, saj ni toplega vzgonskega vetra, kar dodatno vpliva na nižje temperature (Kirchner, 2013). Višje povprečne temperature na vzhodu (11,7 °C) v primerjavi z zahodom (11,5 °C) so posledica jasnejšega vremena v prvi polovici dneva in popoldanske oblačnosti, kar je v gorah pogost pojav (Farji-Brener in sod., 2009). Razlike v temperaturah tal na različnih smereh neba niso tako očitne, kot bi morda pričakovali. Zaradi toplotne zadrževalne kapacitete tla delujejo kot rezervoar toplote in sorazmerno z globino zabrišejo temperaturna nihanja zraka, poleg tega pa z zamikom pokažejo temperaturne razmere v okoliškem zraku (Tsiligiridis in Papakostas, 2014; Beltrami in Keldam, 2003). Večje razlike v temperaturah na rastišču bi pokazalo merjenje temperatur zraka na vzorčnih ploskvah tik nad tlemi. Če primerjamo podatke z bližnje meteorološke postaje na Kredarici, opazimo, da je bilo v tej sezoni veliko oblačnosti (od 99 dni je bila v 49 dnevih nad 80-odstotna oblačnost). Če privzamemo, da so vremenske razmere na Kredarici in Beli glavi podobne, to pomeni, da je bilo direktnega sončnega sevanja na rastiščih v času naše raziskave malo in da so bile vremenske razmere to sezono neobičajne.

## 4 REZULATI

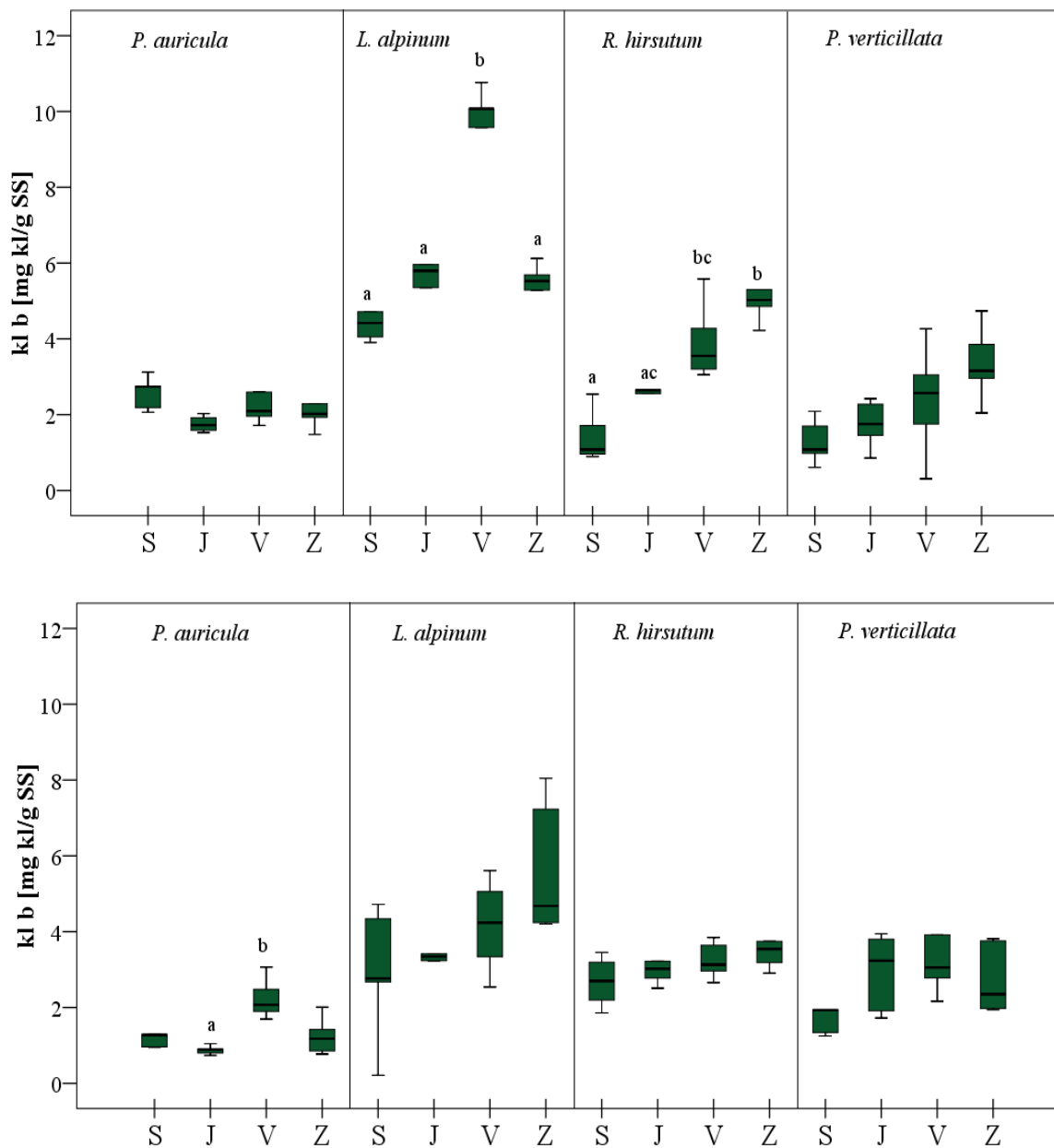
### 4.1 BIOKEMIJSKE ANALIZE

#### 4.1.1 Klorofil a



**Slika 10:** Vsebnosti klorofila a z ekstrakcijo po metodi Lichtenthaler in Buschmann (2001a, 2001b) ob 1. vzorčenju, 15. 7. (zgoraj) in 2. vzorčenju, 7. 9. (spodaj). N = 5. Črke a, b, c, d označujejo statistično značilne razlike meritev na posamezni rastlini (*P. auricula* – *Primula auricula* (lepi jeglič), *L. alpinum* – *Leontopodium alpinum* (planika), *R. hirsutum* – *Rhododendron hirsutum* (dlakavi sleč), *P. verticillata* – *Pedicularis verticillata* (vretenčasti ušivec)), vzorčeni na 4 smereh neba (S – sever, J – jug, V – vzhod, Z – zahod) pri Bonferroni post hoc testu s  $p \leq 0,05$ .

#### 4.1.2 Klorofil b

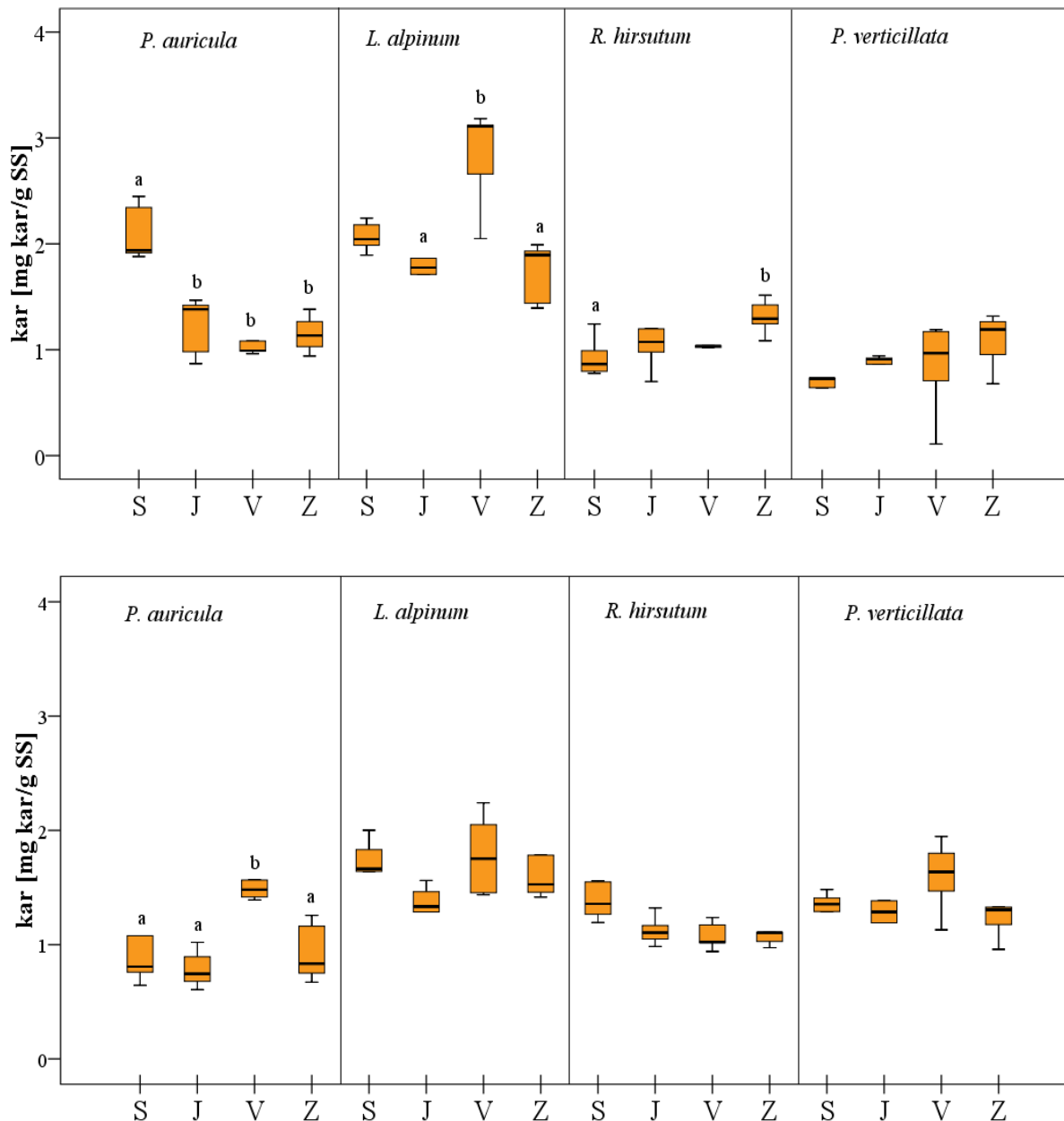


**Slika 11:** Vsebnosti klorofila b z ekstrakcijo po metodi Lichtenthaler in Buschmann (2001a, 2001b) ob 1. vzorčenju, 15. 7. (zgoraj), in 2. vzorčenju, 7. 9. (spodaj). N = 5. Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike meritev na posamezni rastlini (*P. auricula* – *Primula auricula* (lepi jeglič), *L. alpinum* – *Leontopodium alpinum* (planika), *R. hirsutum* – *Rhododendron hirsutum* (dlakavi sleč), *P. verticillata* – *Pedicularis verticillata* (vretenčasti ušivec)), vzorčeni na 4 smereh neba (S – sever, J – jug, V – vzhod, Z – zahod) pri Bonferroni post hoc testu s  $p \leq 0,05$ .

Vsebnost klorofila a ob 1. vzorčenju meri od 2,5 do 10 mg kl/g SS, izrazito pa izstopa razpon vrednosti pri planiki vzhod ( $22,5 \pm 4,8$  mg kl/g SS), ki je predstavljena numerično zaradi bolj nazornega grafičnega prikaza. Ta meritev se statistično značilno razlikuje od ostalih smeri neba, pri drugem vzorčenju ni značilno izstopajočih razlik. Pri jegliču so julija najvišje vrednosti na vzhodu (okrog 7,5 mg kl/g SS), na jugu in zahodu so podobno nizke. Ob septembrskem vzorčenju so vsebnosti na vseh smereh neba nižje in ne presegajo 5 mg kl/g SS, statistično značilno pa se razlikujejo meritve na jugu, vzhodu in zahodu. Sleč ob začetku sezone kaže razlike med smermi neba, z izstopajočimi visokimi vrednostmi na vzhodu (okrog 9 mg kl/g SS) in nizkimi na severu (okrog 2,5 mg kl/g SS). Ob koncu sezone so vsebnosti na vseh smereh neba okrog 3,5 mg kl/g SS, na severu pa dosežejo razpon do 5,0 mg kl/g SS. Pri ušivcu se julija značilno razlikujejo meritve na severu in vzhodu. Na vzhodu so, tako kot pri ostalih rastlinah, vrednosti izrazito najvišje. Do drugega vzorčenja se razpon vrednosti na severu, jugu in zahodu zviša, na vzhodu pa nekoliko zmanjša in med meritvami ni statistično značilnih razlik.

Pri planiki, vzorčeni julija na vzhodu, je opazna statistično značilno različna vsebnost klorofila b, kar okrog 10 mg kl/g SS, medtem ko ostale vrednosti pri vseh rastlinah julija ne presegajo 6 mg kl/g SS. Na severu se razpon in vrednosti povečajo, meritve na vzhodu septembra ne izstopajo več (merijo okrog 4 mg kl/g SS), se pa razširi razpon vrednosti. Na zahodu imajo meritve velik razpon, saj merijo od 4 do 7,5 mg kl/g SS. Pri jegliču se ob prvem vzorčenju razponi vrednosti gibljejo okrog 2 mg kl/g SS in med smermi neba ni značilnih razlik. Septembra se vsebnosti na jugu zmanjšajo pod 2 mg kl/g SS, na vzhodu pa so ostajajo približno enake (okrog 2 mg kl/g SS) in so statistično značilno različne na jugu v primerjavi z vzhodom. Statistično značilne razlike so vidne tudi pri sleču, kjer se razlikujeta sever-vzhod ter jug-zahod. Vrednosti ob koncu sezone (2. vzorčenje) se med smermi neba manj razlikujejo, vse imajo približno enak razpon ter znašajo okrog 3 mg kl/g SS, med njimi ni značilnih razlik. Pri sleču in ušivcu se ob prvem in drugem vzorčenju kaže trend naraščanja v smeri sever–jug–vzhod–zahod, pri sleču od 2 mg kl/g SS do 5 mg kl/g SS, pri ušivcu pa od vrednosti okrog 2 mg kl/g SS do okrog 4 mg kl/g SS, brez statistično značilnih razlik med smermi neba. Septembra ostaja podoben trend med smermi neba, a so razlike manjše in ne pride do statistično značilnih razlik.

### 4.1.3 Karotenoidi

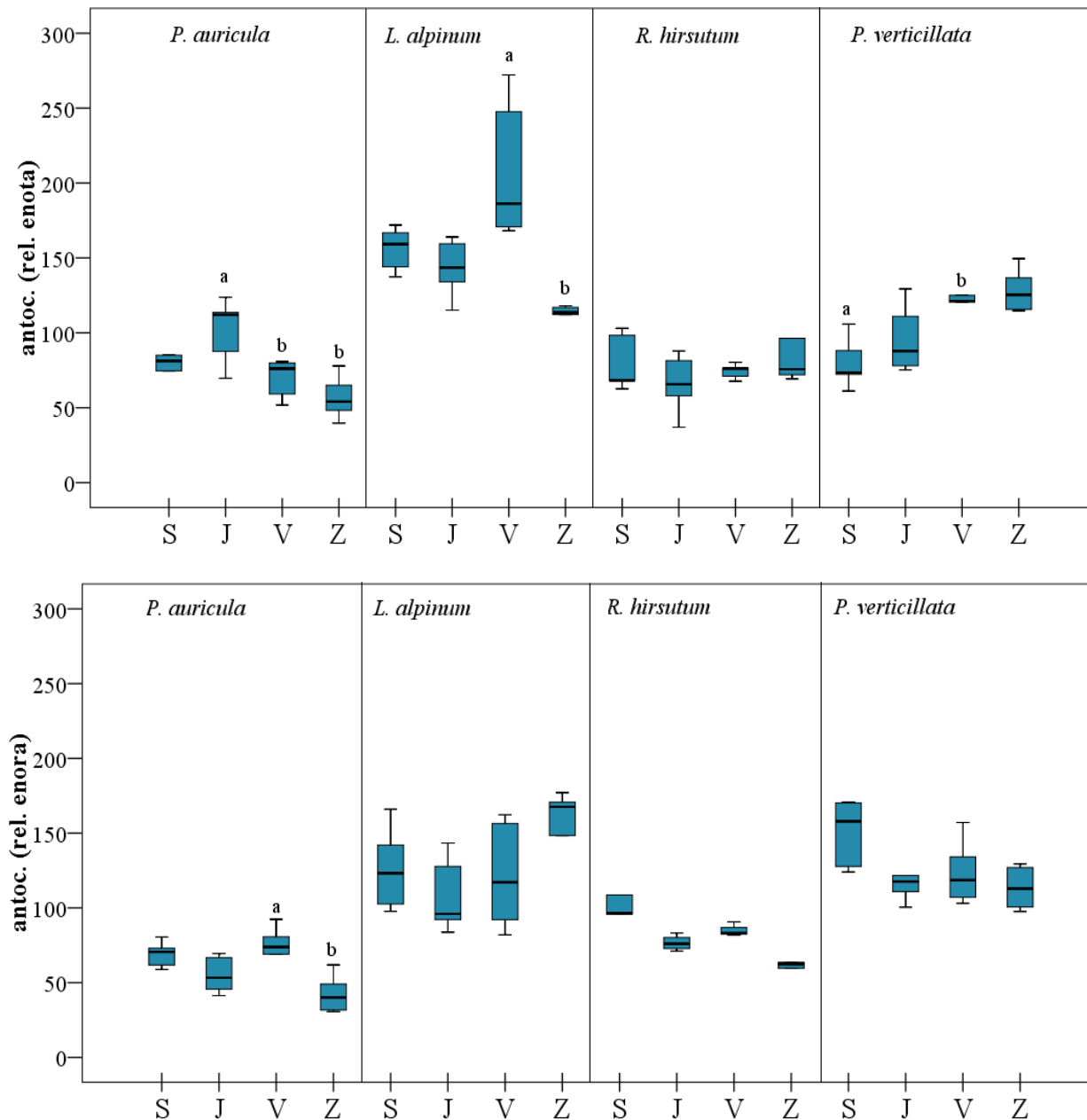


**Slika 12:** Vsebnosti karotenoidov z ekstrakcijo po metodi Lichenthaler in Buschmann (2001a, 2001b) ob 1. vzorčenju, 15. 7. (zgoraj), in 2. vzorčenju, 7. 9. (spodaj). N = 5. Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike meritev na posamezni rastlini (*P. auricula* – *Primula auricula* (lepi jeglič), *L. alpinum* – *Leontopodium alpinum* (planika), *R. hirsutum* – *Rhododendron hirsutum* (dlakavi sleč), *P. verticillata* – *Pedicularis verticillata* (vretenčasti ušivec)), vzorčeni na 4 smereh neba (S – sever, J – jug, V – vzhod, Z – zahod) pri Bonferroni post hoc testu s  $p \leq 0,05$ .



