

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Anja ŠTULAR

**OPTIČNE LASTNOSTI VODNIH IN ZRAČNIH
LISTOV VODNE METE IN VELIKE ZLATICE**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Anja ŠTULAR

**OPTIČNE LASTNOSTI VODNIH IN ZRAČNIH LISTOV
VODNE METE IN VELIKE ZLATICE**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**LEAF OPTICAL PROPERTIES OF AQUATIC AND AERIAL
LEAVES OF SPECIES *Mentha aquatica* AND *Ranunculus lingua***

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2015

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija biologije na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Delo je potekalo na terenu na območju Cerkniškega jezera in v laboratoriju Katedre za ekologijo in varstvo okolja na Oddelku za biologijo Biotehniške fakultete v Ljubljani. Študijska komisija Oddelka za biologijo je 12. oktobra 2012 odobrila predlagano temo diplomske naloge z naslovom Optične lastnosti vodnih in zračnih listov vodne mete (*Mentha aquatica*) in velike zlatice (*Ranunculus lingua*). Za mentorico je imenovala prof. dr. Alenko Gaberščik, za recenzentko pa prof. dr. Katarina Vogel Mikuš.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: doc. dr. Aleš KLADNIK

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Član: prof. dr. Alenka GABERŠČIK

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Član: prof. dr. Katarina VOGEL MIKUŠ

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Datum zagovora:

Podpisana izjavljam, da je naloga rezultat lastnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, 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.

Anja Štular

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dn

DK **UDK 581.5:636.926(043.2)=163.6**KG Cerkniško jezero/amfibijske rastline/odbojnost/presevnost/*Mentha aquatica*/
Ranunculus lingua

AV ŠTULAR, Anja

SA GABERŠČIK, Alenka (mentor)

KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101

ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

LI 2015

IN OPTIČNE LASTNOSTI VODNIH IN ZRAČNIH LISTOV VODNE METE IN
VELIKE ZLATICE

TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)

OP III, 46 str, 27 sl., 42 vir.

IJ sl

JI sl/en

AI Raziskali smo spektralne lastnosti listov v povezavi z njihovo biokemično vsebino in anatomsko strukturo. Za preučevanje smo izbrali dve amfibijski vrsti vodno meto (*Mentha aquatica*) in veliko zlatico (*Ranunculus lingua*). Analize so obsegale pregled njihovih optičnih, anatomskih, morfoloških in biokemijskih lastnosti. Odbojnost in presevnost smo izmerili v spektralnem območju od 280 do 887 nm. Izmerili smo specifično listno površino, debelino listov, debelino stebričastega in gobastega tkiva, debelino spodnje in zgornje povrhnjice ter kutikul, dolžino listnih rež in gostoto trihomov. Prav tako smo določili tudi vsebnost barvil in UV absorbirajočih snovi. Ugotovili smo, da se vodni listi od zračnih razlikujejo po morfoloških, anatomskih in biokemijskih lastnostih. Rezultati so prav tako pokazali, da so si vodni oziroma zračni listi obeh vrst med seboj bolj podobni, kot vodni in zračni listi znotraj ene vrste. Domnevali smo, da so razlike v morfologiji, anatomiji in biokemiji listov posledica različnosti vodnega in kopnega okolja. Spektri odbojnosti in presevnosti so bili pri različnih listih in vrstah različni. Rezultati so potrdili tudi veliko fenotipsko plastičnost obeh vrst.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn

DC **UDK 581.5:636.926(043.2)=163.6**CX lake Cerknica/amphibious plant/reflectance/transmittance/*Mentha aquatica*/
Ranunculus lingua

AU ŠTULAR, Anja

AA GABERŠČIK, Alenka (supervisor)

PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology

PY 2015

TI LEAF OPTICAL PROPERTIES OF AQUATIC AND AERIAL LEAVES OF
SPECIES *Mentha aquatica* AND *Ranunculus lingua*

DT Graduation Thesis (University studies)

NO IV, 46 p, 27 fig., 42 ref.

LA sl

AL sl/en

AB We studied spectral properties of leaves in relation to biochemical and anatomical properties. For research work we used two amphibious plants *Mentha aquatica* and *Ranunculus lingua*. Analysis included optical, morphological, anatomical and biochemical properties. Reflectance and transmittance were measured in spectral range from 280 to 887 nm. We determined specific leaf area, thickness of leaves, palisade and spongy tissue, thickness of lower and upper epidermis, thickness of cuticles, size of stomata and density of trichomes. We also determined the contents of pigments and UV-absorbing compounds. We concluded that aquatic leaves differed from terrestrial leaves according to morphological, anatomical and biochemical properties. The results showed that aquatic leaves of both species are more alike in comparison to aquatic and terrestrial leaves within one species. We presumed that differences in morphology, anatomy and biochemistry were a consequence of differences between aquatic and terrestrial environment. Reflectance and transmittance spectra among species and types of leaves were different. The results confirmed high phenotypic plasticity of studied plants.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO SLIK	VII
1 UVOD	1
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 CERKNIŠKO POLJE IN CERKNIŠKO JEZERO	3
2.2 CERKNIŠKO JEZERO KOT HABITAT	4
2.3 AMFIBIJSKI ZNAČAJ	5
2.4 SVETLOBA	6
2.5 SVETLOBA NA KOPNEM IN V VODI	6
2.6 POT SVETLOBE V RASTLINI	7
2.7 PIGMENTI	8
2.7.1 Klorofili	8
2.7.2 Karotenoidi	8
2.7.3 Antociani	8
2.8 STRES KOT POSLEDICA SPREMINJAJOČEGA OKOLJA	9
2.9 OPTIČNE LASTNOSTI	10
2.9.1 Odbojnost	10
2.9.2 Presevnost	10
3 MATERIAL IN METODE	11
3.1 MESTO VZORČENJA	11
3.2 RAZISKOVANE VRSTE	11
3.3 NABIRANJE MATERIALA	11
3.4 MERJENJE ODBOJNOSTI IN PRESEVNOSTI	12
3.5 ANATOMSKE IN MORFOLOŠKE ANALIZE	13
3.5.1 Specifična listna površina (SLA)	13
3.5.2 Število, velikost listnih rež in trihomov	13
3.5.3 Zgradba lista	13
3.6 BIOKEMIJSKE ANALIZE	14
3.6.1 Klorofili in karotenoidi	14
3.6.2 Antociani	15
3.6.3 UV absorbirajoče snovi	15
3.7 STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV	16
4 REZULTATI	16
4.1 OPTIČNE LASTNOSTI LISTOV	16

4.1.1	ODBOJNOST	16
4.1.2	PRESEVNOST	18
4.2	ANATOMSKE ZNAČILNOSTI.....	19
4.2.1	SLA (specifična listna površina).....	19
4.2.2	DEBELINA LISTA.....	20
4.2.3	DEBELINA KUTIKULE	21
4.2.4	DEBELINA POVRHNJICE	23
4.2.5	DEBELINA STEBRIČASTEGA TKIVA.....	24
4.2.6	DEBELINA GOBASTEGA TKIVA	25
4.2.7	DOLŽINA LISTNIH REŽ.....	25
4.2.8	GOSTOTA TRIHOMOV	26
4.3	BIOKEMIJSKE ANALIZE.....	28
4.3.1	BARVILA.....	28
4.3.1.1	Klorofil <i>a</i>	28
4.3.1.2	Klorofil <i>b</i>	29
4.3.1.3	KAROTENOIDI.....	31
4.3.1.4	ANTOCIANI	32
4.3.2	UV ABSORBIRAJOČE SNOVI	34
4.3.2.1	UV A ABSORBIRAJOČE SNOVI.....	34
4.3.2.2	UV B ABSORBIRAJOČE SNOVI	35
4.4	MEDSEBOJNA PRIMERJAVA LISTOV OBEH VRST	37
5	RAZPRAVA.....	39
6	VIRI.....	43
	ZAHVALA	

KAZALO GRAFOV

Slika 1: Primerjava odbojnosti zračnih in vodnih listov vodne mete (<i>Mentha aquatica</i>)....	17
Slika 2: Primerjava odbojnosti zračnih in vodnih listov velike zlatice (<i>Ranunculus lingua</i>)	17
Slika 3: Primerjava presevnosti zračnih in vodnih listov vodne mete (<i>Mentha aquatica</i>). .	18
Slika 4: Primerjava presevnosti zračnih in vodnih listov velike zlatice (<i>Ranunculus lingua</i>).	19
Slika 5: Primerjava specifične listne površine (SLA) pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice.....	20
Slika 6: Primerjava debeline zračnih in vodnih listov vodne mete in velike zlatice	21
Slika 7: Primerjava debeline spodnje kutikule pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice	22
Slika 8: Primerjava debeline zgornje kutikule pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice	22
Slika 9: Primerjava debeline spodnje povrhnjice pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice	23
Slika 10 : Primerjava debeline zgornje povrhnjice pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice	23
Slika 11: Primerjava debeline stebričastega tkiva pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice	24
Slika 12: Primerjava debeline gobastega tkiva pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice	25
Slika 13: : Primerjava dolžin listnih rež pri zračnih listih vodne mete (<i>Mentha aquatica</i>) in velike zlatice (<i>Ranunculus lingua</i>) za spodnjo in zgornjo povrhnjico.....	26
Slika 14: Gostota trihomov pri zračnih listih vodne mete (<i>Mentha aquatica</i>) in velike zlatice (<i>Ranunculus lingua</i>).....	27
Slika 15: Primerjava vsebnosti klorofila <i>a</i> v mg na suho maso rastlinskega materiala pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice.....	28
Slika 16: Primerjava vsebnosti klorofila <i>a</i> v mg na površino rastlinskega materiala merjeno v cm ² med zračnimi in vodnimi listi vrst <i>Mentha aquatica</i> in <i>Ranunculus lingua</i>	29

Slika 17: Vsebnost klorofila <i>b</i> v mg na g rastlinskega materiala	30
Slika 18: Primerjava vsebnosti klorofila <i>b</i> v mg na površino rastlinskega materiala merjeno v cm ² pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice	30
Slika 19: Vsebnost karotenoidov v mg na suho maso rastlinskega materiala pri zračnih in vodnih listih vrst vodna meta in velika zlatica	31
Slika 20: Vsebnost karotenoidov v mg na površino rastlinskega materiala merjeno v cm ² pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice	32
Slika 21: Vsebnost antocianov izražena v relativnih enotah.....	33
Slika 22: Vsebnost antocianov izražena v relativnih enotah.....	33
Slika 23: Vsebnost UV A absorbirajočih snovi izražena v relativnih enotah	34
Slika 24: Vsebnost UV A absorbirajočih snovi izražena v relativnih enotah	35
Slika 25: Vsebnost UV B absorbirajočih snovi izražena v relativnih enotah	36
Slika 26: Vsebnost UV B absorbirajočih snovi je izražena v relativnih enotah.....	37
Slika 27: Dendrogram različnosti vrst <i>Mentha aquatica</i> in <i>Ranunculus lingua</i>	39

1 UVOD

Flora Cerkniškega jezera na občasno poplavljenih območjih ali na obrobjih poplav je izredno pestra. Vzrok leži v veliki ekološki pestrosti biotopov. Jezero ima specifični vodni režim, za katerega je značilno, ne povsem pravilno izmenjevanje akvatične in terestrične faze. Do njunega izmenjevanja lahko pride tudi večkrat v letu. Razmere na jezeru tako predstavljajo skoraj optimalne pogoje za uspevanje amfibijskih vrst (Martinčič, 2002). Le te se namreč uspešno zoperstavijo variabilnim vodnim režimom (Šraj Kržič in Gaberščik, 2005). K pogojem, ki omogočajo razmere za njihovo uspevanje moramo prišteti še tla, ki tudi v terestričnem obdobju vsebujejo dovolj vode (Martinčič, 2002). Posledično je zastopanost amfibijskih rastlin na jezeru zelo velika.