Ob julijskem vzorčenju pri jegliču posebej izstopa sever, ki se z vrednostjo okrog 2 mg kar/g SS statistično značilno razlikuje od vseh ostalih smeri neba (od 1 do 1,5 mg kar/g SS). Ob koncu rastne sezone se izrazito poveča vsebnost karotenoidov na vzhodu, ko se z vsebnostjo 1,5 mg kar/g SS statistično značilno razlikuje od ostalih smeri neba. Meritve pri planiki so na vzhodu (3 mg kl/g SS) statistično značilno različne od južne in zahodne strani. Septembra se ohrani enak velikostni trend med smermi neba, vendar se absolutne vrednosti ter razlike med njimi zmanjšajo in ni statistično značilnih razlik. Sleč ima nižje vrednosti, okrog 1 mg kar/g SS in so najnižje na severu in najvišje na zahodu. Sever in zahod se tudi statistično značilno razlikujeta. Ob drugem vzorčenju so najvišje vsebnosti (okrog 1,5 mg kar/g SS) na severu in najnižje (okrog 1,2 mg kar/g SS) na zahodu, vendar razlike niso statistično značilne. Ob prvem vzorčenju pri ušivcu ni statistično značilnih razlik, vsebnost karotenoidov na vseh smereh neba znaša od 0,8 do 1,3 mg kar/g SS. Septembra so vsebnosti na vseh smereh neba absolutno višje. Nekoliko izstopa vzhod (2 mg kar/g SS). Na severu, jugu in zahodu so vrednosti okrog 1,5 mg kar/g SS. Ne pride do statistično značilnih razlik.

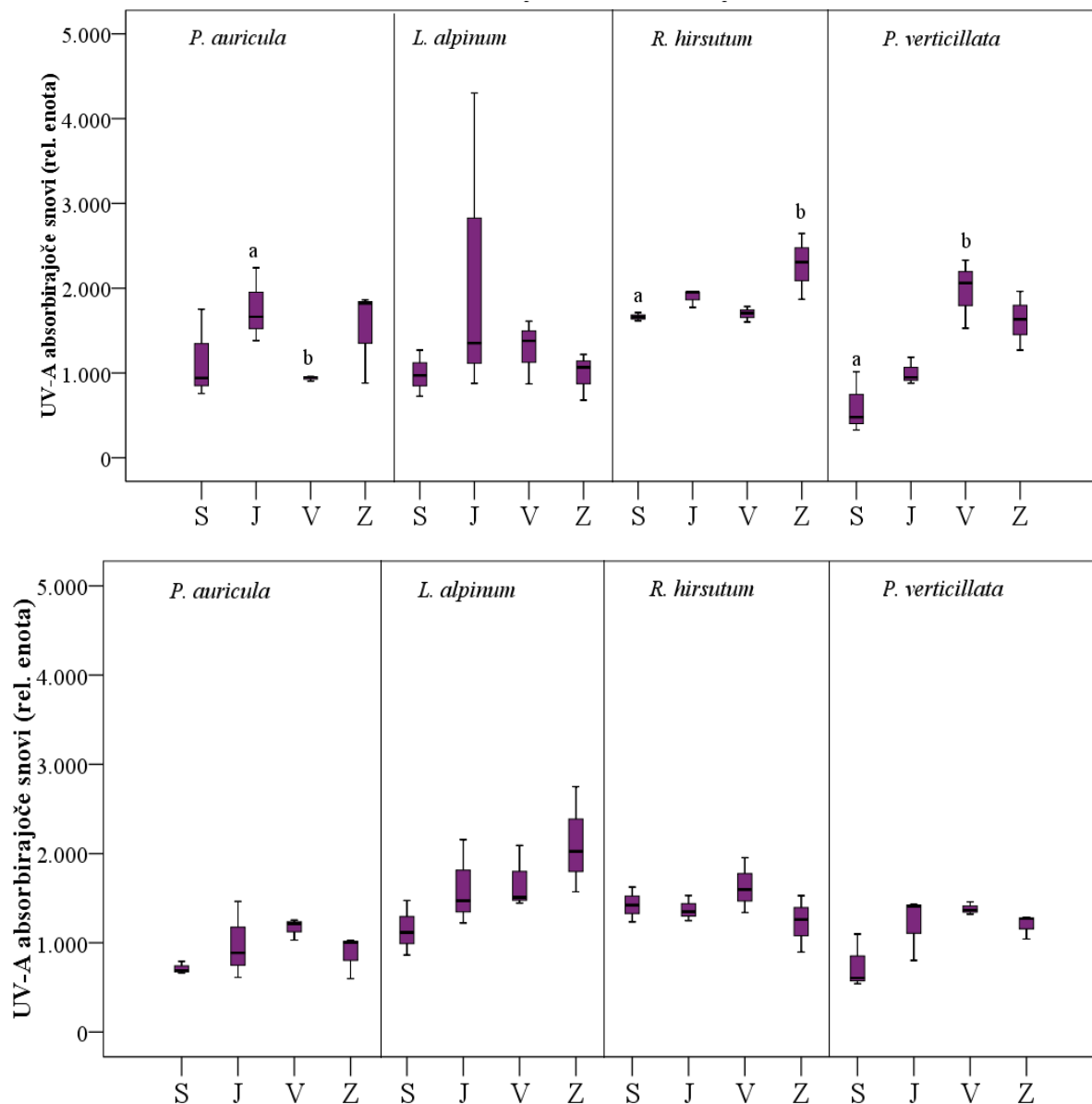
#### 4.1.4 Antocianini



**Slika 13:** Vsebnosti antocianinov z ekstrakcijo po metodi Khare in Guruprasad (1993) ob 1. vzorčenju, 15. 7. (zgoraj), in 2. vzorčenju, 7. 9. (spodaj). N = 5. Črki a in b označujeta statistično značilne razlike meritev na posamezni rastlini (*P. auricula* – *Primula auricula* (lepi jeglič), *L. alpinum* – *Leontopodium alpinum* (planika), *R. hirsutum* – *Rhododendron hirsutum* (dlakavi sleč), *P. verticillata* – *Pedicularis verticillata* (vretenčasti ušivec)), vzorčeni na 4 smereh neba (S – sever, J – jug, V – vzhod, Z – zahod) pri Bonferroni post hoc testu s  $p \leq 0,05$ .

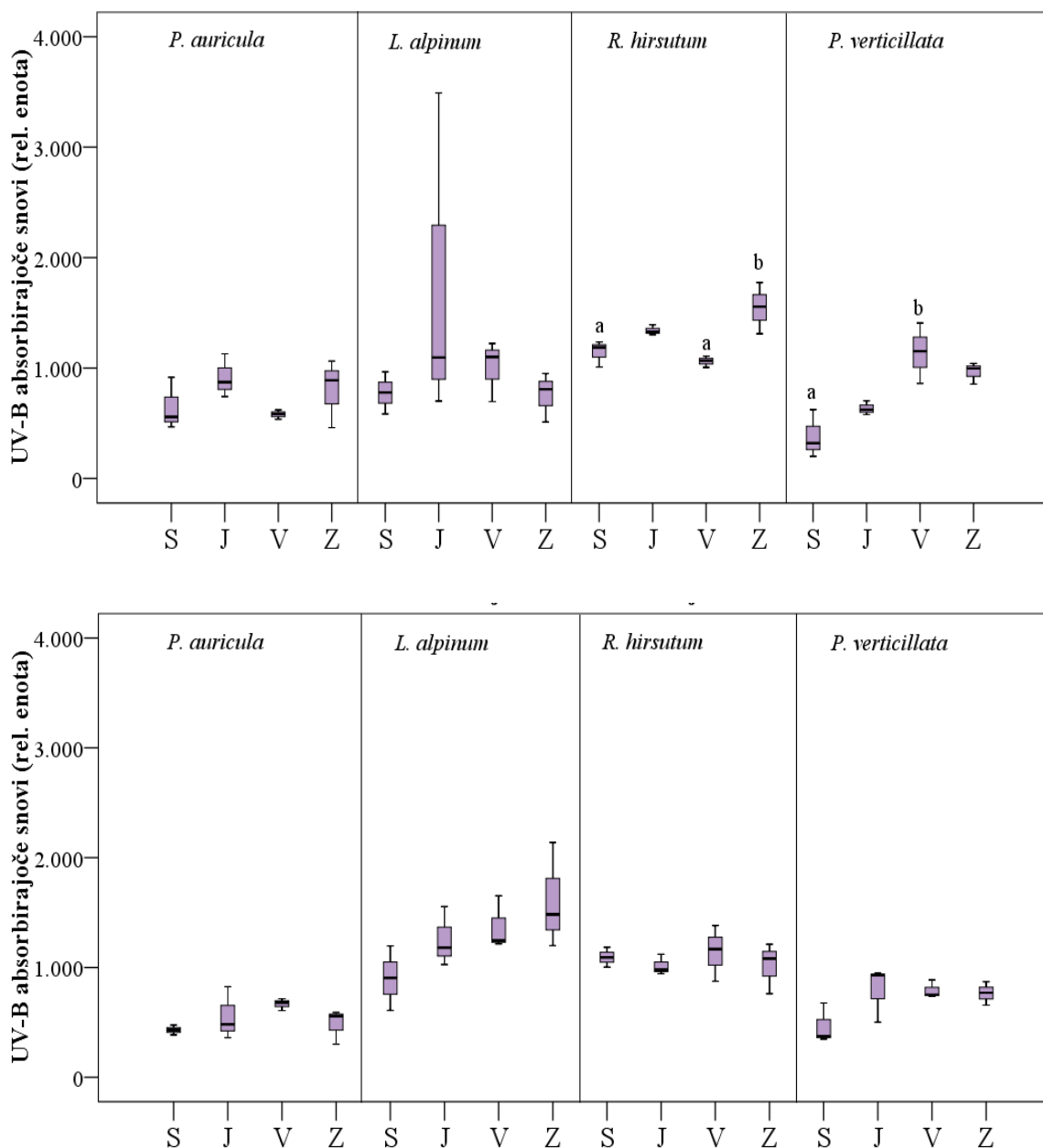
Ob začetku sezone pri jegliču izstopa jug (110), ki se značilno razlikuje od vzhoda (75) in zahoda (55). Ob septembrskih meritvah so tako vrednosti kot tudi razlike med smermi neba manjše, razlikujeta se vzhod (75) in zahod (40). Pri planiki je vsebnost antocianinov na vzhodu s povprečjem 180 in razponom vse do 250. Statistično značilno se razlikuje od vsebnosti na zahodu, ki ima majhen razpon vrednosti. Ob drugem vzorčenju statistično značilnih razlik ni. Pri sleču se ob prvem in drugem vzorčenju kaže tendenca večje vsebnosti antocianinov na severu, vendar razlike niso statistično značilne. Pri ušivcu se statistično značilno razlikujejo meritve na severu (70) in vzhodu (120), z manjšim nihanjem okrog srednje vrednosti. Ob koncu sezone (septembra) se vrednosti in razmerja med smermi neba zmanjšajo, tako da ni več značilnih razlik. Najvišja vrednost (170) je izmerjena na severu, ostale tri so v povprečju podobne (110) in se v razponih prekrivajo.

#### 4.1.5 UV-absorbirajoče snovi



**Slika 14:** Vsebnosti UV-A-absorbirajočih snovi z ekstrakcijsko metodo po Caldwellu (1968) ob 1. vzorčenju, 15. 7. (zgoraj), in 2. vzorčenju, 7. 9. (spodaj). N = 5. Črki a in b označujeta statistično značilne razlike meritev na posamezni rastlini (*P. auricula* – *Primula auricula* (lepi jeglič), *L. alpinum* – *Leontopodium alpinum* (planika), *R. hirsutum* – *Rhododendron hirsutum* (dlakavi sleč), *P. verticillata* – *Pedicularis verticillata* (vretenčasti ušivec)), vzorčeni na 4 smereh neba (S – sever, J – jug, V – vzhod, Z – zahod) pri Bonferroni post hoc testu s  $p \leq 0,05$ .

Pri jegliču razpon vrednosti ob prvem vzorčenju znaša okrog 500, giblje pa se okrog in nad 1000 enot (na jugu do 2000). Izrazito majhen razpon vrednosti je opazen na vzhodu (1000) in se značilno razlikuje od vrednosti na jugu (1800). Septembra se pri jegliču zmanjšajo vrednosti na severu, jugu in zahodu (pod 1000 enot), na vzhodu se povečajo in presežejo 1000 enot. Planika ima izrazito velik razpon vrednosti na jugu, ki se prekriva z vsebnostmi na vseh ostalih smereh neba, zato med njimi ne prihaja do statistično značilnih razlik. Ob drugem vzorčenju so vsebnosti UV-A-absorbirajočih snovi višje na severu in zahodu, vendar razlike niso statistično značilne. Sleč ima za razliko od ostalih vzorčenih rastlin majhne razpone vrednosti (50–100 enot), z izjemo zahoda vsebnost antocianinov znaša manj kot 2000 enot. Sever (1800) in zahod (2200) se tudi statistično značilno razlikujeta. Ob koncu sezone se kaže tendenca manjše vsebnosti antocianinov na zahodu, vendar do statistično značilnih razlik ne pride. Pri ušivcu so najnižje vrednosti na severu (500), najvišje pa na vzhodu (2000), ti dve strani neba sta tudi značilno različni. Septembra so vrednosti na severu in jugu višje, na vzhodu in zahodu pa nižje kot julija. Najvišje vrednosti so tako na jugu (1400), najnižje pa, tako kot julija, na severu (650 enot), vendar razlike niso statistično značilne.



**Slika 15:** Prikazane vsebnosti UV-B-absorbirajočih snovi po Caldwellu (1968) ob 1. vzorčenju, 15. 7. (zgoraj), in 2. vzorčenju, 7. 9. (spodaj). N = 5. Črki a in b označujeta statistično značilne razlike meritev na posamezni rastlini, (*P. auricula* – *Primula auricula* (lepi jeglič), *L. alpinum* – *Leontopodium alpinum* (planika), *R. hirsutum* – *Rhododendron hirsutum* (dlakavi sleč), *P. verticillata* – *Pedicularis verticillata* (vretenčasti ušivec)), vzorčeni na 4 smereh neba (S – sever, J – jug, V – vzhod, Z – zahod) pri Bonferroni post hoc testu s  $p \leq 0,05$ .

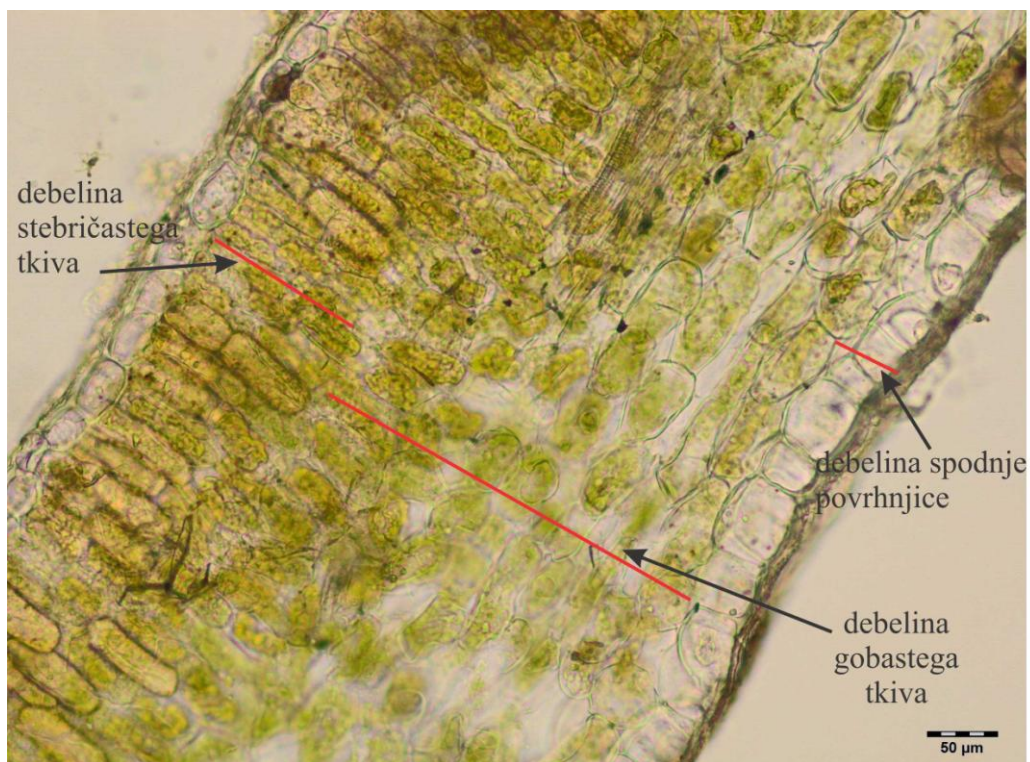
Vzorčene rastline na različnih smereh neba ob vzorčenju julija in septembra pri vsebnosti UV-B-absorbirajočih snovi kažejo povsem enak trend kot pri vsebnosti UV-A. Pri jegliču je vsebnost UV-B-absorbirajočih snovi pri vseh smereh neba in obeh vzorčenjih manjša od 1000. Pri planiki ob prvem vzorčenju izstopa meritev na jugu z velikim razponom vrednosti. Ostale smeri neba so po trendu podobne meritvam UV-A, statistično značilnih razlik ni. Pri sleču se ob prvem vzorčenju pojavijo statistično značilne razlike med severom (1100) in zahodom (1600) ter vzhodom (1000) in zahodom. Ob 2. vzorčenju so razlike med smermi neba manjše, podobno kot pri UV-A in statistično značilnih razlik ni. Pri ušivcu ob prvem vzorčenju pride do statistično značilnih razlik med severom (500) in vzhodom (1100). Ob drugem vzorčenju se kaže tendenca povečanja UV-B-absorbirajočih snovi na jugu in zmanjšanja na vzhodu, vendar razlike niso statistično značilne.

## 4.2 MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI

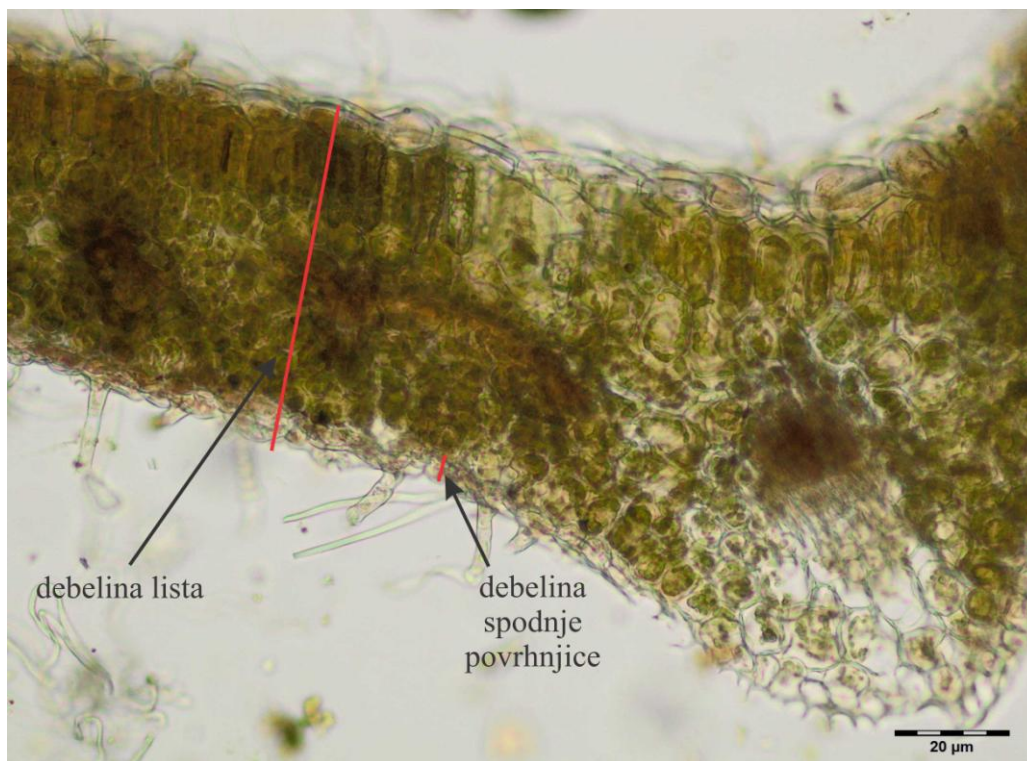
**Preglednica 2:** Povprečne vrednosti  $\pm$  standardni odklon posameznih parametrov listne morfologije (d lista = debelina lista, d sp. pov. = debelina spodnje povrhnjice, d zg. pov. = debelina zgornje povrhnjice, d steb. tkiva = debelina stebričastega tkiva, d gob. tkiva = debelina gobastega tkiva, d kutikule = debelina kutikule) pri proučevanih rastlinskih vrstah (*P. auricula* – *Primula auricula* (lepi jeglič), *L. alpinum* – *Leontopodium alpinum* (planika), *R. hirsutum* – *Rhododendron hirsutum* (dlakavi sleč), *P. verticillata* – *Pedicularis verticillata* (vretenčasti ušivec)) ob 1., julijskem (zgoraj) in 2., septembrskem vzorčenju (spodaj). Statistično značilno (N = 5, Bonferroni post hoc test;  $p \leq 0,05$ ) se razlikujejo vrednosti, označene z a, b, c, d. Relevantne so razlike znotraj ene rastlinske vrste, nabrane na različnih smereh neba (S – sever, J – jug, V – vzhod, Z – zahod).

julij	smer neba	d lista [μm]	d kutikule [μm]	d zg. pov [μm]	d sp. pov [μm]	d steb. tkiva [μm]	d gob. tkiva [μm]
<i>P. auricula</i>	S	491,53 ± 132,95	7,28 ± 0,86	25,63 ± 6,20	35,34 ± 7,05	103,25 ± 33,38	310,46 ± 108,47
	J	534,98 ± 92,66	7,10 ± 0,65	20,65 ± 4,14	31,15 ± 4,64	130,33 ± 21,58	313,82 ± 97,13
	V	475,81 ± 48,34	6,60 ± 3,26	22,95 ± 4,38	33,09 ± 9,70	84,94 ± 24,15	318,74 ± 41,48
	Z	492,26 ± 49,97	7,48 ± 1,84	25,77 ± 2,49	33,63 ± 3,33	91,12 ± 16,17	319,03 ± 40,40
<i>L. alpinum</i>	S	326,84 ± 96,88a	5,30 ± 1,50	24,78 ± 5,03a	12,19 ± 2,60	49,51 ± 5,58	125,60 ± 26,34a
	J	150,86 ± 18,66b	3,89 ± 0,89	6,69 ± 1,95b	7,06 ± 2,20a	57,69 ± 9,63	70,26 ± 17,77b
	V	217,56 ± 37,47b	4,54 ± 1,53	17,78 ± 3,78c	13,18 ± 3,86b	30,37 ± 21,42	97,50 ± 15,47
	Z	244,13 ± 85,60	3,84 ± 0,48	22,36 ± 3,31c	12,73 ± 1,66b	59,59 ± 22,80	145,34 ± 60,18a
<i>R. hirsutum</i>	S	276,71 ± 58,82	4,79 ± 2,15	12,81 ± 2,04	16,26 ± 3,14ac	112,85 ± 38,00a	132,07 ± 23,82
	J	291,90 ± 26,74	5,27 ± 1,39	11,53 ± 2,12	11,83 ± 0,96bd	122,78 ± 24,75a	126,12 ± 14,02
	V	265,34 ± 25,80	7,51 ± 2,14	11,58 ± 2,20	11,37 ± 1,32b	94,02 ± 7,80	130,24 ± 35,74
	Z	274,67 ± 47,21	6,40 ± 1,12	14,37 ± 3,20	15,57 ± 3,07cd	69,67 ± 6,91b	169,75 ± 38,88
<i>P. verticillata</i>	S	367,66 ± 47,77	8,34 ± 1,87	31,19 ± 7,52	21,60 ± 6,73	123,07 ± 41,72	108,12 ± 33,59a
	J	312,25 ± 39,85	10,03 ± 2,30a	30,53 ± 3,34	16,70 ± 2,24	105,74 ± 16,47	177,77 ± 44,88a
	V	368,82 ± 92,80	5,76 ± 1,74b	21,7 ± 2,36a	14,61 ± 3,13	69,07 ± 8,36	206,78 ± 97,70b
	Z	416,90 ± 17,71	6,54 ± 0,86b	38,67 ± 7,27b	16,66 ± 1,84	142,75 ± 11,68	217,39 ± 8,69b
september	smer neba	d lista [μm]	d kutikule [μm]	d zg. pov [μm]	d sp. pov [μm]	d steb. tkiva [μm]	d gob. tkiva [μm]
<i>P. auricula</i>	S	489,95 ± 46,51	7,63 ± 1,31	22,43 ± 8,87	34,05 ± 3,67	126,41 ± 17,90	264,39 ± 51,49
	J	500,17 ± 131,82	7,47 ± 0,67	23,26 ± 6,15	24,29 ± 7,97a	111,58 ± 33,30	313,55 ± 95,23
	V	484,66 ± 43,13	7,69 ± 1,57	23,01 ± 5,28	32,18 ± 4,78	112,06 ± 18,49	286,39 ± 39,05
	Z	421,96 ± 78,10	8,04 ± 0,72	28,12 ± 4,83	37,56 ± 5,34b	86,98 ± 19,36	239,655 ± 74,40
<i>L. alpinum</i>	S	231,55 ± 28,12	4,10 ± 0,95	20,64 ± 5,71	14,11 ± 2,76	50,98 ± 4,69	130,10 ± 19,45
	J	144,18 ± 15,04	5,59 ± 0,98	15,71 ± 2,88	12,23 ± 2,87	67,08 ± 9,32	131,14 ± 18,64
	V	209,80 ± 15,03	4,30 ± 0,72	22,11 ± 2,78	14,80 ± 3,56	59,38 ± 8,64	92,18 ± 8,64
	Z	204,46 ± 20,00	4,56 ± 0,36	15,15 ± 2,19	12,46 ± 1,28	58,42 ± 8,41	105,16 ± 20,87
<i>R. hirsutum</i>	S	297,69 ± 39,47	7,04 ± 1,38	13,01 ± 1,58	14,28 ± 2,88	110,16 ± 12,07a	133,54 ± 37,49
	J	318,63 ± 40,40a	7,12 ± 1,62	11,17 ± 1,46	10,94 ± 2,10	109,02 ± 8,20a	171,22 ± 34,82
	V	234,44 ± 17,13b	5,97 ± 1,25	12,66 ± 2,50	11,81 ± 0,91	72,55 ± 10,59b	121,68 ± 15,12
	Z	290,59 ± 31,53	8,92 ± 0,70	10,92 ± 0,70	11,95 ± 0,92	76,17 ± 14,16	166,73 ± 29,84
<i>P. verticillata</i>	S	462,47 ± 85,94a	5,56 ± 0,97	32,64 ± 4,60	18,90 ± 2,29	194,56 ± 56,70a	191,99 ± 40,29
	J	345,26 ± 28,72b	6,64 ± 4,00	26,27 ± 3,17	19,65 ± 2,25	147,76 ± 31,06	130,43 ± 21,44
	V	339,03 ± 36,06b	6,42 ± 0,86	21,70 ± 2,36	16,66 ± 1,84	142,75 ± 11,68b	206,48 ± 97,69
	Z	347,32 ± 200,07b	7,15 ± 1,02	32,81 ± 6,11	20,56 ± 6,06	133,75 ± 17,17b	132,36 ± 11,00

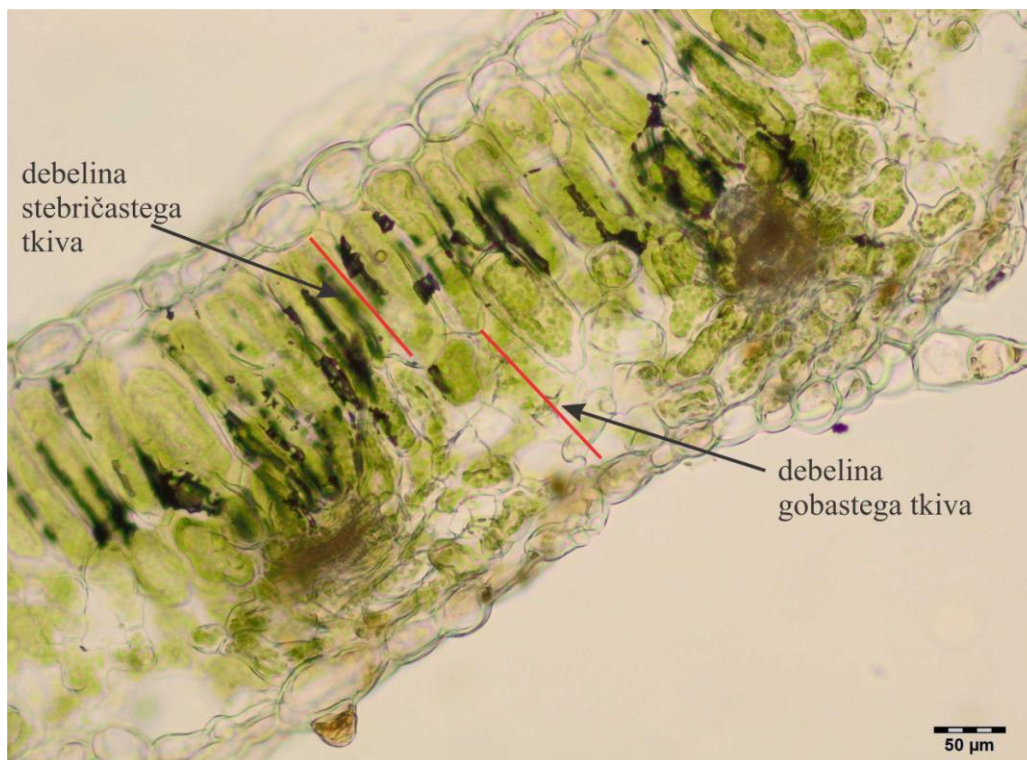




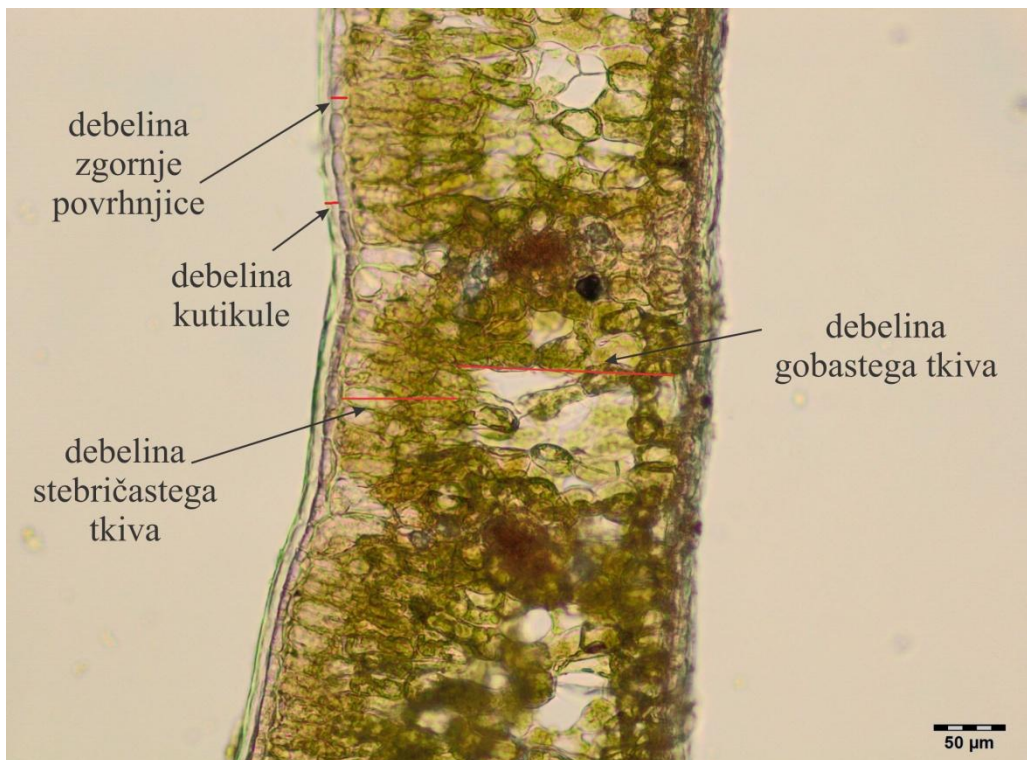
**Slika 17:** Mikroskopska fotografija prečnega prereza lista jegliča (*Primula auricula*) z označenimi nekaterimi merjenimi morfološkimi značilnostmi. (Foto: Eva Žemlja)



**Slika 16:** Mikroskopska fotografija prečnega prereza lista planike (*Leontopodium alpinum*) z označenimi nekaterimi merjenimi morfološkimi značilnostmi. (Foto: Eva Žemlja)



**Slika 19:** Mikroskopska fotografija prečnega prereza lista ušivca (*Pedicularis verticillata*) z označenimi nekaterimi merjenimi morfološkimi značilnostmi. (Foto: Eva Žemlja)



**Slika 18:** Mikroskopska fotografija prečnega prereza lista sleča (*Rhododendron hirsutum*) z označenimi nekaterimi merjenimi morfološkimi značilnostmi. (Foto: Eva Žemlja)

Ob julijskem vzorčenju pri jegliču ne pride do statistično značilnih razlik. Debelina **lista** je na jugu največja (skoraj 535  $\mu\text{m}$ ) in na zahodu najmanjša (475  $\mu\text{m}$ ), vendar so tudi razponi vrednosti veliki in se prekrivajo. Ob septembrskem vzorčenju so listi prav tako najdebelejši na jugu. Pri ostalih parametrih je standardni odklon manjši. Debelina **kutikule** se do konca sezone na vseh smereh neba poveča, največ na vzhodu. Debelina **zgornje povrhnjice** se septembra poveča na vseh smereh neba, le na severu zmanjša iz povprečja 25,63 na 22,43  $\mu\text{m}$ , nihanje okoli povprečne vrednosti se povsod poveča. Na jugu se debelina **spodnje povrhnjice** zmanjša iz povprečja 31,15  $\mu\text{m}$  (julija) na 24,29  $\mu\text{m}$  (septembra) in je tudi najnižja. Na severu in vzhodu ne pride do večjih razlik od začetka do konca sezone, na zahodu pa se povprečje poveča iz 33,63  $\mu\text{m}$  (julija) na 37,56  $\mu\text{m}$  (septembra). Na koncu sezone pride do statistično značilnih razlik med jugom in zahodom. Debelina **stebričastega tkiva** je julija največja na jugu (povprečje 6 paralelk je 130,33  $\mu\text{m}$ ), najnižja pa na vzhodu (84,94  $\mu\text{m}$ ). Ob drugem vzorčenju se na severu in vzhodu poveča, na jugu in zahodu pa zmanjša in je na zahodu tudi najtanjša (86,98  $\mu\text{m}$ ). Razlik v debelini **gobastega tkiva** je julija zelo malo, povprečja se razlikujejo za največ 8,57  $\mu\text{m}$ , kar pri standardnem odklonu od 40,40  $\mu\text{m}$  do 108,47  $\mu\text{m}$  ne prinese značilnih razlik med smermi neba. Do septembra se debelina gob. tkiva v vseh smereh zmanjša in tudi razlike so večje. Na zahodu se zmanjša iz 319,03 na 239,66  $\mu\text{m}$ , vendar še vedno ni značilnih razlik. Na jugu razlik med julijskim in septembrskim vzorčenjem praktično ni ( $< 1 \mu\text{m}$ ).