Tako smo se odločili, da preučimo in med seboj primerjamo amfibijski vrsti: vodno meto (*Mentha aquatica*) in veliko zlatico (*Ranunculus lingua*). Na jezeru smo nabrali 10 primerkov kopne in 10 primerkov vodne oblike vsake vrste. Analizirali in izmerili smo njune optične, anatomske, morfološke in biokemijske lastnosti.

Mnoge amfibijske rastline razvijejo različne oblike listov: potopljene/plavajoče liste v vodi in zračne/kopenske liste na kopnem – so homofilične ali heterofilične. Prav tako razvijejo tudi številne prehodne oblike listov, ki omogočajo nemoteno funkcioniranje (privzem CO₂ in absorbcijo svetlobe) v kontrastnih okoljih (Gaberščik, 1993). Medtem ko so listi velike zlatice heterofilični so listi vodne mete homofilični, torej se zračni in vodni listi po morfologiji ne razlikujejo.

"Razvoj amfibijskih rastlin se prične v spomladanskem obdobju v vodi. Ko se gladina vode začne zniževati pogledajo zgornji deli rastlin iz vode; prične se razvoj kopenskih poganjkov oz. organov. V juliju, redkeje že v juniju ali v avgustu voda popolnoma odteče, prične se terestrična faza razvoja. Listi, ki so zrasli v vodnem okolju, pri večini vrst še nekaj tednov delujejo na kopnem, nato pa propadejo. Njihovo funkcijo prevzamejo novi listi, ki so nastali ob prehodu rastline na kopenski način življenja ali po njem. Ko v septembru ali kasneje ponovno nastopi akvatična faza, rastline večinoma ne propadejo, temveč so aktivne do pozne jeseni. Življenjske funkcije se odvijajo tudi, če poletna deževja začasno zalijejo jezersko površino (Martinčič, 2002)".

Amfibijske rastline več energije vlagajo v rast primerno prilagojenih asimilacijskih tkiv, saj s tem pridobijo pomembno kompetitivno prednost pred povsem vodnimi ali kopenskimi

rastlinami v spreminjajočih se okoljih (Enríquez in Sand-Jensen, 2003). Asimilacijska tkiva imajo visoko stopnjo plastičnosti.

Ker največjo površino rastlin predstavljajo listi, preko katerih se vrši izmenjava plinov in energije, so njihove optične lastnosti pomembne za razumevanje transporta fotonov znotraj rastline. Zaradi pomembnosti fotosintezne funkcije so bile predmet številnih raziskav že od sredine prejšnjega stoletja naprej (Jacquemoud in Ustin, 2001). Tudi ta naloga je kot večina študij optičnih lastnosti usmerjena na spektralne lastnosti listov (odbojnost in presevnost) v povezavi z njihovo biokemično vsebino (pigmenti, voda, suha snov...) in anatomsko strukturo.

Spektralne karakteristike odbite (reflektanca), presevne (transmitanca) ali absorbirane (absorbanca) svetlobe pripeljejo do bolj natančnega razumevanja fizioloških odzivov na rastne pogoje in rastlinske prilagoditve na okolje. Carter in Knapp (2001) sta ugotovila, da glede na to kakšne so optične lastnosti v spektralnem območju blizu 700 nm valovne dolžine lahko ocenimo koncentracijo klorofila v listu. Celo več, lahko zaznamo tudi stres rastlin. Na optične lastnosti vplivajo tudi razlike v anatomskih in biokemičnih karakteristikah različnih tipov listov.

Kot izhodišče za raziskave smo postavili naslednje hipoteze:

- za obe rastlini je značilna velika fenotipska plastičnost
- vodni listi se bodo od zračnih razlikovali po morfoloških, anatomskih in biokemijskih značilnostih
- zračni listi obeh vrst bodo med seboj bolj podobni, kot zračni in vodni listi ene vrste
- odbojni in presewni spektri različnih listov in vrst bodo različni

2 PREGLED OBJAV

2.1 CERKNIŠKO POLJE IN CERKNIŠKO JEZERO

Notranjski regijski park obsega območje občine Cerknica. "Ustanovljen je bil z namenom, da se ohranjajo, varujejo in raziskujejo naravne in kulturne vrednote tega območja (Jošt Stergaršek in sod., 2009)".

Cerkniško polje je največje kraško polje na Notranjskem. Na jugozahodni strani ga obdajajo gozdnati kraški Javorniki (Veliki Javornik, 1268 m), na severni strani pa dolomitna Slivnica (1114 m). Na jugovzhodni strani ga hribovit svet z najvišjo Križno goro (857 m) loči od višjega Loškega polja, na severozahodni strani pa nizki dolomitni preval od Rakovske uvale. Nad ravnico polja se dviga več osamelcev: na severni strani Sinja Gorica, Tabor in Perščenk, na jugovzhodni strani polja pa Otok, Goričica in podolgovat gozdni greben Drvošec (Mihevc in sod., 1999).

Na dnu Cerkniškega polja leži Cerkniško jezero, ki ga je v knjigi Slava Vojvodine Kranjske opisal sam Janez Vajkard Valvazor. Jezero namreč velja za edinstveno naravno znamenitost v svetovnem merilu in kot takšno je *locus typicus* za presihajoča jezera (Gaberščik in Urbanc-Berčič, 2002).

Nastalo je zaradi velikega presežka vode v dotoku. Razlika med največjim dotokom (210-240 m³/s) in največjim odtokom (40-90 m³/s) je namreč zelo velika. Največji dotok presega največji odtok za 120-200 m³/s (Kranjc, 2002). Vodo, ki priteka v jezero, delimo glede na njen izvor. Glede na količino vode ima jezero 80% kraških in 15% površinskih dotokov. Po drugi strani pa nima nobenega površinskega odtoka, zaježitev, ki jo napravi jezero pa je v celoti kraške narave. Tako je kljub deloma površinskemu dotoku tipično kraško presihajoče jezero (Kranjc, 1986).

Presihanje, ki je njegova glavna značilnost daje celotni pokrajini čar, saj se le ta spreminja iz dneva v dan (Stergaršek in sod., 2009). Njegova gladina niha med 546 in 552 m nadmorske višine. Ob najvišji gladini je 10,5 km dolgo, do 4,7 km široko in obsega 26 km² površine. Globina večjega dela jezera je do 3 m (Mihevc in sod., 1999). Ko pa je gladina le 5 metrov nižje ostane jezera le za slabe 3 km² (Mencinger, 2004). Ob najvišjem vodostaju jezero pokriva večji del Cerkniškega polja, suh ostaja severni del polja, ki obsega vršaj Cerkniščice, višji svet ob vznožju Slivnice (1114 m) ter severno vzhodni del polja. V času presiha, na ravnici Cerkniškega polja, kjer je bilo pred tem jezero v plitvih vijugastih strugah teče reka Stržen z svojimi pritoki proti požiralnikom na dnu ali ob severno

zahodnem robu polja. Ob jesenskem deževju se jezero prične polniti, če je zima mrzla in suha, lahko odteče ali se zmanjša, vendar se pozneje ob prvem večjem deževju ponovno hitro napolni; jezero poleti presahne (Mihevc in sod., 1999).

2.2 CERKNIŠKO JEZERO KOT HABITAT

Jezero je rezultat njegove specifične geografske lege in geologije (Gaberščik in sod., 2003). Osnovni procesi so podobni kot v ekosistemih, ki jih je Odum (1971) opredelil kot ekosistemi z nihanji vodne gladine (water fluctuating ecosystems). Presihanje in polnjenje jezera omogočajo posebne klimatske, hidrološke in geomorfološke značilnosti območja. Najpomembnejše so kraški značaj, velika količina padavin, obsežno povodje in topnost kamninske podlage. Matična kamnina je karbonat - apnenec in dolomit. Različna topnost obeh kamnin je botrovala nastanku številnih bruhalnikov, ponikev in ponorov, ki so povezani z obsežnim jamskim sistemom (Gaberščik in Urbanc-Berčič, 2002).

Je poseben ekosistem, saj ga po njegovih lastnostih ne moremo uvrstiti ne med prava jezera in ne med močvirja (Gaberščik in Urbanc-Berčič, 2002). Limnolog Evelyn G. Hutchinson (1975) v svojem delu uvršča Cerknško jezero po nastanku med jezera, ki so nastala na topni kamnini, po pojavljanju pa med občasna jezera.

Razvoj ekosistema ima velik vpliv na razvoj življenjske združbe in na spremembe do katerih pride zaradi delovanja organizmov (Gaberščik in Urbanc-Berčič, 2002). Glavni dejavniki, ki so že v preteklosti in še danes oblikujejo življenjsko združbo so predvsem nihanja vodne gladine ter izmenjevanje mokrih in suhih obdobj. S tem uravnavajo tudi pretok energije in kroženje snovi v jezeru (Martinčič in Leskovar, 2002).

Hidrološke spremembe tako vplivajo na ekosistem:

- po eni strani so gonilna sila procesov v tem ekosistemu, po drugi strani pa omejuječ dejavnik za rast in razvoj organizmov
- predstavljajo fizično motnjo, ki ekosistem ohranja na zgodnji relativno produktivni stopnji razvoja; ekosistem vzdržujejo nekje med mladostjo in zrelostjo. To stanje lahko prepoznamo kot "pulzirajoči klimaks" (Gaberščik in Urbanc-Berčič, 2002)
- zadržujejo proces sukcesije, s tem pa vzdržujejo dolgoročno stabilnost ekosistema
- redne spremembe vodne gladine z dolgimi vodnimi fazami v hladnejšem delu leta ustvarijo ugodne razmere za raznoliko biodiverzitetu (Martinčič in Leskovar, 2002)

Eutrofikacijski procesi, ki jih zaznavamo v drugih jezerih so v Cerknškem jezeru upočasnjeni s pospešeno mineralizacijo (Gaberščik in sod., 2003).

Jezero velja za ekstremno okolje saj izmenjava mokrih in sušnih obdobij ustvarja skrajne razmere, ki so najbolj prijazne rastlinam z amfibijskim značajem. Le te so na takšne razmere dobro prilagojene. Po drugi strani je ta skrajnost tudi zaščita. Zaradi nestalnih razmer do sedaj tujerodne rastlinske vrste, ki so v zadnjih desetletjih postale drugod po Sloveniji prava nadloga na jezeru niso mogle obstati. Prav tako je tudi z rastlinskimi vrstami, ki pridejo na jezero z alohtonim materialom, ki ga dovažajo za utrjevanje voznihi poti. Po nekaj letih izginejo, saj na spremembe vodostaja niso prilagojene (Gaberščik in Urbanc-Berčič, 2002).