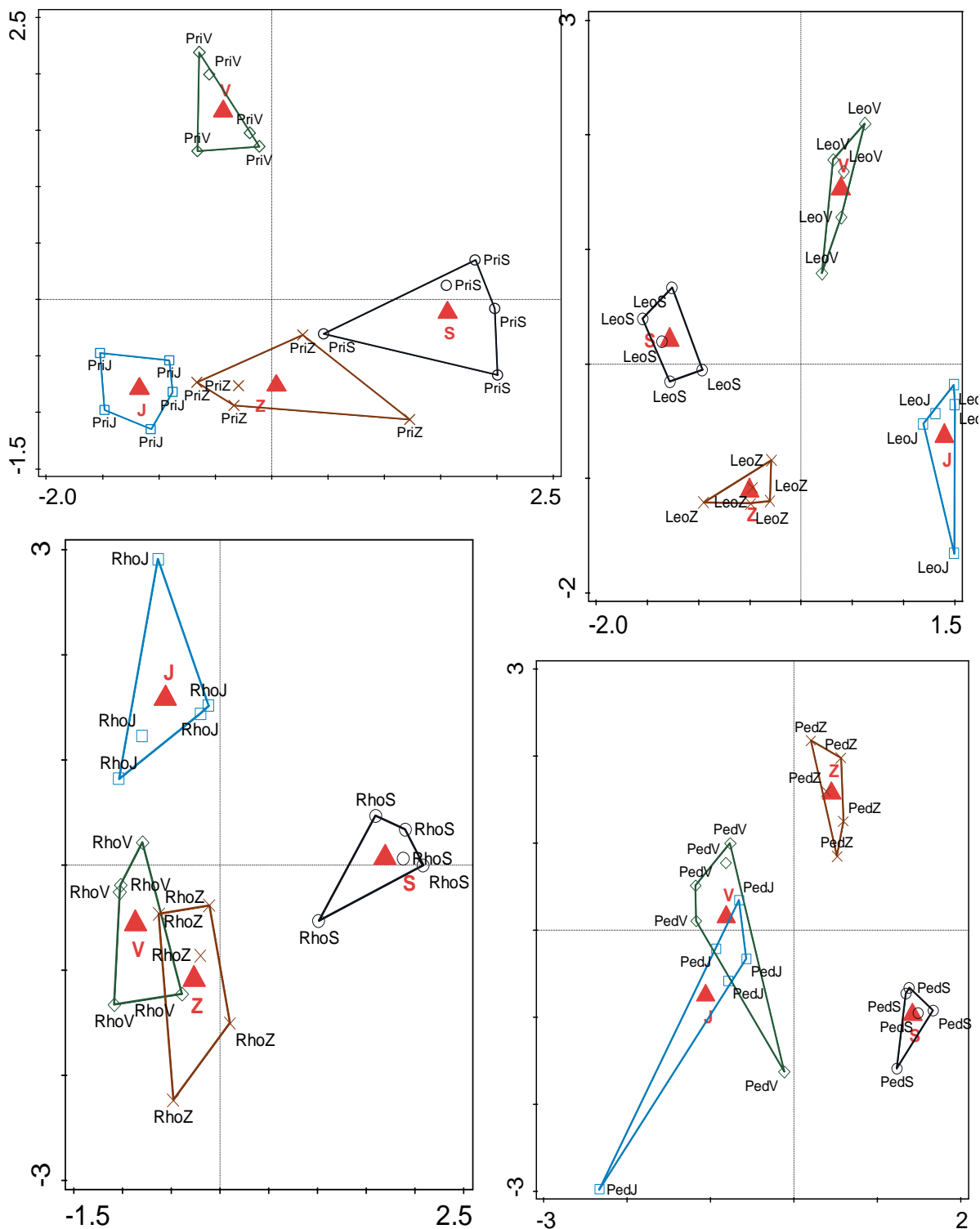
Pri planiki so ob prvem vzorčenju statistično značilne razlike v debelini **lista**. Na severu (326,84  $\mu\text{m}$ ) se statistično značilno razlikuje od juga (150,86  $\mu\text{m}$ ) in zahoda (217,56  $\mu\text{m}$ ). Septembra se debelina lista povsod zmanjša, tako kot tudi standardni odklon, in statistično značilnih razlik ni več. Debelina **kutikule** je julija največja na severu (5,30  $\mu\text{m}$ ) in najnižja na zahodu (3,84  $\mu\text{m}$ ). Ob drugem vzorčenju se debelina poveča na jugu (je največja, meri 5,59  $\mu\text{m}$ ) in zahodu ter zmanjša na severu in vzhodu (najmanjša, 4,10  $\mu\text{m}$ ), nihanje okrog povprečja ne presega 1  $\mu\text{m}$ . Debelina **zgornje povrhnjice** julija zelo niha med smermi neba. Najvišja je na severu (24,78  $\mu\text{m}$ ), najnižja in izrazito nizka pa na jugu (6,69  $\mu\text{m}$ ). Vzhod se s povprečjem 17,78  $\mu\text{m}$  statistično značilno razlikuje od juga in severa, sever pa od juga in zahoda. Ob drugem vzorčenju ni več značilnih razlik med smermi neba. Najdebelejša **zgornja povrhnjica** je na vzhodu (22,11  $\mu\text{m}$ ) in najtanjša na zahodu (15,15  $\mu\text{m}$ ). Debelina **spodnje povrhnjice** se ob prvem vzorčenju med smermi neba bolj razlikuje. Najvišja je na vzhodu (13,18  $\mu\text{m}$ ) in najnižja na jugu (7,06  $\mu\text{m}$ ). Septembra se d. sp. pov. na jugu izrazito poveča na 12,23  $\mu\text{m}$ , na severu ter vzhodu se poveča le za okrog 1  $\mu\text{m}$ , na zahodu pa se za 0,27  $\mu\text{m}$  zmanjša, standardni odklon ostaja povsod približno enak. Debelina **stebričastega tkiva** je julija najvišja na zahodu (59,59  $\mu\text{m}$ ), vendar ji kmalu sledi jug s 57,69  $\mu\text{m}$ . Izrazito tanko stebričasto tkivo je na vzhodu (30,37  $\mu\text{m}$ ), a ima tam veliko nihanje okrog srednje vrednosti (21,42  $\mu\text{m}$ ). Do konca sezone se debelina povsod poveča, največ na vzhodu (meri 59,38  $\mu\text{m}$ ).

Razlike med smermi neba so manjše, neznailne, vrednosti pa imajo manjši standardni odklon v primerjavi z začetkom sezone. Debelina **gobastega tkiva** je med smermi neba ob julijskem vzorčenju statistično značilno različna na severu in jugu ter na jugu in zahodu. Na zahodu je najvišja s 145,34  $\mu\text{m}$ , na jugu pa najnižja s 70,26  $\mu\text{m}$ . Septembra se gobasto tkivo na severu in jugu odebeli, na jugu meri največ pri tej meritvi, tj. 131,14  $\mu\text{m}$ , na vzhodu in zahodu pa se stanjša in na vzhodu meri najmanj, 92,18  $\mu\text{m}$ .

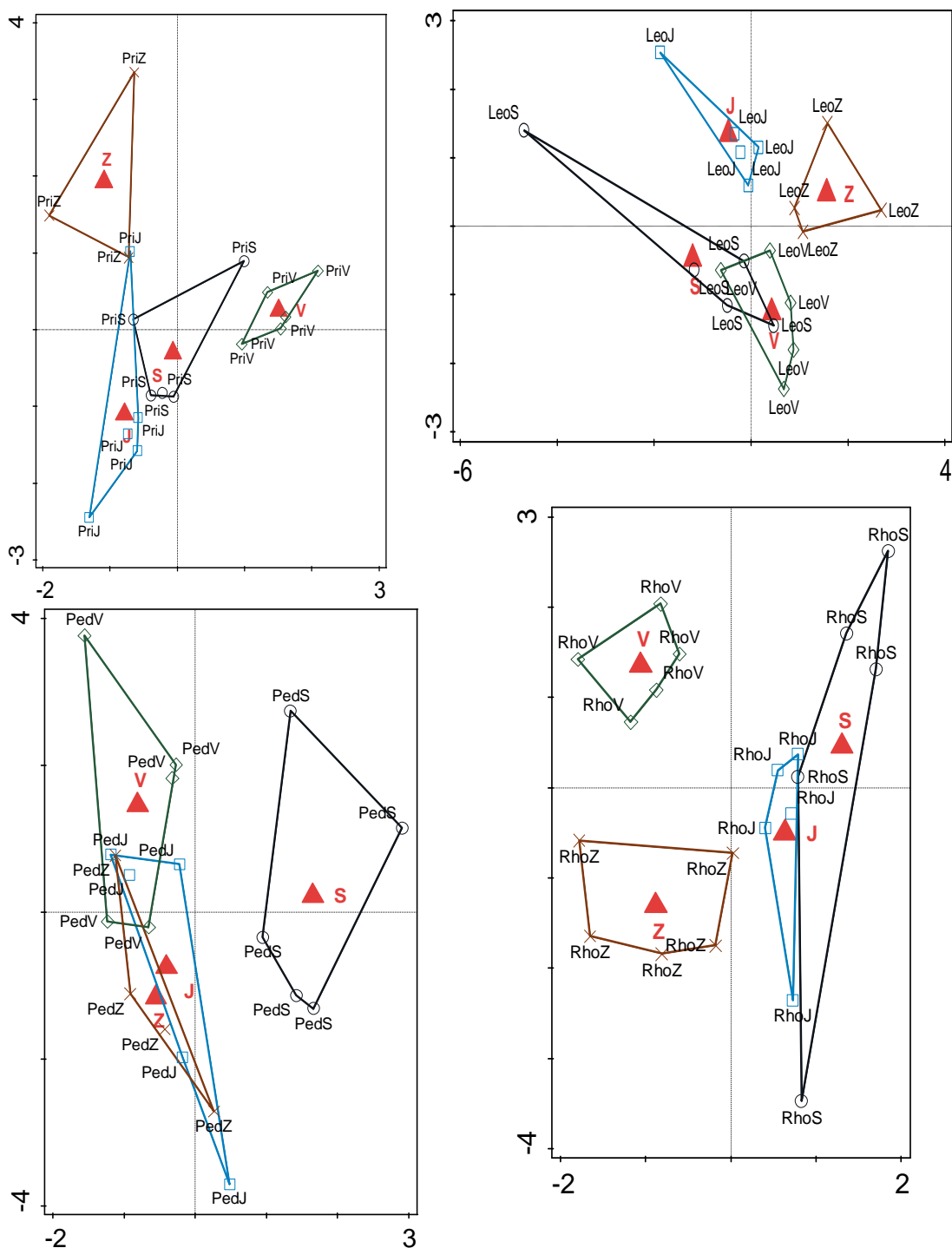
Sleč kaže nekaj statistično značilnih razlik tako pri prvem kot pri drugem vzorčenju. Debelina **lista** se julija v povprečju največ razlikuje med jugom (291,90  $\mu\text{m}$ ) in vzhodom (265,34  $\mu\text{m}$ ), vendar razlike niso statistično značilne. Pri drugem vzorčenju se debelina lista na jugu še poveča na povprečno 318,63  $\mu\text{m}$  in na vzhodu zmanjša na 234,44  $\mu\text{m}$ . Razlike so statistično značilne. **Kutikula** je julija najtanjša na severu (4,79  $\mu\text{m}$ ) in najdebelejša na vzhodu (7,51  $\mu\text{m}$ ). Pri drugem vzorčenju se le na vzhodu kutikula stanjša in je najtanjša (5,97  $\mu\text{m}$ ), drugod pa se poveča, in sicer največ na zahodu, kjer meri povprečno 8,92  $\mu\text{m}$ . Razlike ne julija ne septembra niso statistično značilne. Pri debelini **zg. pov.** razlike niso statistično značilne. Debelina **sp. pov.** pa se med severom in jugom, severom in vzhodom ter vzhodom in zahodom statistično značilno razlikuje. Najdebelejša je na severu (16,26  $\mu\text{m}$ ), vendar je na zahodu le malo tanjša (meri v povprečju 15,57  $\mu\text{m}$ ), jug in vzhod sta po debelini blizu skupaj in merita v povprečju nekoliko čez 11  $\mu\text{m}$ . Septembra so razlike v debelini sp. pov. manjše, povprečne vrednosti so blizu skupaj in tudi standardni odklon je manjši, statističnih razlik ni več. Debelina **stebričastega tkiva** se ob prvem vzorčenju med smermi neba izrazito razlikuje, posebej odstopa zahod, z najtanjšim izmerjenim stebričastim tkivom (69,67  $\mu\text{m}$ ), medtem ko je na južni strani stebričasto tkivo najdebelejše (122,78  $\mu\text{m}$ ). Septembra se steb. tk. stanjša povsod, razen na zahodu, kjer se za 7,10  $\mu\text{m}$  poveča. Izstopa izmerjena majhna debelina na vzhodu (72,55  $\mu\text{m}$ ), ki se značilno razlikuje od severa (110,16  $\mu\text{m}$ ) in juga (109,02  $\mu\text{m}$ ). **Gobasto tkivo** je julija najdebelejše na zahodu (169,75  $\mu\text{m}$ ) in najtanjše na jugu (126,12  $\mu\text{m}$ ), vendar imajo izmerjene dolžine tudi večji razpon, zato statistično značilnih razlik ni. Podobno tudi septembra med smermi neba ni značilnih razlik, se pa na jugu debelina izrazito poveča na 171,22  $\mu\text{m}$ .

Pri debelini **lista** pri ušivcu statističnih razlik ni. Najdebelejši list je na zahodu (416,90  $\mu\text{m}$ ), najtanjši pa na jugu (312,25  $\mu\text{m}$ ). Pri septembrskem vzorčenju pa pride do razlik, in sicer se izrazito poveča debelina lista na severu (meri v povprečju 462,47  $\mu\text{m}$ ), ki se statistično značilno razlikuje od vseh ostalih smeri neba. Najtanjši list je septembra na vzhodu (339,03  $\mu\text{m}$ ). Pri debelini **kutikule** pride do razlik ob začetku sezone. Izstopa jug s kutikulo, v povprečju debelo 10,03  $\mu\text{m}$ , in se statistično razlikuje tako od vzhoda (5,76  $\mu\text{m}$ ) kot tudi od zahoda (6,54  $\mu\text{m}$ ). Ob koncu sezone se razlike v debelini kutikule zmanjšajo, najtanjša (5,56  $\mu\text{m}$ ) je na severu, najdebelejša (7,15  $\mu\text{m}$ ) pa na zahodu, vendar razlike niso značilne.

Debelina **zgornje povrhnjice** med smerni neba bolj variira julija, ko je na zahodu (38,67  $\mu\text{m}$ ) statistično značilno različna od vzhoda (21,7  $\mu\text{m}$ ). Do drugega vzorčenja debelina zg. pov. kaže tendenco stanjšanja na jugu, vzhodu in zahodu, na severu pa se odebeli, vendar razlike niso značilne. Debelina **spodnje povrhnjice** se med smerni neba manj razlikuje. Statistično značilnih razlik ni ne julija ne septembra, se pa tekom sezone poveča debelina na jugu, vzhodu in zahodu. Pri debelini **stebričastega tkiva** so julija razlike v povprečjih sicer velike (142,75  $\mu\text{m}$  na zahodu in 69,07  $\mu\text{m}$  na vzhodu), a vrednosti paralelk zajamejo velik razpon, zato statistično značilnih razlik ni. Septembra je stebričasto tkivo na severu debelejše (194,56  $\mu\text{m}$ ), medtem ko je najtanjša na zahodu (133,75  $\mu\text{m}$ ). Statistično značilno se sever razlikuje od vzhoda in zahoda. Debelina **gobastega tkiva** se statistično značilno razlikuje na severu in vzhodu, severu in zahodu, jugu in vzhodu ter jugu in zahodu. Najdebelejše gobasto tkivo je na zahodu (217,39  $\mu\text{m}$ ), najtanjša na severu (108,12  $\mu\text{m}$ ). Ob koncu sezone ni več statistično značilnih razlik. Najdebelejše je gobasto tkivo na vzhodu (206,48  $\mu\text{m}$ ), najtanjša pa na jugu (130,43  $\mu\text{m}$ ).



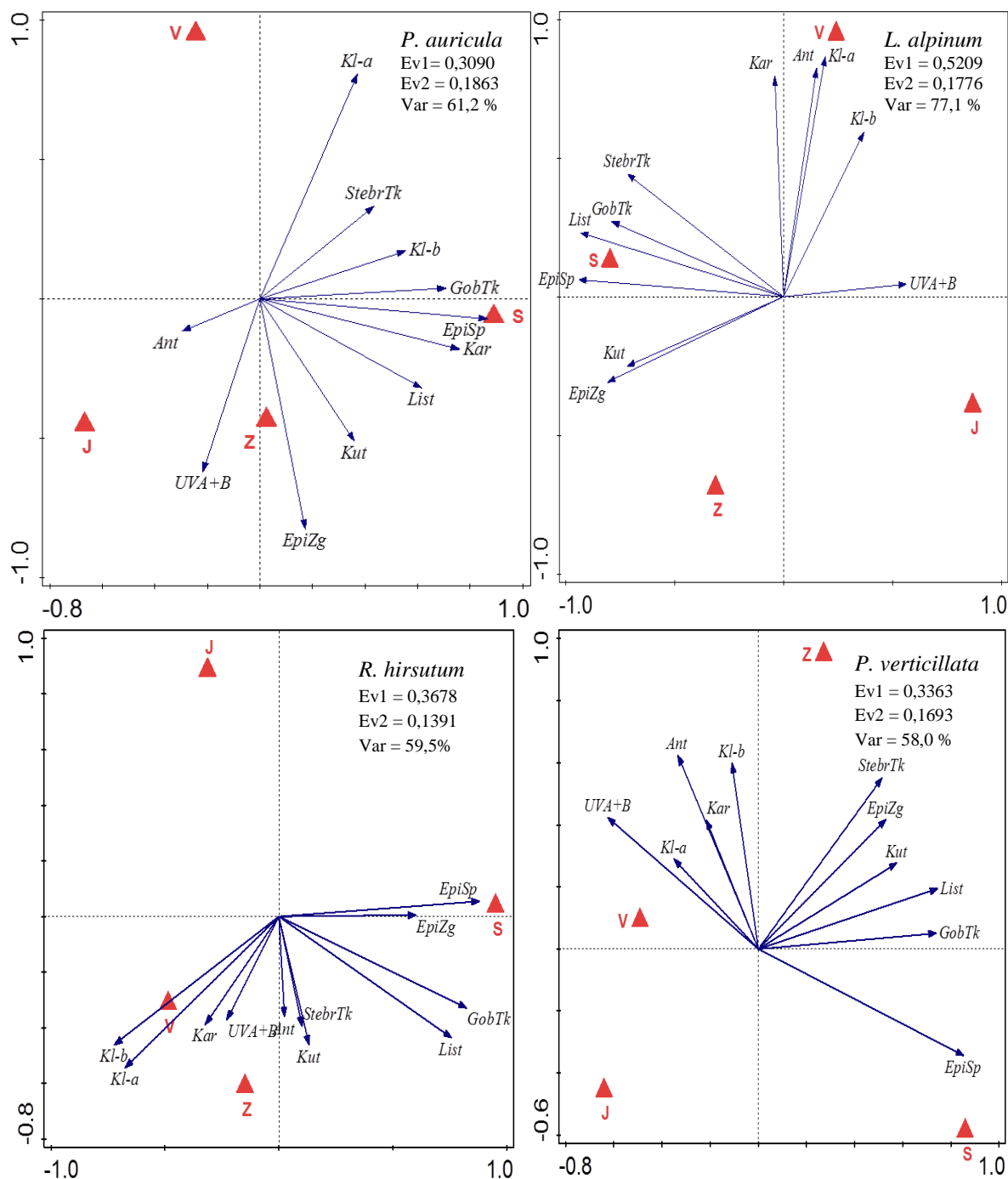
**Slika 20:** Redundančna analiza (RDA) merjenih morfoloških in biokemijskih značilnosti posameznih vzorčenih rastlin s smermi neba (kvalitativni parameter) julija. Pri – *Primula auricula* (lepi jeglič), Leo – *Leontopodium alpinum* (planika), Rho – *Rhododendron hirsutum* (dlakavi sleč), Ped – *Pedicularis verticillata* (vretenčasti ušivec); S – sever, J – jug, V – vzhod, Z – zahod