2.3 AMFIBIJSKI ZNAČAJ

Amfibijske rastline, ki jih lahko imenujemo tudi rastline dvoživke imajo sposobnost uspevanja tako na kopnem, kot v vodi. Vodno in kopno okolje sta medija, ki se močno razlikujeta v mnogih lastnostih, ki so za uspevanje rastlin zelo pomembne. Na Cerknškem jezeru se v zelo kratkem času življenjske razmere močno spremenijo (Germ, 2002). Zato so se rastline na morfološki, anatomski in fiziološki ravni prilagodile na spremembe okoljskih razmer. Eni od prilagoditev sta nedvomno homofilija in heterofilija. Ekološko sta zelo pomembni saj rastlinam omogočata preživetje v sušnih in mokrih obdobjih, kjer vodostaj močno niha. Pri homofiliji rastline razvijejo eno vrsto listov, ki je sposobna enako uspešno fotosintetizirati v vodi in na kopnem. Pri heterofiliji rastline razvijejo dve vrsti listov, od katerih je ena vrsta sposobna fotosinteze v vodi, medtem ko druga lahko fotosintetizira na kopnem. Za rastline, ki lahko razvijejo kopne in vodne liste je značilna velika fenotipična plastičnost (Trošt Sedej, 2005). Zračni listi se od vodnih razlikujejo po številnih anatomskih in morfoloških značilnosti. Medtem, ko so vodni listi manjši in tanjši, so kopenski listi širši in debelejši. Do razlik prihaja tudi v gostoti listnih rež. Vodni imajo manjšo gostoto listnih rež ali so celo brez njih, kopni pa imajo večjo gostoto listnih rež (Momokawa, Kadono in Kudoh, 2011).

Na homofilijo oz. heterofilijo vezana je tudi prilagoditev na okoljske razmere z različnimi rastnimi oblikami ali formami. Poznamo tri različne forme: vodno potopljeno, vodno plavajočo in kopensko. Različne forme amfibijskim rastlinam omogočajo fotosintezno aktivnost kadar so popolnoma potopljene, kadar je gladina vode znižana in je večji del rastline na zraku in celo kadar je rastlina popolnoma na suhem (Trošt Sedej, 2005).

2.4 SVETLOBA

"Sončevo sevanje je primarni vir energije za sintezo organskih snovi, dovaja toploto in uravnava količino vode, ki kroži na Zemlji. S tem se ustvarjajo primerne razmere za življenje. Prilagajanje na morfološkem, biokemijskem in fiziološkem nivoju rastlinam omogoča optimalno izrabo sevanja. Tako lahko dosežejo optimalno rast, razvoj in razmnoževanje v danih svetlobnih razmerah (Trošt Sedej, 2005)".

V zgodnjem 20. stoletju so ugotovili, da ima svetloba karakteristike tako delca kot valovanja. Svetlobno valovanje je transverzalno elektromagnetno valovanje, pri katerem tako električno kot magnetno polje oscilirata pravokotno na smer širjenja valovanja. Hkrati pa tudi pravokotno drug na drugega. Svetloba ima tudi naravo delcev. Svetlobne delece imenujemo fotoni. Vsak foton vsebuje določeno količino energije, ki jo imenujemo kvantum (mno. kvanta). Energijska vsebina svetlobe ni kontinuirana, na Zemljo prihaja v obliki kvantumov – "diskretnih paketkov energije. Naše oko zazna le manjši del teh frekvenc – vidni del svetlobnega spektra. Svetloba višjih frekvenc (oz. krajših valovnih dolžin) je ultravijolično območje spektra, svetloba nižjih frekvenc (oz. daljših valovnih dolžin) je infrardeče območje spektra (Taiz in Zeiger, 2010).

2.5 SVETLOBA NA KOPNEM IN V VODI

Biosfera sprejme sončno sevanje v območju valovnih dolžin od 290 nm do približno 10^5 nm. Radiacijo pri krajših valovnih dolžinah v atmosferi absorbirata stratosferski ozon in kisik. Povprečno le 47% sončnega sevanja doseže površje zemlje. Več kot polovica sevanja je odbita nazaj v vesolje kot posledica lomljenja svetlobnih žarkov na zemljini površini in višje v atmosferi, nekaj pa je tudi absorbirajo ter razpršijo oblaki in delci suspendirani v zraku (Taiz in Zeiger, 2010).

V vodi je sevanje veliko bolj oslABLJENO kot na kopnem. Dolgovalovna termosevanja se absorbirajo v zgornjih nekaj milimetrih vodnega telesa, infrardeča sevanja v zgornjih nekaj centimetrih medtem ko UV svetloba prodre do 1 metra globine. Vidna svetloba doseže večje globine, kjer prevladuje modrozeleni somrak. Intenziteta sončnega sevanja v vodnih telesih je odvisna od večih dejavnikov: narave in moči osvetlitve nad površino vodnega telesa, količine odboja in razprševanja svetlobe na ali blizu površja vodnega telesa in od redčenja (zmanjševanja količine) svetlobe, ki prehaja skozi vodo. Z naraščajočo globino se intenziteta sevanja zmanjšuje eksponentno, saj je sončno sevanje absorbirano in razpršeno tako od topnih delcev v vodi, kot od same vode, suspendiranih delcev prsti, detrita in planktona (Larcher, 2003).

2.6 POT SVETLOBE V RASTLINI

Fotosinteza je edini proces biološke narave, ki lahko energijo Sonca, ki pride na Zemljino površje pretvori za nadaljnjo uporabo. V procesu fotosinteze se sončna energija uporabi za za sintezo kompleksnih ogljikovih spojin. Ravno površino lista svetloba lahko doseže pod različnimi koti, odvisno od časa v dnevu in orientacije lista (Larcher, 2003).

Listi so optični organi s kompleksno organizacijo tkiv. Anatomske in biokemijske značilnosti določajo razporeditev svetlobe po tkivih z različnimi fiziološkimi zahtevami po svetlobi v fotosintezi. Istočasno usklajujejo primerne nivoje izmenjave plina in vode ter dobavljanje potrebnih nutrientov zgoraj omenjenim tkivom (Lee, 2009).

Anatomija lista je specializirana za absorpcijo svetlobe. Zunanja plast celic – epidermis je prehodna za vidno svetlobo. Posamezne celice so pogosto konveksne. To jim omogoča, da se lahko obnašajo kot leče in svetlobo fokusirajo tako, da je njena intenziteta, ki doseže kloroplaste lahko nekajkrat večja od intenzitete svetlobe iz okolice. Pod epidermisom je vrhnja plast fotosinteznih celic - palisadne celice. Nekateri listi imajo več plasti celic palisadnega tkiva (1-3), saj kljub visoki vsebnosti klorofila v vrhnji plasti, veliko svetlobe prodre globlje v list. Da se učinkovitost fotosinteznih struktur znotraj palisadnih celic poveča, imajo kloroplasti visoko razmerje med površino in prostornino (Taiz in Zeiger, 2010). Poleg tega so klorofili in karotenoidi naloženi v organelih, kar vodi do učinka sita in kanaliziranja svetlobe. Absorpcija svetlobe je večja na mestih, kjer se organeli nahajajo (Lee, 2009).

Pod palisadnim tkivom se nahaja gobasti mezofil. Celice v gobastem tkivu so nepravilnih oblik in obdane z velikimi zračnimi prostori. Ti prostori ustvarjajo številne vmesne ploskve med zrakom in vodo, ki odbijajo in lomijo svetlobo. S tem usmerjajo potovanje svetlobe. Ta pojav imenujemo interfacialno sipanje svetlobe. Sipanje svetlobe je v listih zelo pomembno, saj mnogi odboji med vmesnimi ploskvami povečajo dolžino poti po kateri fotoni potujejo, s tem pa se poveča možnost za povečanje absorpcije. Dolžina poti fotona znotraj lista je zaradi teh prilagoditev 4X daljša od debeline lista (Taiz in Zeiger, 2010).

Lastnosti celic, ki prispevajo k bolj enotni absorpciji svetlobe v listu:

- lastnosti palisadnih celic dovolijo prehod svetlobe v notranost lista
- lastnosti celic gobastega mezofila omogočajo sipanje svetlobe

2.7 PIGMENTI

2.7.1 Klorofili

"Klorofili so sestavljeni iz tetrapirolovega obroča, na katerem je zaestren fitol. V obroč je vezan atom magnezija (Likar in sod., 2008)".

So specializiran zelen pigment za absorbcijo svetlobe, nahajajo se v kloroplastih. Pri višjih rastlinah je največ kloroplastov v mezofilu listov, zato je le-ta tudi fotosintezno najbolj aktivno tkivo. Ker klorofil močno absorbira v rdečem in modrem območju spektra v odbiti in prehodni svetlobi prevladuje zelena (Taiz in Zeiger 2010).

2.7.2 Karotenoidi

"Kemično gledano so tetraterpeni. Ločimo dve skupini: karotene (čisti ogljikovodiki) in ksantofile (derivati karotenov, ki vsebujejo kisik). So rumene do rdeče barve (Likar in sod., 2008)". So skupina, ki združuje več kot 600 pigmentov in so tako ena najbolj razširjenih skupin pigmentov v naravi (Cunningham in Gantt, 1998).

Karotenoidi so pomožni oz. dodatni pigmenti. Njihova funkcija je, da energijo sončne svetlobe absorbirajo in jo po mehanizmu induktivne resonance prenesejo na klorofil - natančneje na klorofil *a* (Likar in sod., 2008).

Poleg tega imajo tudi zaščitno funkcijo v primeru visokih intenzitet svetlobe. Tilakoidne membrane se lahko zaradi velike količine energije, absorbirane s pigmenti, poškodujejo, če se ta energija ne more skladiščiti.

Poleg tega imajo karotenoidi tudi funkcijo zaščite. Vzburjeno stanje klorofilov (energije v klorofilih) hitro umirijo; le ta preide nazaj v osnovno stanje. S tem preprečijo reakcijo klorofila z molekularnim kisikom, v kateri bi nastal t.i. singlet kisik (O_2). Le ta je ekstremno reaktiven, reagira z mnogimi celičnimi komponentami predvsem z lipidi in jih pri tem poškoduje. Karotenoidi v vzburjenem stanju nimajo dovolj energije, da bi tvorili singlet kisik, zato preidejo nazaj v osnovno stanje – energijo izgubijo v obliki toplote (Taiz in Zeiger, 2010).

2.7.3 Antociani

Antociane uvrščamo med pigmentne flavonoide. So vodotopni pigmenti, večinoma se nahajajo v vakuolah rastlinskih celic (Taiz in Zeiger, 2010). Njihova obarvanost je odvisna od pH okoljne raztopine. Rastlinske cvetove in plodove obarvajo rdeče, modro, rožnato,

vijolično ali rumeno. Najdemo jih tudi v listih. So brez vonja in okusa. (Likar in sod., 2008).

Zaradi svoje obarvanosti poskrbijo za vizualno privlačnost rastlin, ki pritegne oprasovalce in raznašalce semen. Nedavne raziskave pa kažejo tudi, da antociani lahko pomembno vplivajo na način, kako bo list odreagirala na zunanji stres. Njihova prisotnost povečuje toleranco na zunanje stresne okoliščine kot so: suša, UV-B sevanje in težke kovine. Prav tako povečajo zaščito pred herbivori in patogeni. Z absorpcijo prekomerne svetlobe antociani zaščitijo kloroplaste pred fotoinhibicijo in fotooksidativnim učinkom močne svetlobe (Gould, 2004). Glavna funkcija antocianov je tako obramba fotosinteznega sistema pred premočno vidno svetlobo, ultravijoličnim sevanjem in prostimi radikali (Taiz in Zeiger, 2010).

2.8 STRES KOT POSLEDICA SPREMINJAJOČEGA OKOLJA

Večina definicij stres opisuje kot opazen odklon od optimalnih razmer za življenje. Stres izzove spremembe in odzive na vseh funkcionalnih nivojih organizma. Te spremembe in odzivi so lahko samo začasni, lahko pa so trajni. Stres prekine normalno delovanje rastlin. Spremeni njihove strukture in usklajevanje različnih procesov na molekularnem, celičnem nivoju kot tudi na nivoju celotnega organizma. Restabilizacija in ohranjanje stanja organizma kljub stresu zahteva dodatno energijo. Preživetvena strategija rastlin, ki uspevajo v okoljih, ki so zelo podvržena stresu, tako ni usmerjena k maksimalni produktivnosti ampak k doseganju kompromisa med produktivnostjo in preživetjem (Larcher, 2003).

Stres kot omejitev in spodbuda vodi do razvoja bolj prilagojenih organizmov. Okoljski stres je lahko posledica premajhnega ali prevelikega vložka energije, prevelike ali premajhne količine substrata, lahko pa je tudi rezultat neprimernih in nenavadnih zunanjih vplivov.

Na Cerkniškem jezeru so rastline izpostavljene dvema vrstama stresa:

- stres kot posledica nenehnih sprememb vodne gladine (akvatična in terestrična faza)
- stres kot posledica pomanjkanja ali viška svetlobe

Amfibijskim rastlinam pri zoperstavljanju stresu koristi njihova velika fenotipska plastičnost. Fenotipska plastičnost pomeni, da je rastlina tekom določenega časa sposobna razviti več različnih oblik (npr. različni tipi listov), odvisno od trenutnih razmer. Spremembe oblike, ki nastanejo zaradi fenotipične plastičnosti so ponavadi nepovratne. Če

se okoliščine v okolju spremenijo, se razvijejo novi poganjki, prvotna rastlina, ki pa ni več prilagojena na trenutne okoliščine propade (Larcher, 2003).

2.9 OPTIČNE LASTNOSTI

Listi so kompleksne strukture, ki regulirajo sprejemanje svetlobe na večih nivojih od biofizikalne strukture do orientacije listov (Ustine in sod., 2001). Tako je tudi nivo odbojnosti in presevnosti odvisen od fizikalnih in biokemičnih struktur lista ter določa njegove optične lastnosti (Wooley, 1971, Klančnik in sod., 2014). Optične lastnosti so lahko vrstno značilne (Knapp in Carter, 1998), lahko pa tudi variirajo znotraj posamezne vrste kot posledica njihove fenotipske plastičnosti (Klančnik in sod., 2012).

2.9.1 Odbojnost

Odbojnost nam pove, koliko svetlobe je bilo odbite od površine lista. Del svetlobe, ki zapusti list je odbita svetloba od njegovega površja, drugi del pa je razpršena svetloba, ki je prišla iz notranjosti lista. Odbojnost lista je odvisna od narave njegovega površja. Na primer, če je list močno porasel z trihomi, se odbojnost znatno poveča.

V vidnem območju radiacije listi odbijejo povprečno 6-10 % svetlobe. Največkrat odbita je zelena svetloba (10-20%), najmanjkrat odbiti pa sta oranžna in rdeča svetloba (3-10%). Listi odbijejo le 3% ali manj ultravijolične svetlobe, medtem ko odbijejo kar 70% infrardeče svetlobe (Larcher, 2003). Informacija o reflektanci nam predstavlja pomoč pri detekciji stresa prav tako pa nam omogoča tudi vpogled v listno biokemijo (Gitelson in sod., 2002).

2.9.2 Presevnost

Transmitanca nam pove, koliko svetlobe je šlo skozi list, torej pove nam kolikšna je prepustnost lista. Presevnost listov je odvisna predvsem od njihove strukture in debeline. Mehki, fleksibilni listi prepuščajo 10-20% sončnega sevanja, zelo tanki listi prepuščajo celo do 40%, medtem ko tanki, vendar grobi listi prepuščajo zelo malo svetlobe (3%). Prepustnost je največja pri valovnih dolžinah kjer je tudi odbojnost visoka – to je predvsem v območju zelene in bližnje infrardeče svetlobe (Larcher, 2003).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 MESTO VZORČENJA

Cerkniško jezero

3.2 RAZISKOVANE VRSTE

Vodna meta (*Mentha aquatica*)

Uvrščamo jo v družino ustnatic (Lamiaceae). Je 20-90 cm visoka trajnica. Steblo je oglato, listi so pecljati in jajčasto suličasti ter nazobčani. Socvetja so rožnato vijoličasta, glavičasta dolga največ 6 mm in ovršna. Cvetovi so v navideznih vretencih zgornjih parov stebelnih listov.. Raste na nabrežjih voda in vlažnih travnikih v jarkih, močvirjih ter med visokim šašjem (Vreš in sod., 2014). Cveti od julija do septembra. Najdemo jo po vsej Sloveniji razen v Alpah. Rastlina močno diši. Liste vodne mete lahko uporabimo kot začimbo ali za pripravo čaja (Stergaršek in sod., 2009).

Velika zlatica (*Ranunculus lingua*)

Uvrščamo jo v družino zlatičevk (Ranunculaceae). Velika zlatica je trajnica visoka 50-100 cm. Uspeva na vlažnih krajih, ob vodah in v močvirjih, cveti od junija do avgusta. Njeno steblo je votlo in dlakavo, lahko je tudi golo. Ima dve vrsti listov: talne in stebelne. Med seboj se razlikujejo po obliki. Medtem ko so talni listi dolgopecljati, jajčasti, s srčasto bazo, so stebelni listi kratko pecljati ali sedeči podolgovato suličasti, po stebelu pa se postopoma zožujejo. Stebelni listi so celorobi ali rahlo nazobčani. Prav tako se razlikujejo po velikosti. Talni listi so dolgi do 20 cm in široki do 8 cm. Stebelni listi so manjši od talnih, dolgi so približno 15 cm in široki do 4 cm. Listne nožnice listov objemajo steblo. Za veliko zlatico so značilni več kot 2 cm široki zlatorumeni cvetovi na dolgih, pokončnih pecljih. Čašnih listov je 5 in so rumenozelene barve, medtem ko so venčni listi, ki jih je prav tako 5 zlato rumeni in bleščeči (Martinčič in sod. 2007). Zaradi izsuševanja mokrotnih zemljišč je v Srednji Evropi izgubila skoraj polovico svojih nahajališč. Najpogosteje se pojavlja v združbah visokih šašev in trstičja. Je nižinska vrsta, ki jo v Sloveniji najdemo le na nekaj nahajališčih. Vrsta je strupena (Stergaršek in sod., 2009).

3.3 NABIRANJE MATERIALA

Rastlini (vodno meto in veliko zlatico) smo nabrali 10. 5. 2011. Tako smo dobili 20 rastlin posamezne vrste – 10 vzorcev kopenske oblike in 10 vzorcev vodne oblike rastline; skupno torej 40 vzorcev. Rastline smo nabrali v sončnem vremenu. Izkopali smo jih s koreninami

vred, nato pa shranili v plastične vreče in jih odnesli v laboratorij. V vreče smo dodali manjšo količino vode, da so rastline ostale dalj časa sveže.

Kasneje istega dne smo v laboratoriji pričeli z meritvami in pripravo materiala za analize. Uporabili smo le zdrave in vitalne liste. Izmerili smo presevnost in odbojnost listov. Po končanih meritvah smo naredili preparate prereza listov ter preparate trihomov in listnih rež. Z luknjovrtom pa smo izrezali čim več (do 12) krogecv z znano površino. Zavite v alufolijo smo shranili v zamrzovalnik za kasnejše analize določanja barvil.

3.4 MERJENJE ODBOJNOSTI IN PRESEVNOSTI

Odbojnost in presevnost smo merili s prenosnim spektrofotometrom Jaz Modular Optical Sensing Suite (Ocean Optics, Inc., Dunedin, Florida, USA). Svetlobni vir UV-VIS-NIR (DH-2000, Ocean Optics, Inc., FL, USA) smo preko optičnega kabla QP600-1-SR-BX (Ocean Optics, Inc., Dunedin, Florida, USA) povezali s sfero ISP-30-6-R (Ocean Optics, Inc., FL, USA). Sfero smo preko optičnega kabla povezali s spektrofotometrom. Spektrofotometer pa smo priključili na računalnik. Meritve smo opravili še isti dan; torej v manj kot 24 urah po nabiranju. Pred samimi meritvami smo izbrane liste temeljito oprali in jih oštevilčili, da ni prišlo do zamenjav. Merili smo po en list iz vsake rastline.

Pred samimi meritvami smo spektrofotometer kalibrirali na 100% reflektanco z belo referenčno ploščico in 100% transmitanco z črno referenčno ploščico. Ti dve meritvi sta kasneje predstavljale izhodišče za izračun relativne odbojnosti in presevnosti.

Relativno odbojnost in presevnost smo izračunali kot razmerje med posameznim spektrom in referenčnim spektrom po naslednji enačbi:

$$\%T_{\lambda} = \frac{S_{\lambda} - D_{\lambda}}{R_{\lambda} - D_{\lambda}} \times 100\% \quad \dots (1)$$

Kjer je:

S_{λ} = intenziteta vzorca pri valovni dolžini λ

D_{λ} = Intenziteta teme pri valovni dolžini λ

R_{λ} = Referenčna intenziteta pri valovni dolžini λ

Meritve odbojnih in presevnih spektrov posameznih listov

Potem ko smo izmerili referenčne spektre, smo pričeli z meritvami na listih. Odbojnost smo izmerili na zgornji površini lista, za merjenje presevnosti pa smo list osvetlili od spodnje strani, nato pa na zgornji strani izmerili presevnost. Pri tem smo svetlobni vir namestili tako, da je bil le ta pravokotno na listno površino. Pri vsakem listu smo meritve opravili 2x za večjo natančnost dobljenih meritev. Merili smo v osrednjem delu lista, pri tem smo se izogibali večjih oz. glavnih žil na listih. Dobljene podatke smo urejali v računalniškem programu SpectraSuite (Ocean Optics, Inc., FL, USA). Odbojnost in presevnost smo merili v razponu od (190) 280 do 890 nm z razmakom 0,3 nm med intervali.

3.5 ANATOMSKE IN MORFOLOŠKE ANALIZE

3.5.1 Specifična listna površina (SLA)

Iz vsake rastline smo izbrali en svež list. Z luknjovrtom smo naredili izreze listov z znano površino. Premer izrezov listov mete kopnega tipa je bil 11 mm, medtem ko so premeri mete vodnega tipa, zlatice kopnega tipa in zlatice vodnega tipa bili 9 mm. Izreze listov smo zavite v alufolijo dali sušiti. Za določanje suhe mase sem uporabila iz vsakega lista po dva izreza listov. Sušili smo jih 24 ur pri temperaturi 105 °C. Potem smo jih vzeli ven iz sušilnika in jih stehali. Ker smo že pred sušenjem stehali samo alufolijo, smo tako z odštevanjem ene mase od druge dobili suho maso. Specifično listno površino (SLA) smo izračunali kot količnik med površino vzorca in njegovo suho maso [$\text{cm}^2 \text{mg}^{-1}$].