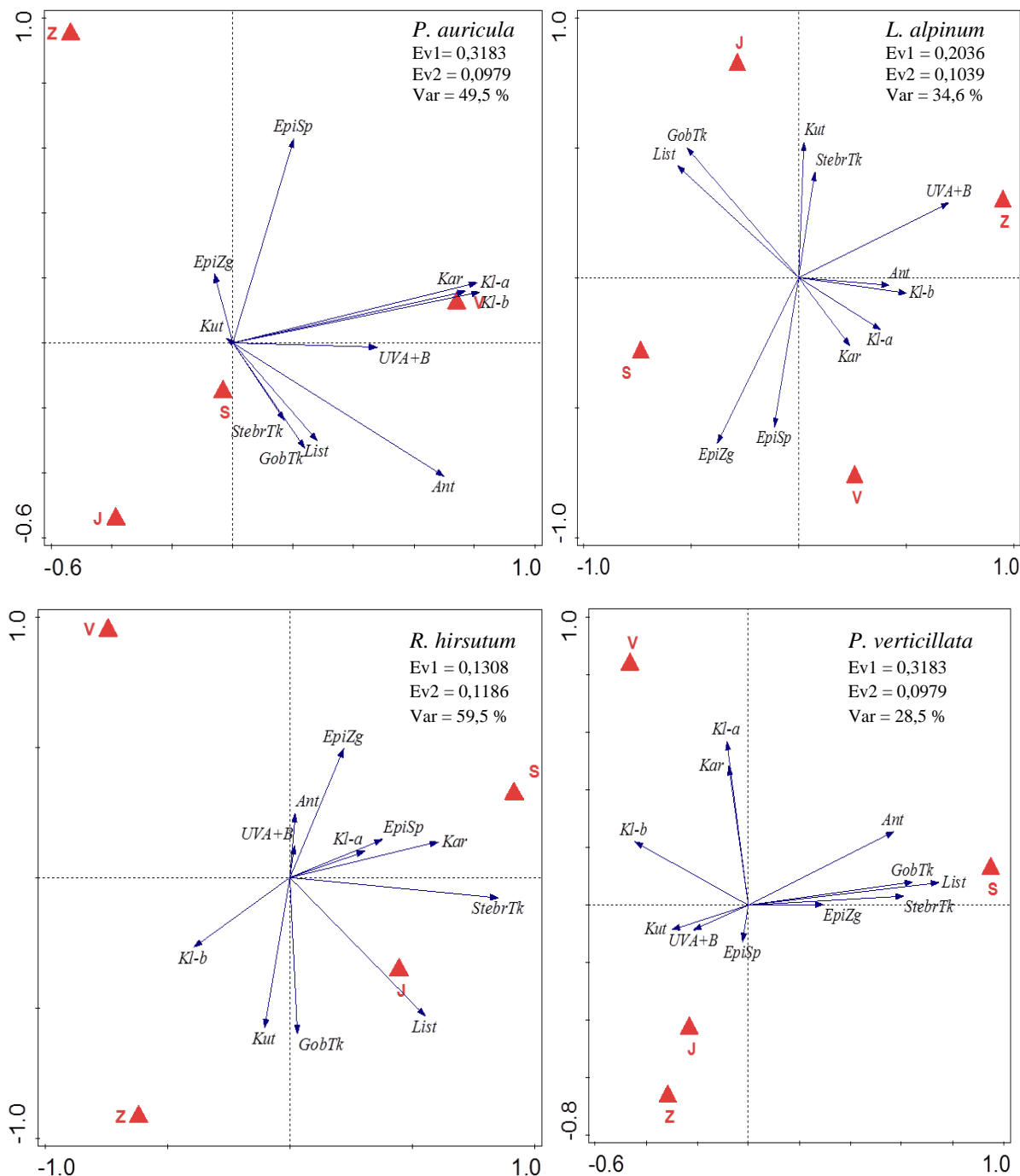
**Slika 21:** Redundančna analiza (RDA) merjenih morfoloških in biokemijskih značilnosti posameznih vzorčenih rastlin s smermi neba (kvalitativni parameter) septembra. Pri – *Primula auricula* (lepi jeglič), Leo – *Leontopodium alpinum* (planika), Rho – *Rhododendron hirsutum* (dlakavi sleč), Ped – *Pedicularis verticillata* (vretenčasti ušivec); S – sever, J – jug, V – vzhod, Z – zahod

Pri obeh vzorčenjih je razvidna povezava značilnosti rastlin, ki so bile nabrane na določeni smeri neba, in razmerami na tej smeri neba, saj so vrednosti petih paralelnih meritev na rastlini posamezne smeri neba blizu označbe te smeri neba, ki jo predstavlja kot kvalitativni parameter. Med seboj so smeri neba in značilnosti rastlin ločene, posebej julija pri jegliču in planiki. V vseh analizah, razen pri planiki septembra, od ostalih smeri neba odstopa sever, kar pomeni, da razmere na severni strani najbolj izstopajo in vplivajo na funkcionalne značilnosti rastlin, ki tam rastejo. Septembra prihaja do več prekrivanj in večjih razdalj med parametri rastlin in smermi neba, kar pomeni, da ob koncu sezone razmere na različno usmerjenih rastiščih na funkcionalne lastnosti rastlin nimajo več tako izrazitega vpliva kot na začetku sezone.





**Slika 22:** Ordinacijski diagram redundančne analize julijskih meritev biokemijskih in morfoloških lastnosti (Kl-a – klorofil a, Kl-b – klorofil b, Kar – karotenoidi, Ant – antocianini, UVA+B – UV-absorbirajoče snovi, List – debelina lista, kut – debelina kutikule, EpiZg – debelina zgornje povrhnjice, StebrTk – debelina stebričastega tkiva, GobTk – debelina gobastega tkiva, EpiSp – debelina spodnje povrhnjice) in njihova povezava s posameznimi smermi neba (rdeči trikotniki; S – sever, J – jug, V – vzhod, Z – zahod) pri posameznih rastlinah (*P. auricula* – *Primula auricula* (lepi jeglič), *L. alpinum* – *Leontopodium alpinum* (planika), *R. hirsutum* – *Rhododendron hirsutum* (dlakavi sleč), *P. verticillata* – *Pedicularis verticillata* (vretenčasti ušivec)). Ev1 – lastna vrednost prve osi. Ev2 – lastna vrednost druge osi. Var – odstotek razlage variance. Bolj kot je puščica usmerjena v isto smer kot oznaka smeri neba, bolj pozitivna je povezava med njima.

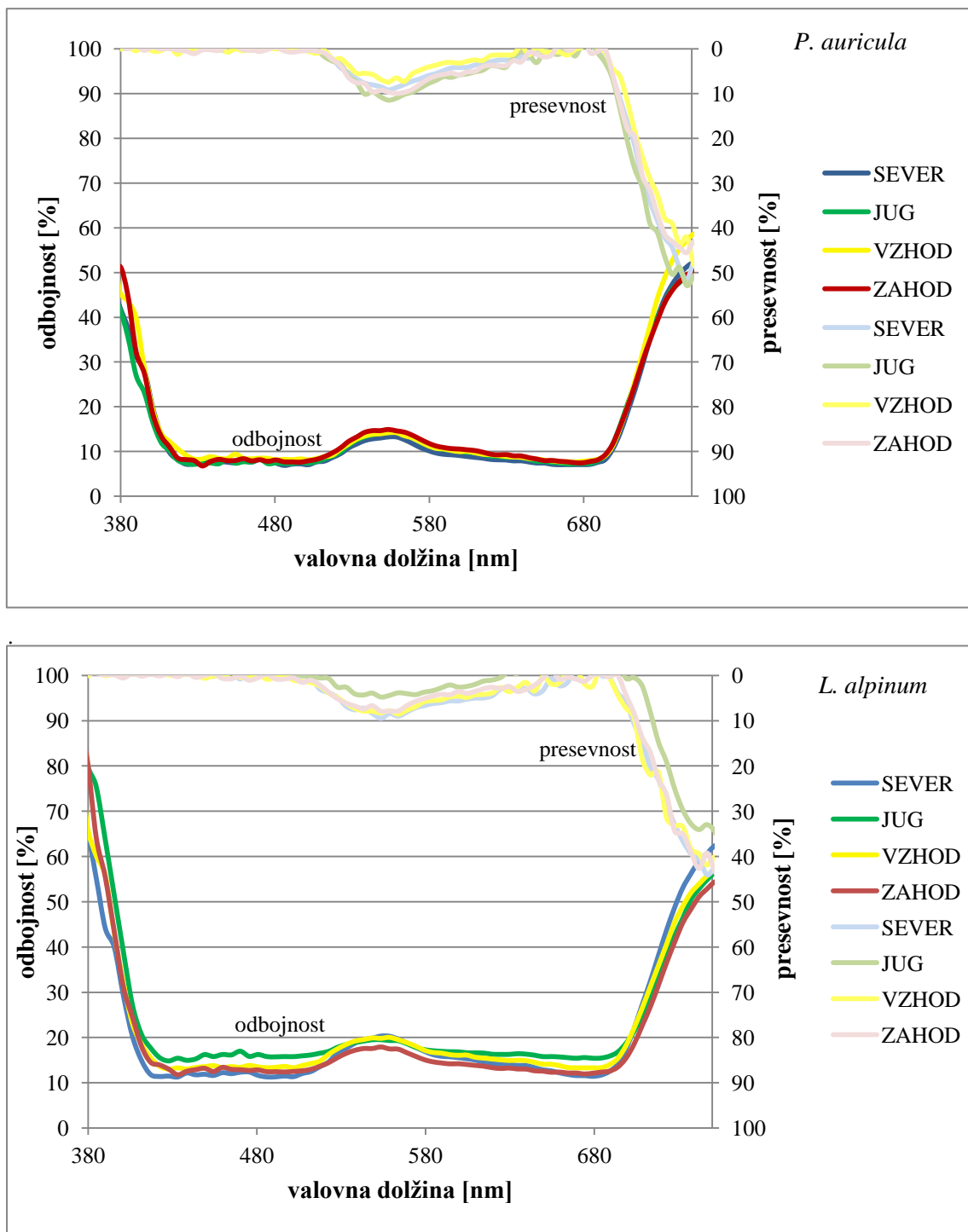


**Slika 23:** Ordinacijski diagram redundančne analize septembrskih meritev biokemijskih in morfoloških lastnosti (Kl-a – klorofil a, Kl-b – klorofil b, Kar – karotenoidi, Ant – antocianini, UVA+B – UV-absorbirajoče snovi, List – debelina lista, kut – debelina kutikule, EpiZg – debelina zgornje povrhnjice, StebrTk – debelina stebričastega tkiva, GobTk – debelina gobastega tkiva, EpiSp – debelina spodnje povrhnjice) in njihova povezava s posameznimi smermi neba (rdeči trikotniki; S – sever, J – jug, V – vzhod, Z – zahod) pri posameznih rastlinah (*P. auricula* – *Primula auricula* (lepi jeglič), *L. alpinum* – *Leontopodium alpinum* (planika), *R. hirsutum* – *Rhododendron hirsutum* (dlakavi sleč), *P. verticillata* – *Pedicularis verticillata* (vretenčasti ušivec)). Ev1 – lastna vrednost prve osi. Ev2 – lastna vrednost druge osi. Var – odstotek razlage variance. Bolj kot je puščica usmerjena v isto smer kot oznaka smeri neba, bolj pozitivna je korelacija med njima.

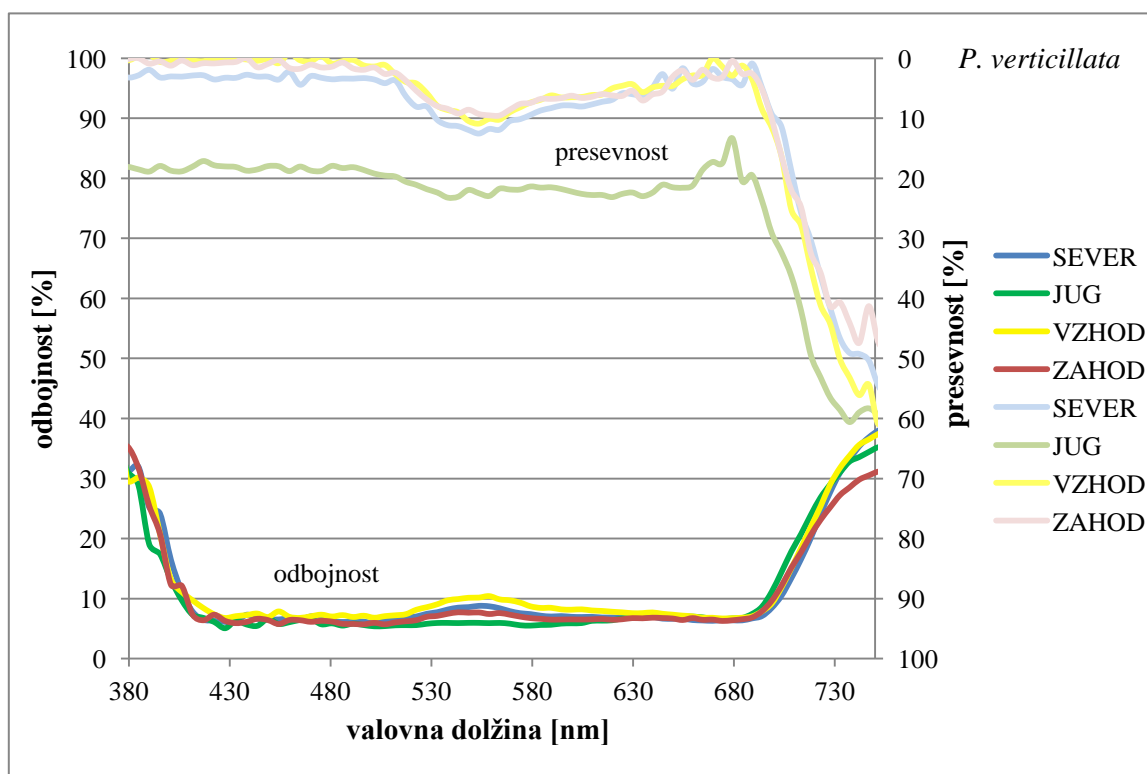
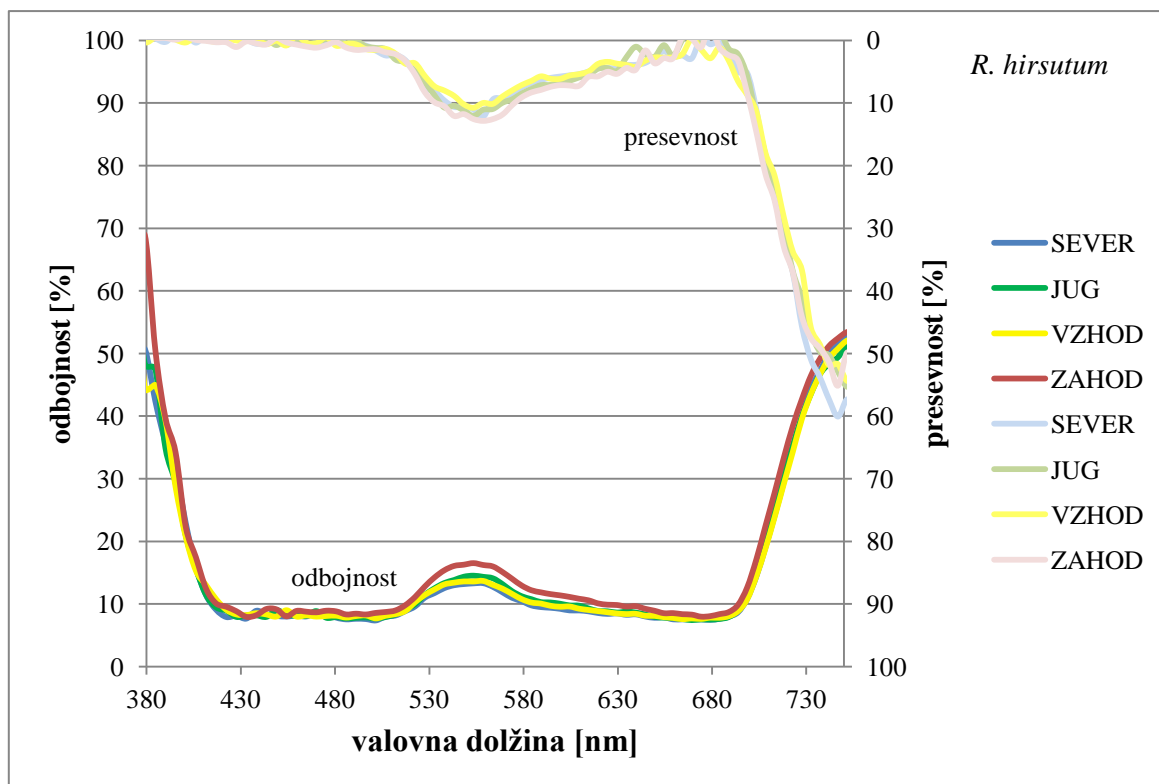
Bolj kot je kót med puščicami oster, večja je pozitivna povezava med parametri. Če je kót med puščicami večji od  $90^\circ$ , gre za negativno povezavo med funkcionalnimi lastnostmi. Pri vseh rastlinah je opazna močna pozitivna povezava med severno stranjo neba in morfološkimi značilnostmi. Pri ušivcu je julija močna povezava med debelino spodnje povrhnjice in severom. Septembra je kót med debelino gobastega tkiva, zgornje povrhnjice, debeline lista, debeline stebričastega tkiva in kvalitativnim parametrom severne strani med  $0^\circ$  in  $20^\circ$ , kar kaže na močno povezavo teh značilnosti z razmerami na severu med sezono in ob koncu sezone. Pri sleču sta tako julija (kót  $\approx 0^\circ$ ) kot septembra (kót  $\approx 0^\circ$  in  $45^\circ$ ) s severom povezani debelina zgornje in spodnje povrhnjice. Pri jegliču in planiki je julija med severom in debelino gobastega tkiva ter spodnje povrhnjice močna povezava (kót  $< 10^\circ$ ), parametri razložijo varianco z 61,2 % pri jegliču in s 77,1 % pri planiki. Septembra je pri jegliču povezava med severom in debelino spodnje povrhnjice negativna, med debelino gobastega tkiva in severno stranjo pa povezava je pozitivna, vendar ni več tako močna kot julija. Pokaže se tudi povezava debeline stebričastega tkiva in debeline lista s severom. Pri planiki sta septembra s severom manj povezani debelina zgornje in spodnje povrhnjice (kót  $\approx 60^\circ$ ).