3.5.2 Število, velikost listnih rež in trihomov

Delček lista na zgornji in spodnji povrhnjici smo premazali s tanko plastjo laka in počakali, da se posuši. Nato smo list prelepili s prozornim lepilnim trakom, ki smo ga previdno odstranili in prilepili na objektno stekelce. Izmerili smo dolžino rež [μm] na zgornji in spodnji povrhnjici. Reže smo premerili na petih vidnih poljih. Če so bili pri analizirani vrsti prisotni tudi trihomi, smo naredili še odtise trihomov. Analizirali smo njihovo gostoto [cm^2]. Trihome smo prešteli ravno tako na petih vidnih poljih.

3.5.3 Zgradba lista

Iz vsake rastline smo izbrali vitalen list ter naredili prečne prereze. Prereze smo naredili na sredini lista – predel lista, kjer smo merili tudi odbojnost in presevnost. Pripravili smo poltrajne preparate v glicerolu. Za analizo preparatov smo uporabili svetlobni mikroskop

(Motic, B1 Series). Pri 400x povečavi smo izmerili debelino lista, debelino spodnje in zgornje kutikule, debelino spodnje in zgornje povrhnjice ter debelini stebričastega in gobastega tkiva. Za vsak list smo parametre izmerili na petih mestih – izogibali smo se žilam in robnim delom lista.

3.6 BIOKEMIJSKE ANALIZE

Za biokemijske analize smo uporabili rastlinski material (izrezi listov), ki smo ga prvi dan shranili v zmrzovalnik na -20 °C. Pri vseh treh analizah (klorofili in karotenoidi, antocani ter UV absorbirajoče snovi) smo material vzeli iz zmrzovalnika tik pred uporabo in jih preložili v banjico z ledom.

3.6.1 Klorofili in karotenoidi

Vsebnosti klorofilov a in b ter karotenoidov smo določali po metodi Lichtenthaler in Buschmann (2001a, 2001b). Vzorce z znano površino smo strli v terilnici, ekstrahirali v 10 mL acetona (100% (v/v) in centrifugirali (4000rpm, 4°C, 4 min) v centrifugirkah za klorofil in odčitali prostornine ekstraktov. Ekstincije smo izmerili z VIS spektrofotometrom pri valovnih dolžinah 470, 645 in 662 nm. Med samim merjenjem smo pazili, da so bile epruvete z ekstrakti večino časa v temi. Tako smo preprečili hitrejši razpad pigmentov. Vsebnosti klorofilov (Kl a+b) ter karotenoidov (Kar) smo izrazili na suho maso in površino vzorca (v formuli smo 1 ss nadomestili s P). Za izračune smo uporabili spodnje enačbe:

... (2)

$$Kl\ a\ [mg\ g^{-1}\ ss] = c_a * V / ss = (11.24 E_{662} - 2.04 E_{645}) * V / ss$$

$$Kl\ b\ [mg\ g^{-1}\ ss] = c_b * V / ss = (20.13 E_{645} - 4.19 E_{662}) * V / ss$$

$$Kar\ [mg\ g^{-1}\ ss] = (1000 E_{470} - 1.9 c_a - 63.14 c_b) * V / ss / 214$$

$c_{a,b}$ = koncentracija klorofila a, oziroma klorofila b

V = volumen ekstrakta [ml]

ss = suha masa vzorca [g]

E = ekstinkcija pri izbrani valovni dolžini

3.6.2 Antociani

Vsebnost antocianov 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)), centrifugiramo (4000 rpm, 4 °C, 4min) in odčitamo prostornine ekstraktov. Vzorce za 24 ur postavimo v hladilnik na 3-5 °C. Ekstinkcije izmerimo pri 530 nm z VIS spektrofotometrom. Vsebnost antocianov (Ant) izrazimo v relativnih enotah.

$$\text{Ant (relativna enota)} = E_{530} \cdot V \cdot \text{ss}^{-1}; \quad E_{530} \cdot V \cdot P^{-1} \quad \dots (3)$$

E_{530} - ekstinkcija pri valovni dolžini 530 nm

V - prostornina ekstrakta [mL]

ss - suha masa [g] oz. P- površina vzorca [cm²]

3.6.3 UV absorbirajoče snovi

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 stremo v terilnici, ekstrahiramo v 10 mL ekstrakcijskega medija (metanol : destilirana voda : HCl (37 %) = 79:20:1 (v/v)), nato 20 minut inkubiramo. Sledilo je centrifugiranje (4000 rpm, 10 °C, 10 min), nato smo odčitali prostornine ekstraktov. Ekstinkcije pri valovnih dolžinah od 280 do 400 nm določimo spektrofotometrično (UV/VIS spektrofotometer). Pri tem smo pazili, da smo uporabljali kvarčne kivete.

Vsebnosti UV absorbirajočih snovi smo izračunali kot integral ekstinkcijskih vrednosti od 280 do 320 nm ter 320 do 400 nm. Vsebnost UV-absorbirajočih snovi smo izrazili v relativnih enotah.

$$\text{UV abs (relativna enota)} = I \cdot V^{-1} \cdot \text{ss}^{-1}; \quad I \cdot V^{-1} \cdot P^{-1} \quad \dots (4)$$

I - integral ekstinkcijskih vrednosti v intervalu 280 - 320 nm (UV-B abs) ter 320 - 400 nm (UV-A abs)

V - prostornina ekstrakta [ml]

ss - suha masa [g] oz. P- površina vzorca [cm²]

*Integral ekstinkcijskih vrednosti je seštevek vseh dobljenih vrednosti v določenem intervalu.

3.7 STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV

Klastersko analizo smo izdelali v programu R 2.14.2, vse ostale analize pa v IBM SPSS Statistics 19.0. Dobljene rezultate za presevnost in odbojnost smo prikazali grafično v obliki črtnih grafov, za prikaz anatomskih, morfoloških in biokemijskih značilnosti smo uporabili box plote. Za box plote smo opravili še izračune povprečja, mediane in standardnega odklona. Za testiranje normalnosti podatkov smo uporabili Shapiro-Wilk-ov test. Za testiranje morfoloških in biokemijskih lastnosti smo uporabili Studentov t-test, kadar so bili podatki normalno porazdeljeni oziroma Mann-Whitney-ev test, kadar porazdelitev ni bila normalna. Zaradi večje preglednosti smo pri odbojnosti in presevnosti listov natančnost zmanjšali na približno 5 nm. Analizo odvisnosti med reflektanco in transmitanco ter posameznimi parametri listov smo opravili z Kruskal-Wallis-ovim testom. Pri klusterski analizi so bile spremenljivke predhodno z-transformirane, nato pa smo uporabili Waredovo metodo razvrščanja.

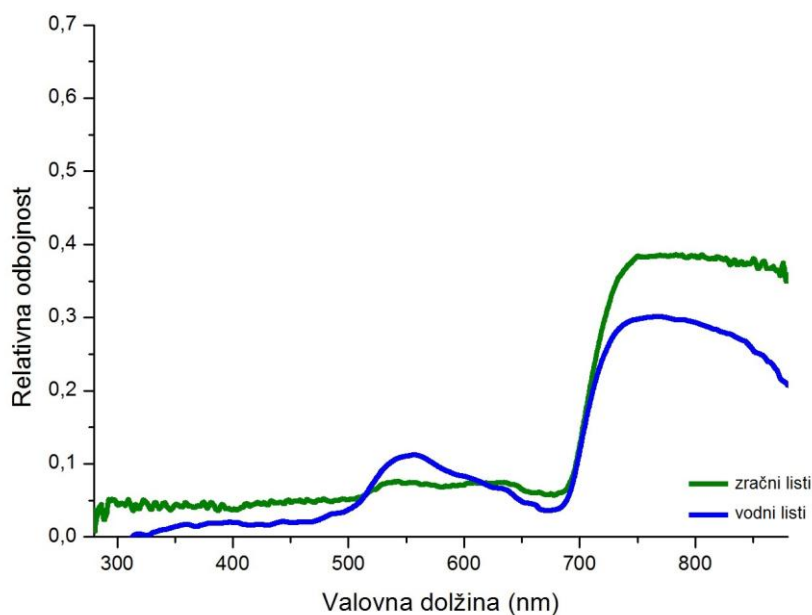
4 REZULTATI

4.1 OPTIČNE LASTNOSTI LISTOV

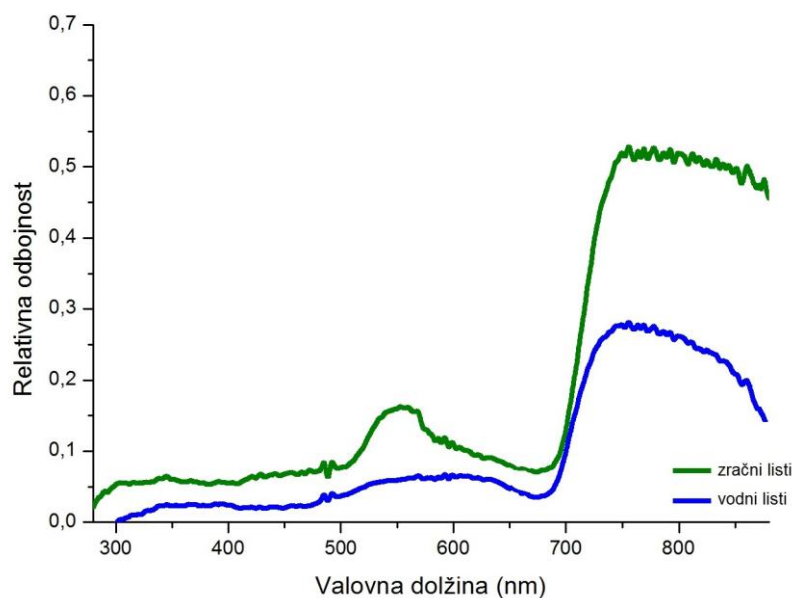
Rezultati merjenja odbojnih in presevnih spektrov so pokazali, da se le ti res razlikujejo med seboj. Razlike so opazne tako med zračnimi in vodnimi listi znotraj vrste kot med zračnimi listi različnih vrst in vodnimi listi različnih vrst.

4.1.1 ODBOJNOST

Odbojnost zračnih listov velike zlatice je bila nekoliko večja od odbojnosti vodnih listov, vendar je oblika njunih krivulj dokaj podobna (graf 1). V območju UV svetlobe je nizka (relativna odbojnost do 0,1). V vidnem spektru od 400 do 700 nm je slika podobna, izjema je manjši vrh pri zračnih listih v območju zelene svetlobe (okoli 560 nm), kjer relativna odbojnost znaša malo manj kot 0,2. V območju NIR spektra zaznamo visok porast odbojnosti. Ta je pri zračnih listih veliko večja (relativna odbojnost z vrhom pri 0,55) kot pri vodnih (vrh relativne odbojnosti pri 0,25).



Slika 1: Primerjava odbojnosti zračnih in vodnih listov vodne mete (*Mentha aquatica*)



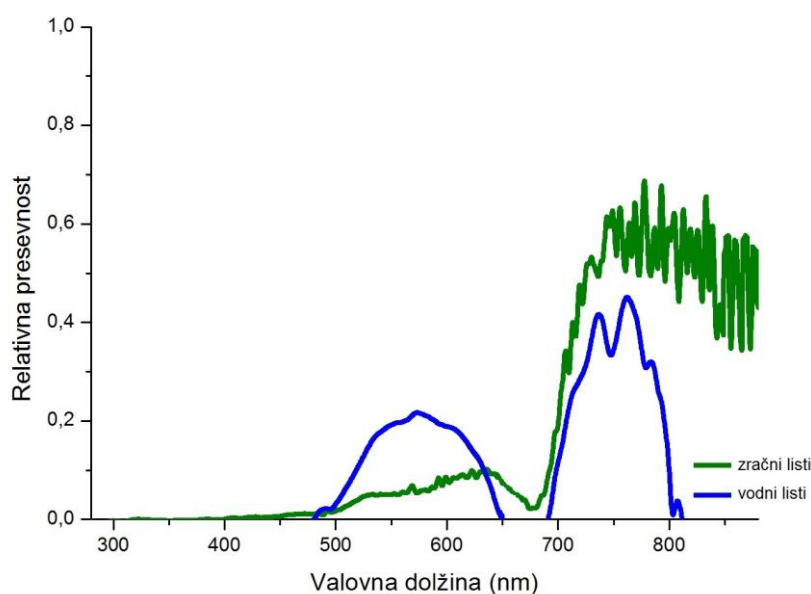
Slika 2: Primerjava odbojnosti zračnih in vodnih listov velike zlatice (*Ranunculus lingua*)

Odbojnost zračnih listov vodne mete je v območju UV spektra in del vidnega spektra (do približno 520 nm) nekoliko večja od odbojnosti vodnih listov (graf 2). Ta se spremeni v vidnem spektru valovnih dolžin približno od 520 do 630, ko je odbojnost vodnih listov

nekoliko večja od zračnih. Vrh odbojnosti vodnih listov v vidnem spektru je dosežen v območju zelene barve. Slika v območju NIR svetlobe je podobna kot pri veliki zlati. Tako pri vodnih kot zračnih listih pride do velikega porasta. Vrednosti relativne odbojnosti so pri zračnih listih nekoliko večje (okoli 0,4) kot pri vodnih (0,3).

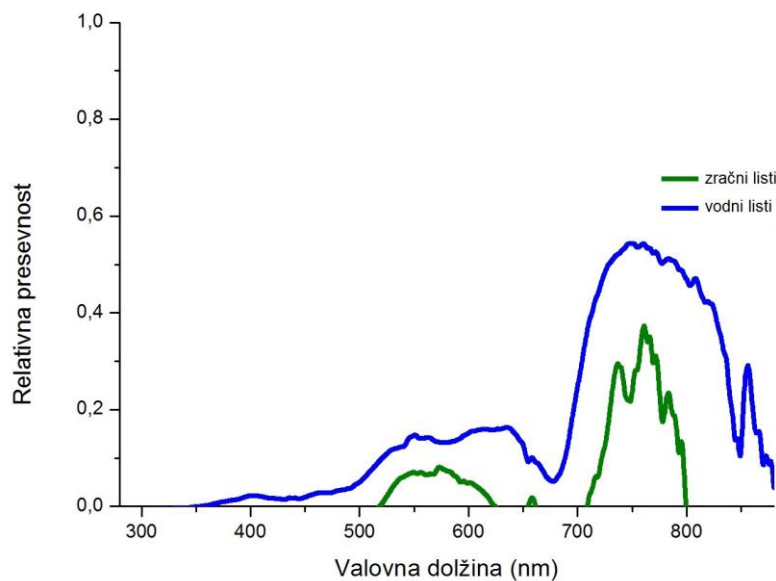
4.1.2 PRESEVNOST

Presevnost listov velike zlatice je pri zračnih listih do valovne dolžine 525 nm nična (graf 3). Nato se pojavi v vidnem spektru (525-625), v območju zelene barve doseže relativno presevnost 0,1. V preostalem vidnem spektru je ponovno nična. V NIR območju (700-800 nm) doseže vrh pri 0,4 relativne presevnosti. Pri vodnih listih je presevnost večja. Le ta se prične že pri valovni dolžini 350 nm in potem z izjemo upada pri 650 nm stalno narašča. V vidnem delu v območju zelene barve je vrednost relativne presevnosti skoraj 0,2, največjo vrednost 0,55 pa relativna presevnost doseže v območju NIR.



Slika 3: Primerjava presevnosti zračnih in vodnih listov vodne mete (*Mentha aquatica*)

Transmitanca listov vodne mete je pri zračnih listih v območju UV svetlobe, ter v vidnem spektru v območju vijolične in modre svetlobe skoraj nična (graf 4). Skozi preostali vidni spekter narašča, tik pred koncem vidnega spektra pa ponovno rahlo upade. V območju NIR (> 700) skokovito naraste do približne vrednosti relativne presevnosti 0,7. Pri vodnih listih se relativna presevnost pojavi šele v vidnem spektru, največja je v območju zelene barve. Med valovnimi dolžinami 650-690 je ni, nato v NIR območju hitro naraste.

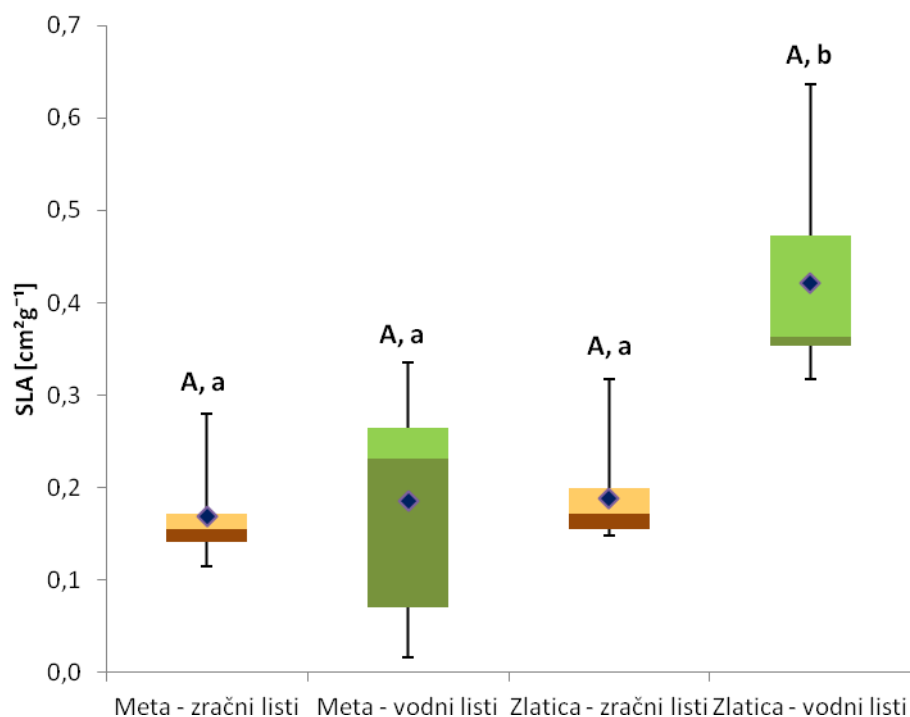


Slika 4: Primerjava presevnosti zračnih in vodnih listov velike zlatice (*Ranunculus lingua*)

4.2 ANATOMSKE ZNAČILNOSTI

4.2.1 SLA (specifična listna površina)

Največjo specifično listno površino imajo vodni listi vrste *Ranunculus lingua* (graf 5). Njeni zračni listi ter vodni in zračni listi vrste *Mentha aquatica* pa imajo nižje, vendar podobne si vrednosti. Tako je specifična listna površina vodnih in zračnih listov vrste *Mentha aquatica* podobna, pri vrsti *Ranunculus lingua* pa različna. Vrednosti zračnih listov obeh vrst so si podobne, medtem ko se vrednosti vodnih listov obeh vrst razlikujejo.

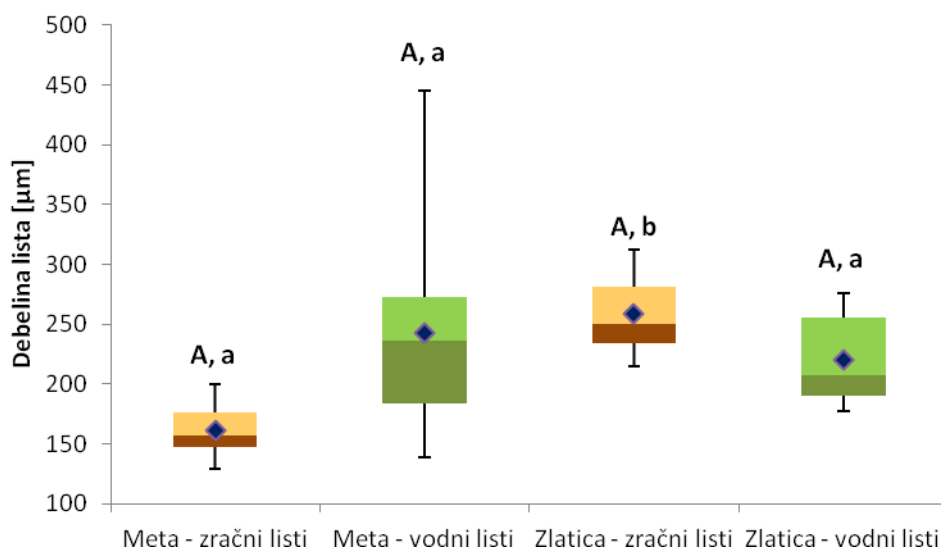


Slika 5: Primerjava specifične listne površine (SLA) pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice

Črke A, a, b, označujejo statistično značilne razlike v vrednostih SLA ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A, B označujejo razlike znotraj vrste med posameznimi tipi listov, medtem ko črke a, b označujejo razlike med istim tipom listov pri različni vrsti. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

4.2.2 DEBELINA LISTA

Debeline listov so si podobne tako znotraj posamezne vrste kot med posameznimi tipi listov (graf 6). Največ vrednosti se giblje med 50 in 300 μm .