Vzhod ter zahod sta povezana z biokemijskimi značilnostmi, vsebnostjo barvil. Pri planiki je julija kót med vsebnostjo antocianinov in klorofila a ter vzhodom praktično  $0^\circ$ , kar kaže na močno povezavo med razmerami na vzhodu in vsebnostjo antocianinov ter klorofila a. Septembra izrazitih povezav ni več, kaže se tendenca povezave UV-absorbirajočih snovi z zahodom. Pri sleču julija odstopa jug, ki nima nobene povezave s katero od morfoloških značilnosti. Vsebnosti klorofila a, b ter karotenoidov so močno (kót  $< 20^\circ$ ) povezane z vzhodom, vsebnosti UV-absorbirajočih snovi ter antocianinov pa z zahodom. Septembra so povezave manjše in izstopa vzhod, ki je z vsemi funkcionalnimi značilnostmi negativno povezan. Debelina lista je močno povezana z jugom. Pri ušivcu je julija opazno razporejanje biokemijskih značilnosti na eno stran diagrama, med vzhod in zahod, morfološke značilnosti pa so na drugi strani, med zahodom in severom. Septembra ločitev ni tako izrazita, se pa grupirajo vsebnosti klorofila a, b in karotenoidov okrog vzhodne strani neba in vsebnosti UV-absorbirajočih snovi okrog juga in zahoda, ki sta blizu skupaj. Pri jegliču sta julija povezani vsebnost antocianinov in UV-absorbirajočih snovi z jugom, septembra pa so močno povezane (kót  $\approx 0^\circ$ ) vsebnosti klorofila a, b ter karotenoidov z vzhodom, kaže se tendenca povezave z vsebnostjo UV-absorbirajočih snovi.

### 4.3 OPTIČNE LASTNOSTI LISTOV



**Slika 24:** Odbojnost in presevnost pri jegliču, *Primula auricula* (zgoraj), in planiki, *Leontopodium alpinum* (spodaj), ob septembrskem vzorčenju v spektru od 380 do 750 nm. Absorptivnost ponazarja območje med krivuljo odbojnosti in presevnosti za posamezno smer neba. Krivulje so izrisane na povprečju 5 paralelk.



**Slika 25:** Odbojnost in presevnost pri sleču, *Rhododendron hirsutum* (zgoraj), in ušivcu, *Pedicularis verticillata* (spodaj), ob septembrskem vzorčenju v spektru od 380 do 750 nm. Absorptivnost ponazarja območje med krivuljo odbojnosti in presevnosti za posamezno smer neba. Krivulje so izrisane na povprečju 5 paralelk.

V sredini merjenega spektra (od 400 do 750 nm) vse krivulje kažejo podoben trend. Pri vseh meritvah se jasno vidi vrh pri odbojnosti in presevnosti pri 550 nm (zelena svetloba). Odbojnost do konca vijoličnega dela spektra pada in je vse do IR-dela približno konstantno nizka. Presevnost je od začetka meritev konstantno okoli 0 %, nato ima širši vrh okrog zelene svetlobe, pri 680 nm prične naraščati in do konca merjenega IR-spektra naraste na 60 %. Od valovne dolžine 680 nm do 750 nm se strmo povečujeta tako odbojnost kot tudi presevnost. Največjo odbojnost v PAR opazimo pri planiki (med 10 % in 20 %) in sleču (med 8 % in 16 %). Pri ušivcu je opazna višja presevnost na jugu, pri drugih rastlinah ni mogoče povsem razločiti posameznih krivulj, ker so na grafu blizu skupaj.

**Preglednica 3:** Zbrani rezultati optičnih lastnosti (absorptivnost – zgoraj, odbojnost – v sredini, presevnost – spodaj) ob septembrskem vzorčenju. V odstotkih (%) je izražen delež 10-nm intervalov znotraj posameznega preiskovanega dela spektra, ki se statistično značilno razlikujejo (Bonferroni post hoc test,  $p \leq 0,05$ ) med dvema smerema neba pri posamezni rastlini (Pri – *Primula auricula* (lepi jeglič), Leo – *Leontopodium alpinum* (planika), Rho – *Rhododendron hirsutum* (dlakavi sleč), Ped – *Pedicularis verticillata* (vretenčasti ušivec)). Intenzivnejša barva pomeni večjo različnost po celotnem delu spektra. VIJ – vijolična, MO – modra, CI – ciano, ZE – zelena, RU – rumena, OR – oranžna, RD – rdeča, NIR – bližnja infrardeča svetloba; v oklepajih so navedene valovne dolžine posameznega dela spektra v nm; N =

Absorptivnost	sever-jug				sever-vzhod				sever-zahod				jug-vzhod				jug-zahod				vzhod-zahod			
	Pri	Leo	Rho	Ped	Pri	Leo	Rho	Ped	Pri	Leo	Rho	Ped	Pri	Leo	Rho	Ped	Pri	Leo	Rho	Ped	Pri	Leo	Rho	Ped
VIJ (380-430)	17	0	0	83	33	0	0	0	17	0	50	0	67	0	0	100	33	0	33	100	17	0	0	0
MO (430-500)	0	0	0	100	17	0	0	0	17	0	50	0	17	0	0	100	33	0	50	100	0	0	33	0
CI (500-520)	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	0
ZE (520-565)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	20	0	0	0	20	0	0	100	0
RU (565-590)	0	0	0	33	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	33	0	0	0	67	0	0	100	0
OR (590-625)	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	67	0	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	67	0
RD (625-740)	0	0	8	100	0	0	0	0	8	0	0	0	8	8	8	92	17	0	8	100	17	0	17	8
NIR (740-830)	0	11	11	0	0	0	0	0	0	0	0	67	0	0	0	0	0	11	0	78	0	0	0	89
Presevnost	sever-jug				sever-vzhod				sever-zahod				jug-vzhod				jug-zahod				vzhod-zahod			
	Pri	Leo	Rho	Ped	Pri	Leo	Rho	Ped	Pri	Leo	Rho	Ped	Pri	Leo	Rho	Ped	Pri	Leo	Rho	Ped	Pri	Leo	Rho	Ped
VIJ (380-430)	33	67	33	100	17	0	17	0	33	17	33	0	33	100	33	100	67	100	67	100	17	0	17	0
MO (430-500)	0	67	0	100	17	17	0	0	0	33	0	0	17	83	0	100	50	83	17	100	33	33	0	0
CI (500-520)	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	0
ZE (520-565)	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0	60	0	0	0	0
RU (565-590)	0	0	0	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	0
OR (590-625)	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	0
RD (625-740)	0	58	8	100	0	8	8	0	8	17	0	0	25	58	8	100	8	42	8	100	17	0	8	0
NIR (740-830)	0	11	11	22	0	0	11	0	11	0	11	22	0	22	0	0	0	22	0	0	0	0	0	44
Odbojnost	sever-jug				sever-vzhod				sever-zahod				jug-vzhod				jug-zahod				vzhod-zahod			
	Pri	Leo	Rho	Ped	Pri	Leo	Rho	Ped	Pri	Leo	Rho	Ped	Pri	Leo	Rho	Ped	Pri	Leo	Rho	Ped	Pri	Leo	Rho	Ped
VIJ (380-430)	17	0	0	17	33	0	0	0	0	0	50	0	50	0	0	33	17	0	67	0	17	0	0	17
MO (430-500)	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	67	0	0	0	0	0	0	0	33
CI (500-520)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
ZE (520-565)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	40	20
RU (565-590)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	67	67
OR (590-625)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100	100
RD (625-740)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	0	0	0	0	0	0	0	42	0	0	0	58	0
NIR (740-830)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## ABSORPTIVNOST

Več statistično značilnih razlik opazimo pri ušivcu, in sicer predvsem po celotnem preiskovanem spektru v primerjavi z jugom. Izrazito nizek delež (0–20 %) statistično različnih intervalov je v zelenem delu spektra. Pri sleču je največ razlik do konca oranžnega dela (vmes pride do 0 % različnosti v ciano delu spektra) pri primerjavi sever – zahod ter vzhod – zahod. Razlike v območju do 500 nm so vidne v primerjavi jug – zahod. Planika nima statistično značilnih razlik v deležih intervalov, z izjemo nizkega deleža (11–14%) v NIR. Več statistično značilnih razlik pri jegliču se pojavi v območju 315–500 nm na jugu v primerjavi z zahodom in vzhodom ter na severu v primerjavi z zahodom, vendar se le v vijoličnem delu spektra razlikuje 67 % intervalov, ostale vrednosti so občutno nižje.

## PRESEVNOST

Največji delež statistično značilnih razlik v optičnih lastnostih se pojavlja pri presevnosti, posebej pri ušivcu, kjer s 100-odstotnim deležem različnosti izstopajo meritve na jugu v vseh delih spektra, z izjemo NIR in zelenega dela vidne svetlobe. Več statistično značilnih razlik je pri planiki na jugu v primerjavi z ostalimi smermi neba v območju od vijoličnega do modrega dela in v rdečem delu spektra. Sleč in jeglič se v istem območju, a v manjšem (do 50 %) deležu razlikujeta na jugu, v primerjavi s severom in z vzhodom. V primerjavi z zahodom je delež različnih intervalov večji. Pri vseh rastlinah se razlike izrazito pojavljajo v primerjavi z jugom in predvsem v kratkovalovnem PAR ter v manjši meri še v rdečem in infrardečem delu spektra.

## ODBOJNOST

Več statistično značilnih razlik je pri ušivcu in sleču, kjer se razlikuje zahod v primerjavi s severom in z vzhodom. Pri sleču pride do razlik posebej od 520 nm (zeleno) do 740 nm (rdeča). Na zahodu pride do razlik (največ 67 %) v primerjavi z jugom le na začetku in koncu PAR. Odbojnost pri ušivcu v primerjavi jug – vzhod izrazito narašča od začetka PAR do ciano dela, ko doseže 100-odstotno različnost. V zelenem delu ni razlik (0 %), v rumenem in oranžnem delu spektra pa je 100 % intervalov statistično značilno različnih. Majhne statistično značilne razlike v intervalih (največ 50 %) pri jegliču se, ne glede na posamezne smeri neba, pojavljajo le v vijoličnem in modrem delu spektra.



## 5 RAZPRAVA

### 5.1 BIOKEMIJSKE ANALIZE

Posamezne vrste imajo različna razmerja med barvili, kar jim daje drugačno obarvanost – listi jegliča so svetlo zeleni, listi sleča pa bolj temno zeleni in svetleči zaradi debele kutikule. Listi ušivca so rdečkasti do temno vijolični, listi planike so temno zeleni, pod gosto plastjo belih dlačic. Vsebnost barvil v naši raziskavi se med različnimi vrstami razlikuje, kar so potrdili tudi drugi znanstveniki (Caldwell in sod., 1995; Gonçalves, 2001). Statistično značilnih razlik med smermi neba je več ob julijskem vzorčenju. Tvorba barvil predvsem pri mladih listih se spreminja tekom sezone in tekom dneva (Gratani in Fiorentino, 1988), zato lahko več razlik ob prvem vzorčenju pripišemo večjim spremembam in hitrejšemu odzivu v tvorbi barvil pri mladih listih, ki so se ob našem prvem vzorčenju šele razvijali. Rastline barvila tvorijo na podlagi genskega zapisa in okoljskih razmer (Tieszen, 1970), odvisne pa so od mnogih dejavnikov (Sevik in sod., 2012).

#### 5.1.1 Vsebnost klorofila a, b in karotenoidov

Statistično značilno višje vsebnosti klorofila a (Sl. 10, zgoraj) in klorofila b (Sl. 11, zgoraj) na vzhodu, zahodu in jugu pri planiki kažejo, da imajo rastline prisojnih pobočij večjo koncentracijo klorofila a in b v listih glede na suho maso, saj svetloba pospeši njihovo tvorbo (Nadler in Granick, 1970; Gratani in Fiorentino, 1980; Malavasi U.C. in Malavasi M.M., 1999; Sevik in sod., 2012). Poleg tega se barvila ob velikih jakostih sevanja tvorijo za zaščito fotosinteznega aparata (Gonçalves in sod., 2001; Šircelj, 2008).

Vsebnosti karotenoidov pri planiki (Sl. 12) so sorazmerno večje pri rastlinah severnih pobočij, kar tam rastočim rastlinam omogoči večji izkoristek svetlobe (McWilliam in Naylor, 1967; Hogewoning in sod., 2012; Gonçalves in sod., 2001; Lichtenthaler in sod., 2007). Goste dlačice na listni površini sevanje odbijajo, na kar se rastlina prilagodi z dodatno tvorbo karotenoidov.

Vsebnosti klorofila a (Sl. 10), klorofila b (Sl. 11) in karotenoidov (Sl. 12) ob prvem vzorčenju kažejo podoben trend pri sleču in ušivcu. Pri sleču je vsebnost klorofila a in klorofila b statistično značilno nižja na severu v primerjavi z vzhodom in zahodom ter vsebnost karotenoidov statistično značilno nižja na severu v primerjavi z zahodom. Pri ušivcu se kaže podobna tendenca najnižjih vsebnosti na severu in najvišjih na vzhodu ter zahodu, vendar razlike niso statistično značilne. Vzhodna in zahodna stran neba prejmeta več sončnega sevanja, kar inducira tvorbo fotosinteznih barvil (Nadler in Granick, 1970; Gratani in Fiorentino, 1988; Malavasi U.C. in Malavasi M.M., 1999; Sevik in sod., 2012).

Ob drugem vzorčenju vsebnost klorofila a in karotenoidov na severni strani naraste, saj sta se sleč in ušivec tekom sezone na senčne razmere prilagodila z dodatno tvorbo karotenoidov (McWilliam in Naylor, 1967; Hogewoning in sod., 2012; Gonçalves in sod., 2001; Lichtenthaler in sod., 2007). Pri klorofilu b ne pride do sprememb, iz česar sklepamo, da razmere na posameznih smereh neba tekom sezone niso vplivale na spremembe v vsebnosti klorofila b pri sleču.

Vsebnosti klorofila a (Sl. 10) in klorofila b (Sl. 11) pri jegliču so ob obeh vzorčenjih najnižje na jugu, kar je vrstno specifična lastnost in posledica večje stopnje fotodestrukcije klorofilov na južni strani neba (Gonçalves in sod., 2001; Bandurski, 1949). Najvišje vsebnosti karotenoidov ob 1. vzorčenju (Sl. 12, zgoraj) na severni strani so odziv na neintenzivne sevalne razmere in prilagoditev za povečanje fotosinteznega izkoristka, kar razloži tudi sorazmerno visoke vrednosti klorofila b na severu. Rastline osojnih rastišč ali bolj senčni listi v primerjavi s sončnimi imajo večje vsebnosti klorofilov in karotenoidov, saj si na tak način povečajo izkoristek svetlobe (Martin, 1980; Beale in Appleman, 1970; Boardmann 1977; Lichtenthaler in sod., 2007).

Ob drugem vzorčenju se le meritve pri jegliču na vzhodni strani statistično značilno razlikujejo in so višje od južne strani (Sl. 10, Sl. 11., Sl. 12), kar pomeni, da so mikroklimatske razmere na vzhodu in jugu vplivale na spremembe v tvorbi barvil pri jegliču tudi v času drugega vzorčenja.

### **5.1.2 Vsebnost antocianinov in UV-absorbirajočih snovi**

Antocianini (Sl. 13) kažejo med smermi neba drugačne trende kot ostala barvila, saj je njihova tvorba odvisna od drugih dejavnikov; pospeši jo npr. povečano UV-sevanje (Middleton in Teramura, 1993; Day in sod., 1992; Zhou in Sing, 2004) ter stres (Gould, 2004). Najvišja relativna vsebnost antocianinov je pri jegliču ob prvem vzorčenju na jugu, ob drugem pa na vzhodu, v primerjavi z zahodom. Statistično značilne razlike na prisojnih smereh neba so lahko posledica stresa zaradi manjše dostopnosti vode, zaradi večje jakosti sevanja in s tem višjih temperatur (Pregl. 1) na južnem pobočju.

Pri planiki je statistično značilno višja relativna vsebnost antocianinov (Sl. 13) na vzhodu v primerjavi z zahodom ob prvem vzorčenju. To je posledica večje jakosti sevanja na vzhodnem pobočju zaradi jasnejših dopoldnevov v gorskem svetu (Farji-Brener in sod., 2009). Listna morfologija in zunajcelične strukture se tedaj šele razvijajo in niso tako učinkovite pri absorbiranju in/ali odbijanju odvečnega sevanja. S tvorbo antocianinov se planika prilagaja na velike jakosti sevanja in blaženje stresa. Tekom sezone se razlike v vsebnostih med smermi neba zmanjšajo in niso statistično značilne, saj imajo odrasli listi več mehanizmov za zaščito proti sevanju in so spremembe v vsebnosti barvil zaradi okoljskih vplivov manj izrazite (Gratani in Fiorentino, 1988).

Pri sleču do statistično značilnih razlik ne pride, kaže pa se tendenca večje relativne vsebnosti antocianinov na severni strani in hkrati manjša vsebnost na prisojnih straneh. To je lahko posledica večje relativne vsebnosti drugih barvil in odbojne kutikule, zaradi česar ne pride do povečane tvorbe antocianinov kljub večji jakosti sevanja. Povečana vsebnost antocianinov na severni strani pri sleču in pri ušivcu ob drugem vzorčenju (Sl. 13, spodaj) je posledica obrambe pred stresnimi dejavniki okolja (Gould, 2004), kot so nižje nočne temperature ob koncu sezone.

Pri jegliču je julija najnižja vsebnost UV-A- (Sl. 14) in UV-B- (Sl. 15) absorbirajočih snovi na severu, najvišja pa na jugu, saj sevanje inducira njihovo tvorbo (Robberecht in Caldwell, 1978; Middleton in Teramura, 1993), sevanja pa je na južnem pobočju več (Auslander, 2003; Badano in sod., 2005; Måren in sod., 2005). Planika z dlačicami na listni površini učinkovito odbija sevanje, zaradi česar imajo UV-absorbirajoče snovi v celicah manjšo vlogo pri prilagajanju na spremembe v jakostih sevanja. V vsebnosti UV-absorbirajočih snovi zato ni statistično značilnih razlik.

Pri sleču je julija (Sl. 14, zgoraj Sl. 15, zgoraj) statistično značilno več UV-absorbirajočih snovi na zahodu v primerjavi s severom, pri ušivcu pa na vzhodu v primerjavi s severom. To je posledica nizke jakosti sevanja severnega pobočja in povečane tvorbe UV-absorbirajočih snovi zaradi intenzivnejšega sevanja na vzhodu in zahodu (Robberecht in Caldwell, 1978; Middleton in Teramura, 1993; Farji-Brener in sod., 2009).

Na ordinacijskih diagramih redundančne analize (Sl. 20, Sl. 21) so vrednosti petih paralelnih meritev na rastlini posamezne smeri neba blizu označbe te smeri neba, ki jo predstavlja kot kvalitativni parameter. To pomeni, da imajo mikroklimatske razmere na različnih smereh neba vpliv na izražanje izbranih funkcionalnih značilnosti rastlin.

Iz RDA-diagramov, ki prikazujejo povezave med biokemijskimi in morfološkimi lastnostmi ter smermi neba (Sl. 22, Sl. 23), je opazna povezanost prisojnih pobočij (predvsem vzhoda in zahoda, v manjši meri tudi juga) z biokemijskimi značilnostmi – vsebnostmi barvil.

Vsebnost UV-A- in UV-B-absorbirajočih snovi ter antocianinov pri jegliču julija (Sl. 22, levo zgoraj) je povezana z razmerami na jugu, septembra (Sl. 23, levo zgoraj) pa z razmerami na vzhodu. Večja jakost sevanja na jugu ob začetku sezone ter na vzhodu ob koncu sezone pri jegliču je povezana s tvorbo nefotosintetskih barvil, medtem ko je manjša jakost sevanja na severni strani povezana s tvorbo klorofila b in karotenoidov. Podobne povezave vzhodne in zahodne strani z vsebnostjo barvil opazimo pri planiki (Sl. 22, Sl. 23, desno zgoraj), sleču (Sl. 22, levo spodaj) in ušivcu (Sl. 22, Sl. 23, desno spodaj). Svetloba pospeši tvorbo barvil, (Sevik in sod., 2012; Wellmann, 1983, cit. po Barnes in sod.; Middleton in Teramura, 1993; Day in sod., 1992), obenem pa povzroča

fotodestrukcijo (Gonçalves in sod., 2001; Bandurski, 1949; McWilliam in Naylor, 1967), zaradi česar je vsebnost barvil rezultat obeh procesov.

Povezave so ob drugem vzorčenju manj izrazite (Sl. 23). To pomeni, da se rastline ves čas vegetacijske dobe odzivajo na okoljske razmere, vendar so pri odraslih listih spremembe zaradi okoljskih dejavnikov manjše (Gratani in Fiorentino, 1988). Iz povezav med biokemijskimi značilnostmi ter smermi neba na Sl. 22 in Sl. 23 lahko zaključimo, da so mikroklimatske razmere na različno usmerjenih pobočjih dovolj različne, da vplivajo na spremembe v merjenih funkcionalnih značilnostih, in sicer bolj v začetku rastle sezone.

## 5.2 MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI

Pri planiki (Pregl. 2) ob julijskem vzorčenju opazimo statistično značilno debelejšo listo ter zgornjo povrhnjico na severnem pobočju v primerjavi z jugom in vzhodom. Debelina lista, zgornje povrhnjice in kutikule narašča z višanjem nadmorske višine (Hovenden in Vander Schoor, 2004), temperaturne razlike zaradi različne geografske usmerjenosti so podobne tem zaradi višine. Ob drugem vzorčenju je debelina lista še vedno največja na severu, vendar statistično neznačilno. Iz Pregl. 2 je opazna sorazmerna povezava med debelino lista in debelino zgornje povrhnjice pri planiki. Spodnja povrhnjica je ob prvem vzorčenju statistično značilno najtanjša na jugu v primerjavi z vzhodom ter zahodom. Spodnja povrhnjica svetlobo, ki prodre skozi list, odbije nazaj (Smith in sod., 2007). Tanjša spodnja povrhnjica je posledica večje količine sevanja na južni strani, kjer ni potrebe po dodatnem odboju svetlobe nazaj v listno notranjost. Pri jegliču (Pregl. 2) ob prvem vzorčenju ne pride do statistično značilnih razlik pri nobenem od merjenih parametrov listne morfologije. Ob drugem vzorčenju se statistično značilno razlikuje debelina spodnje povrhnjice na jugu (je manjša) v primerjavi z zahodom (je večja). Tanjša spodnja povrhnjica manj svetlobe zbere in pošlje nazaj v mezofil, saj je količina svetlobe na južnem pobočju zadostna in ni potrebe po dodatnem odboju z notranjega roba spodnje povrhnjice.

Debelina zgornje in spodnje povrhnjice lahko variira zaradi spremenjene oblike celic iz bolj okroglih v eliptične. Zaradi spremembe v geometriji se svetloba drugače zbira v notranjosti lista. Okrogle celice svetlobo zbirajo v zgornjih plasteh, kar je značilno za tanjše liste, eliptične, ki so po dolžini daljše, pa svetlobo zbirajo globlje, in s tem povečajo presvetljenost debelejšega mezofila (Smith in sod., 1997). Debelina gobastega tkiva je pri planiki ob prvem vzorčenju najmanjša na jugu v primerjavi s severom in z zahodom, kar je posledica večje osvetljenosti južnega pobočja in manjše potrebe po dodatni razpršitvi svetlobe preko gobastega tkiva v notranjosti lista. Manjšo količino svetlobe rastline kompenzirajo s povečanjem debeline gobastega tkiva in s tem povečanjem zračnih medprostorov in njihovih stikov z vlažnimi celičnimi stenami, kar poveča difuzijo svetlobe znotraj lista (Woolley, 1971).

Pri ušivcu (Pregl. 2) je ob prvem vzorčenju na jugu statistično značilno večja debelina kutikule zaradi potrebe po povečanem odboju svetlobe stran od lista v začetku sezone, ko se listi še razvijajo. Zgornja povrhnjica je najdebelejša na zahodu v primerjavi z jugom in je povezana z debelino lista. Do statistično značilnih razlik pride še pri debelini gobastega tkiva, ki je najdebelejše na vzhodu in zahodu v primerjavi s severom in jugom. Ušivec gobasto tkivo izgrajuje na podlagi drugih dejavnikov, ne samo količine prejete svetlobe.

Iz naših rezultatov so razvidne medvrstne razlike, kar pomeni, da genetska osnova in specifične prilagoditve posameznih vrst tudi vplivajo na izgradnjo listne notranjosti in odziv rastline na okoljske razmere. Poleg tega pri izgradnji pomembno vlogo igra nižji parcialni tlak CO<sub>2</sub> zaradi višje nadmorske lege ter dostopnost vode (Hovenden in Vander Schoor, 2004; Smith in sod., 1997). Hovenden in Vander Schoor (2006) govorita o manjši sposobnosti prilagajanja zgradbe listne notranjosti glede na okoljske razmere pri rastlinah višjih nadmorskih višin, kar razloži neznačilne razlike med smermi neba ob našem drugem vzorčenju, ko so listi zgrajeni in rastline prilagojene na razmere na rastišču.

Iz RDA-diagramov, ki prikazujejo povezave med biokemijskimi in morfološkimi lastnostmi ter smermi neba (Sl. 22, Sl. 23), je opazna povezava med osojnimi, severnimi pobočji ter morfološkimi značilnostmi – predvsem z debelino gobastega tkiva, spodnje povrhnjice in celotne debeline lista pa tudi z debelino stebričastega tkiva in kutikule. Pri jegliču sta ob prvem vzorčenju (Sl. 22, levo zgoraj) debelina spodnje povrhnjice in gobastega tkiva izrazito povezani s severom, pri planiki (Sl. 22, desno zgoraj) pa je s severom izrazito povezana tudi debelina lista. Pri sleču (Sl. 22, levo spodaj) sta s severom močno povezani debelina zgornje in spodnje povrhnjice. Tudi septembra (Sl. 23, levo spodaj) je opazna povezava med severom in spodnjo povrhnjico. Pri ušivcu je ob prvem vzorčenju (Sl. 22, desno spodaj) s severom povezana le debelina spodnje povrhnjice, ob drugem vzorčenju (Sl. 23, desno spodaj) so močno povezani sever in debelina lista, gobastega in stebričastega tkiva. Sprememba oblike celic in s tem debeline tkiva je prilagoditev na svetlobne razmere, saj je od oblike celice odvisna žariščna točka zbrane svetlobe v mezofilu. Debelina in zgradba gobastega tkiva – izmenjavanje celic in zračnih medprostorov vpliva na sipljenje svetlobe v listni notranjosti, kar vpliva na pot svetlobe v notranjosti lista in fotosintezni izkoristek (Smith in sod., 1997).

### 5.3 OPTIČNE LASTNOSTI LISTOV

V vseh meritvah sta opazna vrhova odbojnosti in presevnosti (in s tem upad absorptivnosti) okrog 550 nm (zelena svetloba). Ta vrhova nista izrazita pri ušivcu (Sl. 21, spodaj), saj ušivec vsebuje relativno manj klorofila (prim. Sl. 10, Sl. 11, spodaj) in več antocianinov (Sl. 14, spodaj). V zelenem delu spektra manjši delež svetlobe odbije, zato nima na pogled zelenih listov, ampak bolj vijolične. Razlike med smermi neba po celotnih krivuljah niso izrazite, le pri ušivcu izstopa presevnost na jugu (Sl. 25, spodaj, Pregl. 3). To je lahko posledica prilagoditve na osvetljenost spodnje strani lista pri južno rastočih rastlinah. Taki listi imajo drugačno zgradbo in zato drugačne lastnosti odbojnosti in presevnosti. Woolley (1971) je ugotovil, da imajo večjo presevnost preko celotnega spektra.

Planika ima zaradi gostih dlačic na listni površini najvišjo odbojnost in najnižjo presevnost izmed vseh vzorčenih rastlin po celotnem merjenem spektru. Dlačice so, poleg kutikule, učinkovita zaščita proti prekomernem vdoru (UV-) sevanja v listno notranjost. Zaradi tega do večjih razlik v optičnih lastnostih pri planiki ne pride kljub razlikam v jakostih sevanja na različnih smereh neba.

Pri presevnosti (Pregl. 3, v sredini) in absorptivnosti (Pregl. 3, zgoraj) pri ušivcu predvsem izstopa jug z večinoma 100-% različnostjo po celotnem delu merjenega spektra v primerjavi z ostalimi smermi neba. Južna stran prejme več sevanja, zaradi česar pri ušivcu pride do večje presevnosti listov.

Pri presevnosti (Pregl. 3, sredina) listov jegliča, planike in sleča so razlike ravno tako v primerjavi z jugom, vendar izrazito v vijoličnem in modrem delu spektra ter v rdečem in infrardečem, v glavnini PAR pa ne. Razlike so lahko posledica dejstva, da vsebnost fotosintetskih barvil, ki absorbirajo v območju 400–700 nm, ostane nespremenjena, v kolikor se spremeni vsebnost UV-absorbirajočih snovi zaradi povečanega sevanja (Middleton in Teramura, 1993).

Pri absorptivnosti (Pregl. 3, zgoraj) je v vijoličnem in modrem delu izrazito manj razlik med smermi neba, saj vzorčene rastline že v osnovi učinkovito absorbirajo svetlobo krajših valovnih dolžin. Nekoliko več razlik v primerjavi z ostalimi smermi neba, posebej pri sleču na zahodu, je v PAR. To kaže na spremembe v vsebnosti fotosinteznih barvil, ki svetlobo koristijo za procese fotosinteze, hkrati pa je količina barvil in s tem povezane optične lastnosti posledica genskih predispozicij, stresnih dejavnikov (Gould, 2004) ter fotodestrukcije (Gonçalves in sod., 2001; Bandurski, 1949; McWilliam in Naylor, 1967).

V **prilogi A** (levo) so opazne povezave odbojnosti v vidnem delu spektra z biokemijskimi značilnostmi – vsebnostmi barvil. Povezave so tesne, posebej vsebnost kl a in b ter UV-absorbirajočih snovi z odbojnostjo v rumenem delu spektra. Vsebnost karotenoidov je povezana z odbojnostjo v modrem delu spektra, saj imajo v območju 400–500 nm (modra svetloba) absorpcijski vrh.

Morfološke lastnosti (**Priloga A**, desno) so izrazito povezane z absorptivnostjo, posebej debelina gobastega tkiva z absorptivnostjo v rumenem delu spektra. Spodnja povrhnjica sevanje odbije nazaj v list in debelejša, kot je, več ga odbije, manj pa absorbira in prepusti. Absorptivnost v NIR delu spektra je povezana z debelino zgornje povrhnjice, saj ima ta pomembno vlogo pri zadrževanju UV-B- sevanja in odvajanju toplote stran od lista (Smith in sod., 1997).

## 6 SKLEPI

1. *Pričakujemo razlike v funkcionalnih značilnostih rastlin, rastočih na različno usmerjenih pobočjih zaradi mikroklimatskih razlik. Te obsegajo predvsem razlike v jakosti in trajanju sevanja ter s tem razlike v temperaturnih razmerah med smermi neba.*

Ugotovili smo, da mikroklimatske razmere na različnih smereh neba značilno in kompleksno vplivajo na funkcionalne značilnosti izbranih vrst rastlin.

Najnižja povprečna temperatura v obdobju naše raziskave je bila na severni strani, najvišja pa na jugu, kar je vplivalo na manjšo dostopnost vode in bolj sušne razmere na južnem pobočju. Temperaturne razlike so posledica razlik v jakosti in trajanju sevanja različnih pobočij.

2. *Pričakujemo razlike v biokemijskih in morfoloških značilnostih ter optičnih lastnostih med izbranimi rastlinskimi vrstami.*

Iz naših rezultatov so razvidne razlike v funkcionalnih značilnostih med izbranimi alpskimi vrstami. Rastline se na mikroklimatske razmere odzovejo z vrstno specifično kombinacijo sprememb v funkcionalnih značilnostih: povečane vsebnosti barvil so odziv na večje jakosti sevanja in stresne razmere, manjše vsebnosti barvil pa posledica fotodestrukcije. Do večjih sprememb v notranji zgradbi listov pride pri mladih listih (ob julijskem vzorčenju) in kot odziv na različne svetlobne razmere. Največkrat pride do sprememb v debelini zgornje povrhnjice, gobastega in stebričastega tkiva, saj vplivajo na pot svetlobe v notranjosti lista. Razlike v optičnih lastnostih so posledica zunajceličnih struktur, vsebnosti barvil ter debeline in notranje zgradbe listov. Morfološke in biokemijske značilnosti vplivajo na različno razmerje med odbito, absorbirano in presevno svetlobo.

3. *Izbrane rastlinske vrste bodo imele na jugu večjo količino UV-absorbirajočih snovi zaradi večje količine sevanja na južnem pobočju.*

Hipotezo lahko potrdimo pri jegliču in planiki v juliju. Tvorba UV-absorbirajočih snovi ni odvisna samo od jakosti in količine svetlobe, ampak tudi od genetskih predispozicij in morfoloških značilnosti rastline. Poleg tega za alpske rastline UV-sevanje ni močan stresen dejavnik, saj so na visoke odmerke sevanja rastline prilagojene s konstitutivnimi zaščitnimi mehanizmi. Zaradi tega septembra do porasta UV-absorbirajočih snovi kljub večji jakosti sevanja na jugu ne pride.



## 7 POVZETEK

V naši raziskavi smo želeli preučiti lastnosti in odziv rastlin na drugačne razmere zaradi različne usmerjenosti rastišč. Na isti nadmorski višini, vendar na različnih pobočjih, usmerjenih na sever, jug, vzhod in zahod, smo nabrali liste izbranih vrst alpskih rastlin (lepi jeglič, planika, dlakavi sleč in vretenčasti ušivec). Po vzorčenju ob začetku in koncu rastne sezone smo v laboratoriju na listih vzorčenih rastlin izmerili biokemijske lastnosti – vsebnost klorofila a, klorofila b, karotenoidov, antocianinov in UV-absorbirajočih snovi. Izmerili smo parametre zgradbe listne notranjosti ter optične lastnosti (odbojnost, presevnost) v območju 380–830 nm in iz njih izračunali absorptivnost. Pri vzorčenih rastlinah je prišlo do razlik v vsebnosti barvil in notranji zgradbi listov ter posledično do spremenjenih optičnih lastnosti med različnimi smermi neba. Vsebnost fotosintetskih barvil (klorofilov a, b in karotenoidov) je na vzhodni strani višja zaradi večje jakosti sevanja. Povečane koncentracije klorofila a na severni strani so posledica spremenjenega razmerja zaradi fotodestrukcije, karotenoidov pa kot prilagoditev na boljši izplen svetlobe v senčnih razmerah. UV-absorbirajoče snovi in antocianini se tvorijo v odvisnosti z UV-sevanjem, pa tudi kot odgovor na stres. Ta je lahko posledica večje jakosti sevanja, manjše dostopnosti vode ali nižjih temperatur, zato so večje vsebnosti tako na severni kot tudi na južni strani vrstno specifičen odgovor na različne okoljske razmere.

Morfološke značilnosti se med smermi neba bolj razlikujejo julija, ko je izgradnja listne notranjosti bolj odvisna od okoljskih razmer. Tanjše gobasto tkivo na rastlinah južnih pobočij je posledica večje količine sevanja, kjer ni potrebe po sipanju svetlobe v notranjosti lista. Debelejša zgornja povrhnjica svetlobo bolj učinkovito prenese v globje plasti lista, zato je pri debelejših listih planike na severu opazna tudi debelejša zgornja povrhnjica. Debelejša kutikula pri ušivcu ob začetku sezone je zaščita pred sevanjem, ko je izgradnja lista v polnem teku in so fiziološki procesi bolj občutljivi.

Optične lastnosti so rezultat biokemijskih in morfoloških značilnosti. Planika z gostimi dlačicami sevanje v celotnem spektru izrazito odbija. Pri ušivcu listi niso horizontalno usmerjeni in je razmerje med prejeta svetlobo na zgornji in spodnji strani lista drugačno, kar vodi v višjo presevnost lista. Optične lastnosti pri ostalih rastlinah so statistično značilno različne predvsem na jugu v primerjavi z ostalimi stranmi neba. Pri odbojnosti in absorptivnosti ni večjih razlik v UV-delu spektra, saj so izbrane alpske rastline na visoke odmerke UV-sevanja dobro prilagojene.

RDA-analize so pokazale povezavo med manj osojnim, severnim pobočjem, in morfološkimi značilnostmi ter povezavo med prisojnimi pobočji ter biokemijskimi značilnostmi – vsebnostjo barvil. Iz tega lahko zaključimo, da manj intenzivne sevalne razmere vplivajo na zgradbo lista, medtem ko se barvila tvorijo sorazmerno z jakostjo sončnega sevanja.

Iz naših rezultatov je razvidno, da razmere na različno usmerjenih pobočjih vplivajo na funkcionalne značilnosti, odziv rastlin nanje pa je kompleksen in odvisen od več dejavnikov, kot smo jih zajeli v naši raziskavi. Za boljše razumevanje teh značilnosti in odzivov so potrebne nadaljnje raziskave, ki vključujejo meritve več abiotičnih parametrov in fizioloških procesov na rastlini.

## 8 VIRI

- Ahmad F. M., Rasul G. 2008. Prediction of soil temperature by air temperature; a case study for Faisalabad. *Pakistan Journal of Meteorology*, 5, 9: 19-27
- ARSO, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje. Arhiv meritev. 2015.  
<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/> (oktober, 2014)
- Auslander M., Nevo E., Inbar M. 2003. The effects of slope orientation on plant growth, developmental instability and susceptibility to herbivores. *Journal of Arid Environments*, 55, 3: 405–416
- Badano E. I., Cavieres L.A., Molina-Montenegro M.A., Quiroz C. L. 2005. Slope aspect influences plant association patterns in the Mediterranean matorral of central Chile. *Journal of Arid Environments*, 62, 1: 93–108
- Bandurski R. S. 1949. Vegetation and Microclimates on North and South Slopes of Cushtunk Mountain, New Jersey. *Ecological Monographs*, 23, 3: 241-270
- Barnes P.W., Flint S.D., Caldwell M.M. 1987. Photosynthesis damage and protective pigments in plants from a latitudinal arctic alpine gradient exposed to supplemental UV-B radiation in the field. *Arctic and Alpine Research*, 19, 1: 21-27
- Beale S., Appleman, D. 1971. Chlorophyll Synthesis in *Chlorella*: Regulation by Degree of Light Limitation of Growth. *Plant Physiology*, 47, 2: 230-235
- Beltrami H., Kellman L. 2003. An examination of short- and long-term air-ground temperature coupling. *Global and Planetary Change*, 38: 291–303
- Bennie J., Huntley B., Wiltshire A., Hill M.O., Baxter R. 2008. Slope, aspect and climate: Spatially explicit and implicit models of topographic microclimate in chalk grassland. *Ecological Modelling*, 216, 1: 47–59
- Billings W. D., Mooney H. A. 1968. The Ecology of Arctic and Alpine Plants. *Biological Reviews*, 43: 481–529
- Bornman J. F., Vogelmann T. C. 1991. The effect of UV-B radiation on leaf optical properties measured with fibre optics. *Journal of Experimental Botany*, 547-554
- Brown S. E., Pregitzer K. S, Reed D. D., Burton A. J. 2000. Predicting Daily Mean Soil Temperature from Daily Mean Air Temperature in Four Northern Hardwood Forest Stands. *Forest Science*, 46, 2: 297-301

- Caldwell M. M. 1968. Solar Ultraviolet Radiation as an Ecological Factor for Alpine Plants. *Ecological Monographs*, 38, 3: 243-268
- Caldwell M., Teramura A., Tevini M., Bornman J., Björn L., Kulandaivelu G. 1995. Effects of Increased Solar Ultraviolet Radiation on Terrestrial Plants. *Ambio*, 24, 3: 166-173
- Cantlon J. E. 1953. Vegetation and Microclimates on North and South Slopes of Cushtunk Mountain, New Jersey. *Ecological Monographs*, 23: 241–270
- Carpenter C. 2005. The Environmental Control of Plant Species Density on a Himalayan Elevation Gradient. *Journal of Biogeography*, 32, 6: 999-1018
- Day T.A., Vogelmann T.C., DeLucia E.H. 1992. Are some plant life forms more effective than others in screening out ultra violet-B radiation? *Oecologia*, 92, 4: 513-519
- Day T. A., Demchik S. M. 1995. Ultraviolet-B radiation screening effectiveness of reproductive organs in *Hesperis matronalis*. *Environmental and Experimental Botany*, 36, 4: 447-454
- De Carvalho Gonçalves J. F., Marengo R. A., Vieira G. 2001. Concentration of photosynthetic pigments and Chlorophyll fluorescence of mahogany and tonka bean under two light environments. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 13, 2:149-157
- Delany M. 1953. Studies on the Microclimate of Calluna Heathland. *Journal of Animal Ecology*, 22, 2: 227-239
- D'Odorico P., He Y., Collins S., De Wekker S. F. J., Engel V., Fuentes J. D. 2013. Vegetation–microclimate feedbacks in woodland–grassland ecotones. *Global Ecology and Biogeography*, 22: 364–379
- Farji-Brener A. G., Chinchilla F. A., Magrach A., Romero V., Ríos M., Velilla M., Serrano J. M., Amador-Vargas S. 2009. Slope Orientation Enhances the Nurse Effect of a Paramo Shrub, *Hypericum Irazuense* (Hypericaceae) in Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology*, 25, 3: 331-35
- Geiger R. 1965. *The Climate Near the Ground*. Cambridge, Harvard University Press: 611 str.
- Gong X., Brueck H., Giese K. M., Zhang L., Sattelmacher B., Lin S. 2008. Slope aspect has effects on productivity and species composition of hilly grassland in the Xilin River Basin, Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Environments*, 72, 4: 483–493

- Gould K.S. 2004. Nature's Swiss Army Knife: The Diverse Protective Roles of Anthocyanins in Leaves. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 5: 314–320
- Gratani L., Fiorentino E. 1988. Changes of chlorophyll content in growing and adult leaves: daily rhythm in *Quercus ilex* L. *Bulletin De La Société Royale De Botanique De Belgique*, 121, 1: 87-93
- Hazrati S., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Modarres-Sanavy S. A. M., Mokhtassi-Bidgolia A., Nicola S. 2016. Effects of water stress and light intensity on chlorophyll fluorescence parameters and pigments of *Aloe vera* L. *Plant Physiology and Biochemistry*, 106: 141-148
- Hogewoning S.W, Wientjes E., Douwstra P., Trouwborst G., van Leperen W., Croce R., Harbinson J. 2012. Photosynthetic Quantum Yield Dynamics: From Photosystems to Leaves. *The Plant Cell*, 24, 5: 1921-1935
- Holland P. G., Steyn D. G. 1975. Vegetational Responses to Latitudinal Variations in Slope Angle and Aspect. *Journal of Biogeography*, 2, 3:179-183
- Hovenden M. J., Vander Schoor J. K. 2004. Nature vs Nurture in the Leaf Morphology of Southern Beech, *Nothofagus cunninghamii* (Nothofagaceae). *The New Phytologist*, 161, 2: 585-594
- Hovenden M. J., Vander Schoor J. K. 2006. The Response of Leaf Morphology to Irradiance Depends on Altitude of Origin in *Nothofagus cunninghamii*. *The New Phytologist*, 169, 2: 291-297
- Illa E., Carrillo E., Ninot J. M. 2006. Patterns of plant traits in Pyrenean alpine vegetation. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 201, 7: 528–546
- Iogna P. A., Bucci S. J., Scholz F. G., Goldstein G. 2011. Water relations and hydraulic architecture of two Patagonian steppe shrubs: Effect of slope orientation and microclimate, *Journal of Arid Environments*, 75, 9: 763-772
- Islam K. I., Khan A., Islam T. 2015. Correlation between Atmospheric Temperature and Soil Temperature: A Case Study for Dhaka, Bangladesh. *Atmospheric and Climate Sciences*, 5: 200-208
- Joesting H. M., Sprague M. O., Smith W. K. 2012. Seasonal and diurnal leaf orientation, bifacial sunlight incidence, and leaf structure in the sand dune herb *Hydrocotyle bonariensis*. *Environmental and Experimental Botany*, 75, 1: 195–203
- Kearney M. R., Isaac A. P., Porter W. P. 2014. Global estimates of hourly microclimate based on long-term monthly climate averages. *Scientific Data*, 1, 140006

- Khare M., Guruprasad K. N. 1993. UV-B-induced anthocyanin synthesis in maize regulated by FMN and inhibitors of FMN photoreactions. *Plant Science*, 91, 1: 1–5
- Kirchner M., Fegg W., Römmelt H., Leuchner M., Ries L., Zimmermann R., Michalke B., Wallasch M., Maguhn J., Faus-Kessler T., Jakobi G. 2013. Nitrogen deposition along differently exposed slopes in the Bavarian Alps. *Science of The Total Environment*, 470–471, 1: 895–906
- Körner C. 2003. *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. 2. izd. New York, Springer: 344 str.
- Lepš J., Šmilauer P. 2003. *Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO™*. 1. izd. New York, Cambridge University Press: 269 str.
- Lichtenthaler H.K., Buschmann C. 2001. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. F4.3.1-F4.3.8
- Lichtenthaler H. K., Ač A., Marek M. V., Kalina J., Urban O. 2007. Differences in pigment composition, photosynthetic rates and chlorophyll fluorescence images of sun and shade leaves of four tree species. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45, 8: 577–588
- Lippert W. 1987. *Alpsko cvetje*. Ljubljana, Cankarjeva založba: 254 str.
- Malavasi U. C., Malavasi M. M. 1999. Leaf characteristics and chlorophyll concentration of *Schyzolobium parahybum* and *Hymenaea stilbocarpa* seedlings grown in different light regimes. *Tree Physiology*, 21: 701–703
- Mårena I. E., Karki S., Prajapati C., Yadav R. K., Shrestha B. B. 2015. Facing north or south: Does slope aspect impact forest stand characteristics and soil properties in a semiarid trans-Himalayan valley? *Journal of Arid Environments*, 121: 112–123
- Martin C. E. 1980. Chlorophyll a/b Ratios of Eleven North Carolina Mosses. *The Bryologist*, 83, 1: 84-87
- Martinčič A., Wraber T., Jogan N. in sod. 2007. *Mala flora Slovenije. Ključ za določanje praprotnic in semenk*. 4. izd. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 967 str.
- McWilliam J. R., A.W. Naylor. 1967. Temperature and Plant Adaptation. I. Interaction of Temperature and Light in the Synthesis of Chlorophyll in Corn. *Plant Physiology*, 42, 12: 1711-1715

- Middleton E. M., Teramura A. H. 1993. The Role of Flavonol Glycosides and Carotenoids in Protecting Soybean from Ultraviolet-B Damage. *Plant Physiology*, 103, 3: 741-752
- Nadler K., Granick S. 1970. Controls on Chlorophyll Synthesis in Barley. *Plant Physiology*, 46, 2: 240-246
- Nobel P. S., Linton M. J. 1997. Frequencies, Microclimate and Root Properties for Three Codominant Perennials in the Northwestern Sonoran Desert on North-vs.South-facing Slopes. *Annals of Botany*, 80, 6: 731-739
- Nock C. A., Vogt R. J., Beisner B. E. 2016. Functional Traits, eLS: 8 str.
- Ohtzuka, T., Ito H., Tanaka A. 1997. Conversion of Chlorophyll b to Chlorophyll a and the Assembly of Chlorophyll with Apoproteins by Isolated Chloroplasts. *Plant Physiology*, 113: 137-147
- Park Y. M. 2013. Comparative Leaf Characteristics of *Quercus Mongolica* and *Rhododendron Schilippenbachii* Plants Inhabiting at South- and North- Facing Slopes around Mountain Ridge. *Journal of Environmental Science International*, 22, 10: 1345-1351
- Robberecht R., Caldwell M. M. 1983. Protective mechanisms and acclimation to solar ultraviolet-B radiation in *Oenothera stricta*. *Plant, Cell & Environment*, 6: 477-485
- Robberecht R., Caldwell M. M. 1978. Leaf epidermal transmittance of ultraviolet radiation and its implications for plant sensitivity to ultraviolet-radiation induced injury. *Oecologia*, 32, 3: 277-287
- Sevik H., Guney D., Karakas H., Aktar G. 2012. Change to amount of chlorophyll on leaves depend on insolation in some landscape plants. *International Journal of Environmental Sciences*, 3, 3: 1057-1064
- Sidari M., Ronzello G., Vecchio G., Muscolo A. 2008. Influence of slope aspects on soil chemical and biochemical properties in a *Pinus laricio* forest ecosystem of Aspromonte (Southern Italy). *European journal of soil biology*, 44: 364-372
- Smith W. K., Nobel P. S. 1978. Influence of irradiation, soil water potential, and leaf temperature on leaf morphology of a desert broadleaf, *Encelia farinosa* Gray (Compositae). *American Journal of Botany*, 65, 4: 429-432
- Smith W., Bell D., Shepherd K. 1998. Associations between Leaf Structure, Orientation, and Sunlight Exposure in Five Western Australian Communities. *American Journal of Botany*, 85, 1: 56-63

- Smith W., Vogelmann T., DeLucia E., Bell D., Shepherd K. 1997. Leaf Form and Photosynthesis: Do leaf structure and orientation interact to regulate internal light and carbon dioxide? *BioScience*, 47, 11: 785-793
- Šircelj H. 2008. Karotenoidi v fotosinteznem aparatu in odziv na stres. *Acta agriculturae Slovenica*, 91, 1: 271 - 282
- Tieszen L. 1970. Comparisons of Chlorophyll Content and Leaf Structure in Arctic and Alpine Grasses. *The American Midland Naturalist*, 83, 1: 238-253
- Tomlinson G. H. 1993. A possible mechanism relating increased soil temperature to forest decline. *Water, Air, Soil Pollution*, 66: 365-380
- Tsilingiridis G., Papakostas K. 2014. Investigating the relationship between air and ground temperature variations in shallow depths in northern Greece. *Energy*, 73: 1007-1016
- Violle C., Navas M-L., Vile D., Kazakou E., Fortunel C., Hummel I., Garnier E. 2007. Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116, 5: 882-892
- Wellmann E. 1983. UV radiation in photomorphogenesis. V: *Encyclopedia of Plant Physiology*. Shropshire W. Jr., Mohr H. (ur.). Vol. 16B. Photomorphogenesis. Berlin, Springer-Verlag: 745-756
- Woolley J. T. 1971. Reflectance and Transmittance of Light by Leaves. *Plant Physiology*, 47, 5: 656-662
- Wundram D., Pape R., Löffler J. 2010. Alpine Soil Temperature Variability at Multiple Scales. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 42, 1:117-128
- Xu M., Qi Y., Chen J., Song B. 2004. Scale-Dependent Relationships between Landscape Structure and Microclimate. *Plant Ecology*, 173, 1: 39-57
- Zhao T., Li J., Zhang X., Zhao N., Gao Y. 2011. Photosynthetic and morphological characters of *Caragana microphylla* in different slope aspects and positions. *Acta Ecologica Sinica*, 31, 3: 163–168



Zhou Y., Singh B. R. 2004. Effect of Light on Anthocyanin Levels in Submerged, Harvested Cranberry Fruit. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 5: 259–263

Ziska L. H., Teramura A. H., Sullivan J. H. 1992. Physiological Sensitivity of Plants Along an Elevational Gradient to UV-B Radiation. *American Journal of Botany*, 79, 8: 863-871

## ZAHVALA

Hvala mentorici, doc. dr. Tadeji Trošt Sedej, za pomoč in vse nasvete pri načrtovanju in izvedbi raziskovalnega dela. Hvala za popravke in komentarje, ki so bili nepogrešljivi pri analiziranju rezultatov in pri pisanju dela.

Hvala Draganu Abramcu, dipl. biol., za tehnično pomoč pri izvedbi analiz in reševanju zagat z inštrumenti in tehnologijo.

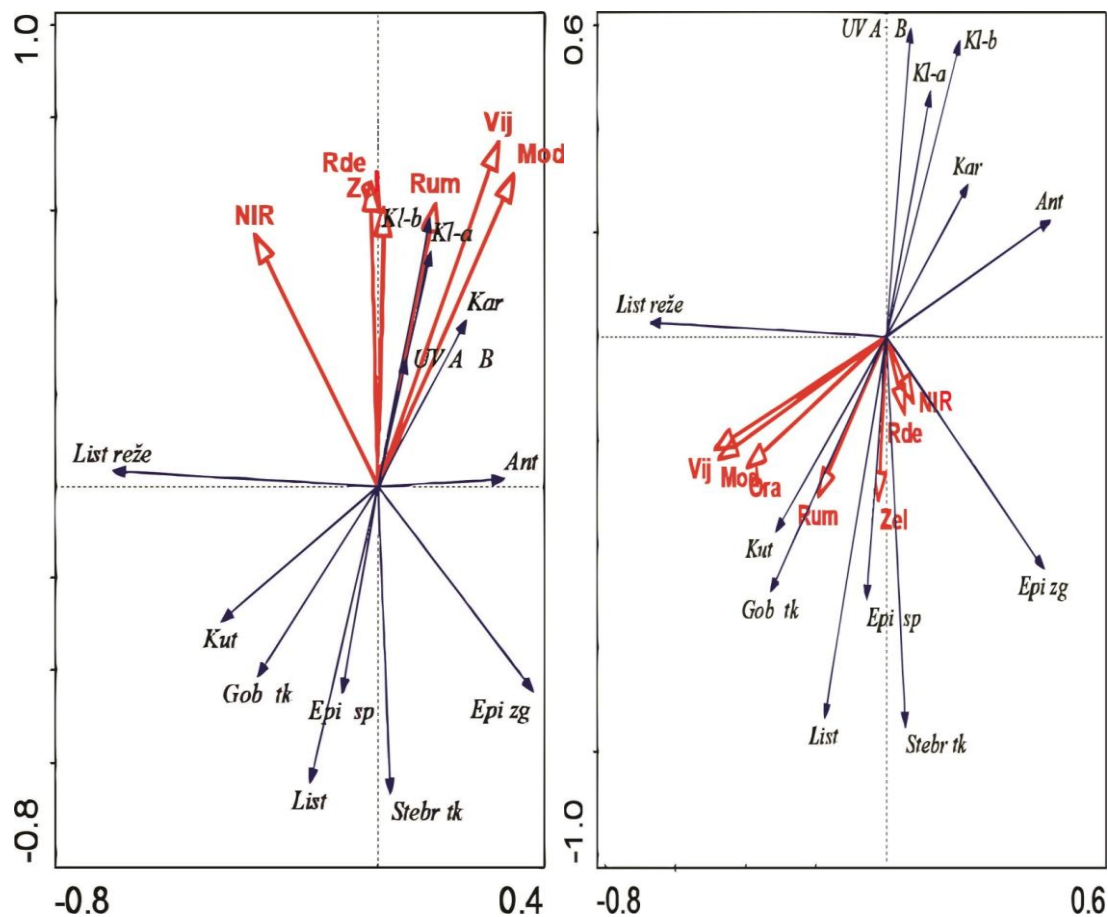
Hvala možu Blažu za dvakratno spremstvo po brezpotjih Bele glave, za pomoč pri terenskem in računalniškem delu, za mnenja in spodbudne besede.

Prav tako hvala mojim domačim – očetu, mami in sestri - za spremstvo in pomoč na terenu ob drugem vzorčenju. Predvsem pa se vam zahvaljujem za podporo, ki ste mi jo nudili v času študija in mi jo še nudite vedno in povsod.

## PRILOGE

### PRILOGA A

RDA morfoloških in biokemijskih parametrov v povezavi z optičnimi lastnostmi



**Slika A:** RDA: morfološke in biokemijske lastnosti v korelaciji z odbojnostjo (levo) in absorptivnostjo (desno) ob septembrskem vzorčenju. Kl-a – klorofil a, Kl-b – klorofil b, Kar – karotenoidi, Ant – antocianini, UVA+B – UV-absorbirajoče snovi, List – debelina lista, kut – debelina kutikule, EpiZg – debelina zgornje povrhnjice, StebrTk – debelina stebričastega tkiva, GobTk – debelina gobastega tkiva, EpiSp – debelina spodnje povrhnjice. modre puščice; Vij – vijolična sv. (380–430 nm), Mod – modra sv. (430–520 nm), Zel – zelena sv. (520–565 nm), Rum – rumena sv. (565–590 nm), Ora – oranžna sv. (590–625 nm), Rde – rdeča sv. (625–740 nm), NIR – bližnja infrardeča sv. (740–830 nm).