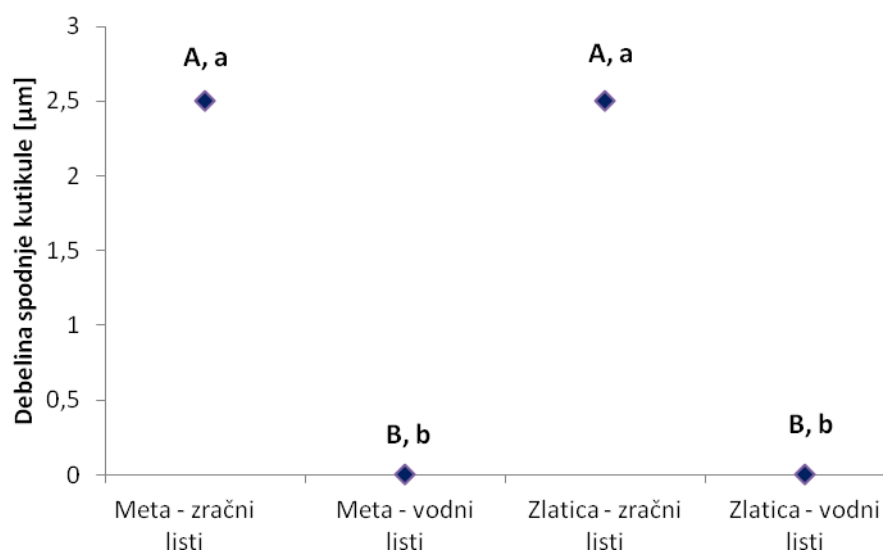


Slika 6: Primerjava debeline zračnih in vodnih listov vodne mete in velike zlatice

Črke A, a, b, označujejo statistično značilne razlike v debelini lista ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A, B označujejo razlike znotraj vrste med posameznimi tipi listov, medtem ko črke a, b označujejo razlike med istim tipom listov pri različni vrsti. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

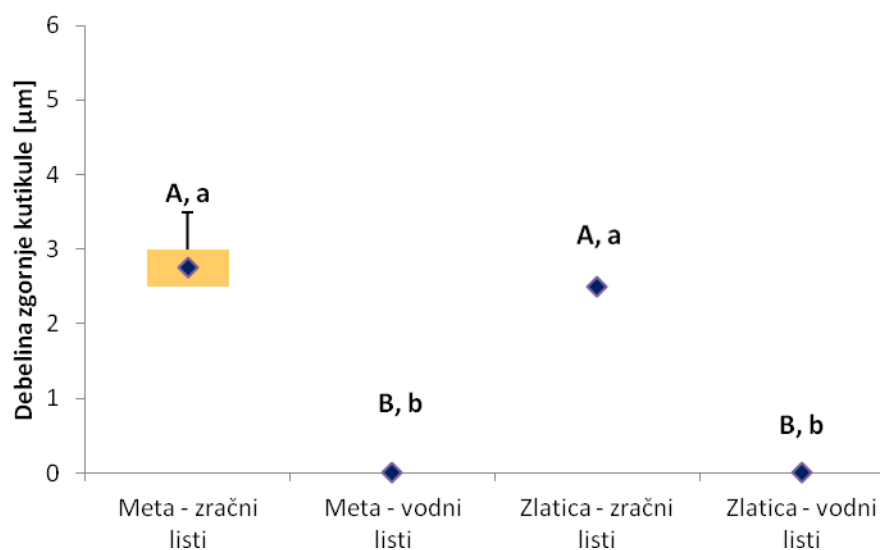
4.2.3 DEBELINA KUTIKULE

Kutikula je bila prisotna le pri zračnih listih obeh vrst. Debelina spodnje kutikule je bila pri obeh vrstah enaka z vrednostjo $2,5 \mu\text{m}$ (graf 7 in 8). Debelina zgornje kutikule je bila prav tako približno enaka z vrednostmi $2,5 \mu\text{m}$, le pri kopenskih listih vodne mete je le-ta nekoliko varirala z vrednostmi od $2,5$ do $3,5$.



Slika 7: Primerjava debeline spodnje kutikule pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice

Črke A, B, a, b, označujejo statistično značilne razlike ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A, B označujejo razlike znotraj vrste med posameznimi tipi listov, medtem ko črke a, b označujejo razlike med istim tipom listov pri različni vrsti. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

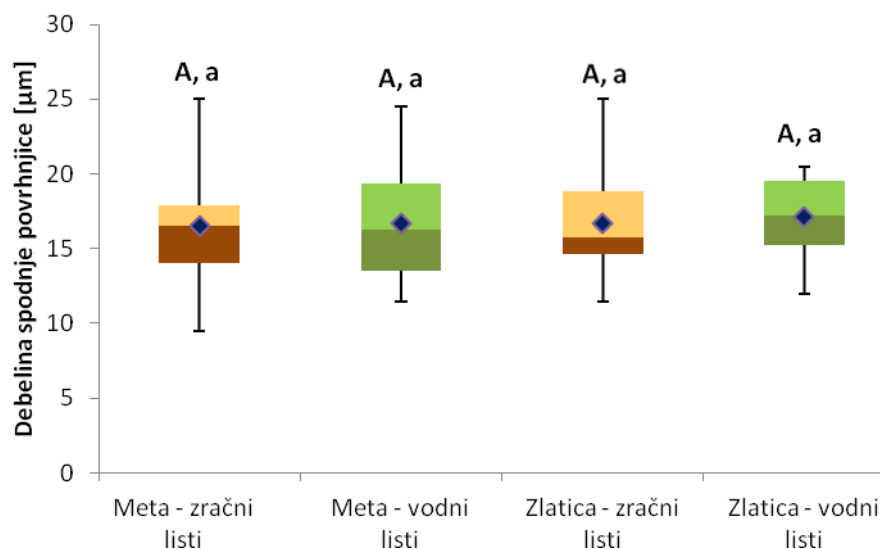


Slika 8: Primerjava debeline zgornje kutikule pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice

Črke A, B, a, b, označujejo statistično značilne razlike v debelini zgornje kutikule ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A, B označujejo razlike znotraj vrste med posameznimi tipi listov, medtem ko črke a, b označujejo razlike med istim tipom listov pri različni vrsti. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

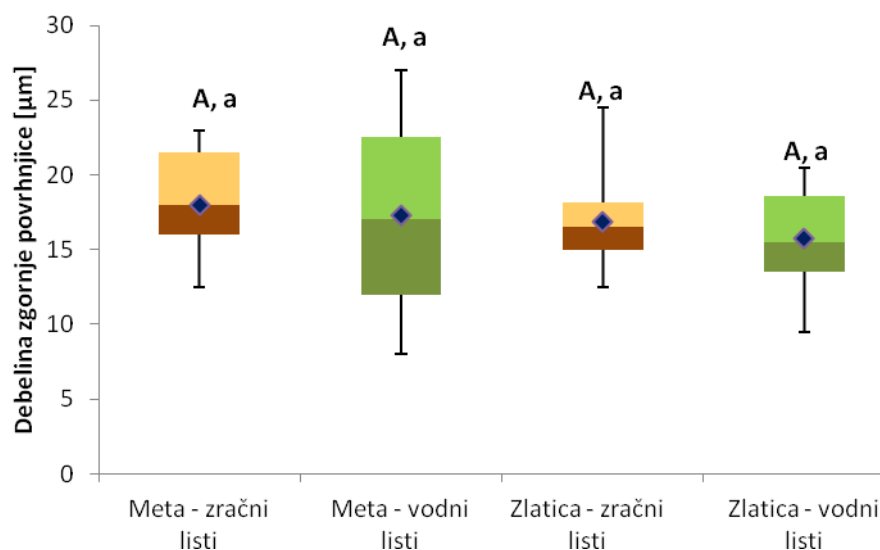
4.2.4 DEBELINA POVRHNJICE

Debelini spodnje in zgornje povrhnjice sta bili pri obeh vrstah tako pri zračnih kot pri vodnih listih podobni (graf 9 in 10).



Slika 9: Primerjava debeline spodnje povrhnjice pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice

Črke A, B, a, b, označujejo statistično značilne razlike v debelini spodnje povrhnjice ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A, B označujejo razlike znotraj vrste med posameznimi tipi listov, medtem ko črke a, b označujejo razlike med istim tipom listov pri različni vrsti. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

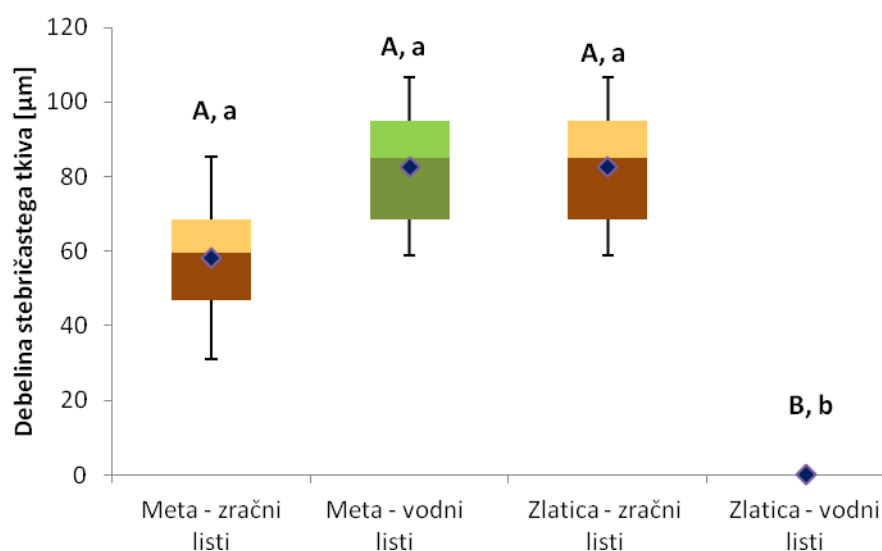


Slika 10 : Primerjava debeline zgornje povrhnjice pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice

Črke A, B, a, b, označujejo statistično značilne razlike v debelini zgornje povrhnjice ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A, B označujejo razlike znotraj vrste med posameznimi tipi listov, medtem ko črke a, b označujejo razlike med istim tipom listov pri različni vrsti. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

4.2.5 DEBELINA STEBRIČASTEGA TKIVA

Debelina stebričastega tkiva je bila pri vodnih listih vodne mete in zračnih listih velike zlatice identična, malo manjša je bila pri zračnih listih mete (graf 11). Debelina tkiva listov pri meti je bila tako podobna, debelina pri zlatici pa različna, saj vodni listi niso imeli stebričastega tkiva. Posledično so bili zračni listi obeh vrst podobni, medtem ko so se vodni listi obeh vrst razlikovali.

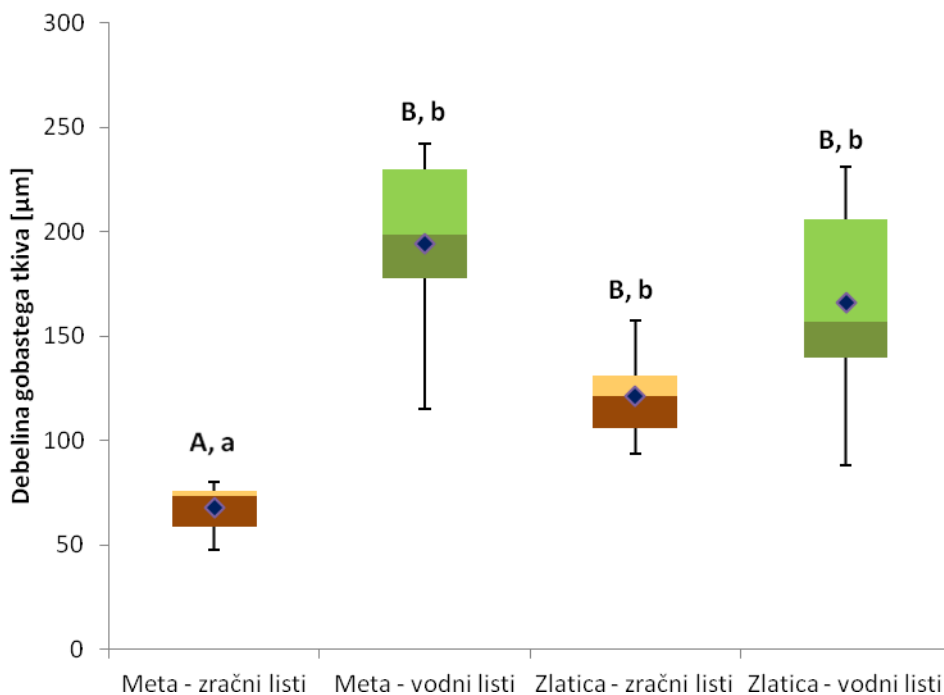


Slika 11: Primerjava debeline stebričastega tkiva pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice

Črke A, B, a, b, označujejo statistično značilne razlike v debelini stebričastega tkiva ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A, B označujejo razlike znotraj vrste med posameznimi tipi listov, medtem ko črke a, b označujejo razlike med istim tipom listov pri različni vrsti. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

4.2.6 DEBELINA GOBASTEGA TKIVA

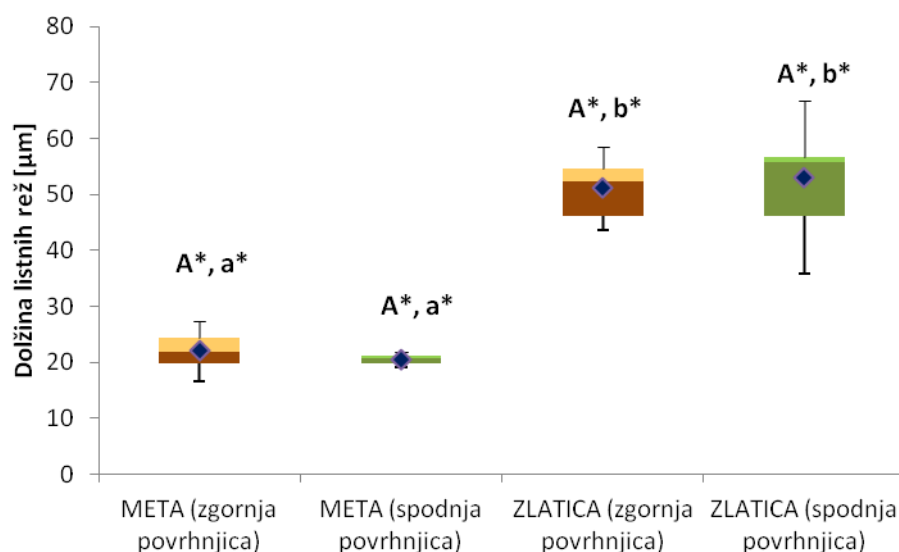
Zračni in vodni listi vodne mete so se med seboj razlikovali, prav tako so se med seboj razlikovali zračni listi obeh vrst (graf 12). Zračni in vodni listi velike zlatice ter vodni listi obeh vrst so si bili med seboj podobni.



Slika 12: Primerjava debeline gobastega tkiva pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice
Črke A, B, a, b, označujejo statistično značilne razlike v debelini gobastega tkiva ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A, B označujejo razlike znotraj vrste med posameznimi tipi listov, medtem ko črke a, b označujejo razlike med istim tipom listov pri različni vrsti. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

4.2.7 DOLŽINA LISTNIH REŽ

Vodni listi niso imeli listnih rež, zato smo dolžino listnih rež izmerili samo pri zračnih listih (graf 13). Pri zračnih listih smo izmerili dolžine listnih rež za na spodnjih in zgornjih povrhnjicah, za obe vrsti. Dolžina se je med vrstama razlikovala, znotraj vrste pa je bila tako pri vodni meti kot veliki zlatici podobna. Pri vodni meti je bila dolžina listnih rež manjša, pri veliki zlatici pa večja. Dolžine so bile tako pri zgornji kot spodnji povrhnjici med vrstama različne.

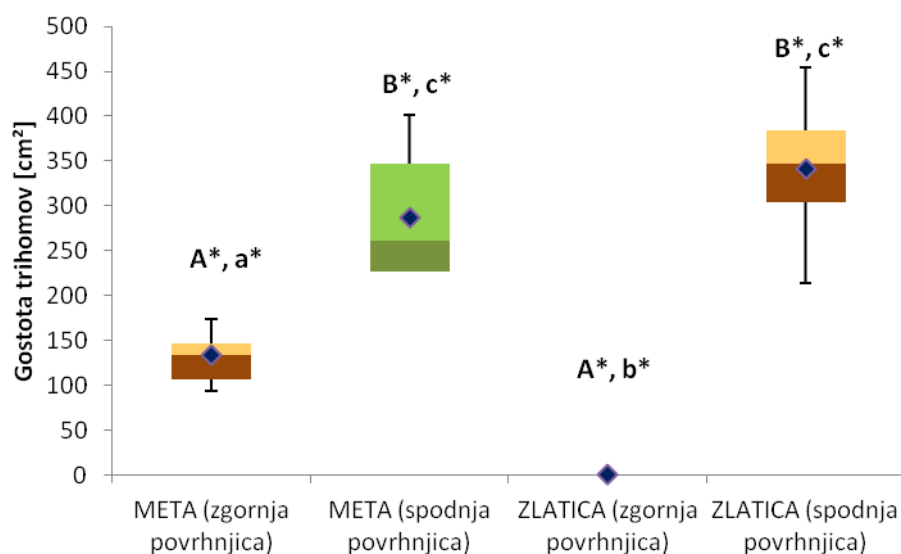


Slika 13: Primerjava dolžin listnih rež pri zračnih listih vodne mete (*Mentha aquatica*) in velike zlatice (*Ranunculus lingua*) za spodnjo in zgornjo povrhnjico

Črke A*, B*, a*, b* označujejo statistično značilne razlike v dolžini listnih rež ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A*, B* označujejo primerjavo dolžine listnih rež na zgornji in spodnji povrhnjici znotraj iste vrste, medtem ko črke a*, b* označujejo primerjavo dolžine listnih rež pri zgornjih povrhnjicah različnih rastlin in spodnjih povrhnjicah različnih rastlin. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

4.2.8 GOSTOTA TRIHOMOV

Vodni listi prav tako kot rež tudi trihomov niso imeli, zato smo ponovno trihome merili le na zračnih listih (graf 14). Merili smo število trihomov na cm^2 in tako smo lahko izračunali njihovo gostoto. Prešteli smo jih na zgornji in spodnji povrhnjici. Pri vodni meti se je gostota trihomov znotraj vrste razlikovala, tako je bilo tudi pri Veliki zlatici. Pri zgornji povrhnjici se je gostota trihomov med vrstama razlikovala, pri spodnji povrhnjici med vrstama pa je bila podobna, a se je razlikovala od vrednosti zgornje povrhnjice.



Slika 14: Gostota trihomov pri zračnih listih vodne mete (*Mentha aquatica*) in velike zlatice (*Ranunculus lingua*)

Črke A*, B*, a*, b* označujejo statistično značilne razlike v gostoti trihomov na cm² ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A*, B* označujejo primerjavo gostote trihomov na zgornji in spodnji povrhnjici znotraj iste vrste, medtem ko črke a*, b* označujejo primerjavo gostote trihomov na zgornjih povrhnjicah različnih rastlin in spodnjih povrhnjicah različnih rastlin. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

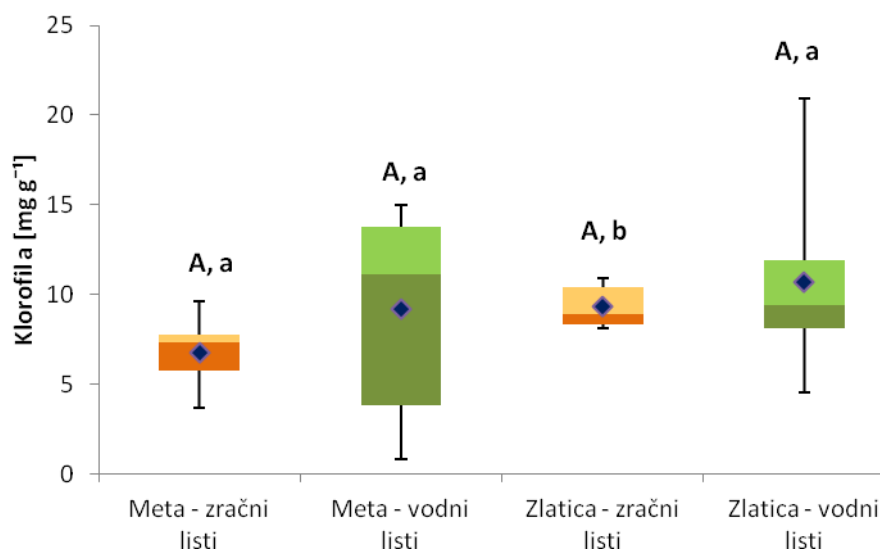
4.3 BIOKEMIJSKE ANALIZE

4.3.1 BARVILA

Vsebnosti klorofila *a* in *b* ter karotenoidov smo prikazali na dva načina. Pri prvem nas je zanimala vsebnost barvil [mg] glede na suho maso rastlinskega materiala [g], pri drugem vsebnost barvil [mg] na površino vzorca, ki je izpostavljena svetlobi [cm²]. Glede na izbran parameter smo za posamezno barvilo dobili različne rezultate.

4.3.1.1 Klorofil *a*

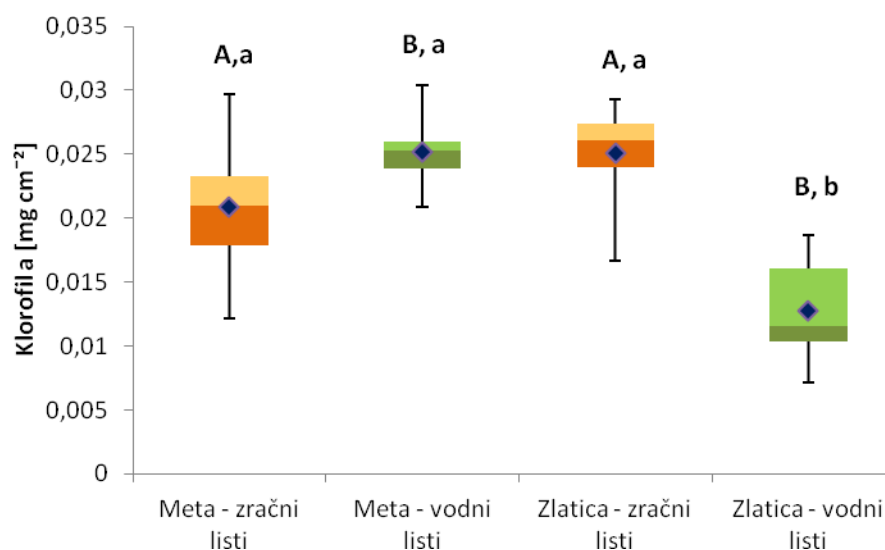
Vsebnost klorofila *a* je bila znotraj vrste pri obeh vrstah podobna (graf 15). Vrednosti pri zračnih listih znotraj različnih vrst so bile različne, vrednosti pri vodnih listih znotraj različnih vrst pa so bile podobne.



Slika 15: Primerjava vsebnosti klorofila *a* v mg na suho maso rastlinskega materiala pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice

Črke A, B, a, b, označujejo statistično značilne razlike v vsebnosti klorofila *a* ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A, B označujejo razlike znotraj vrste med posameznimi tipi listov, medtem ko črke a, b označujejo razlike med istim tipom listov pri različni vrsti. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

Vsebnost klorofila *a* merjenega glede na površino (cm²) rastlinskega materiala je znotraj vrste vodna meta nekoliko različen, prav tako tudi znotraj vrste velika zlatica (graf 16). Zračni listi med vrstama imajo statistično podobno vsebnost klorofila *a* na cm², vodni listi med vrstama pa statistično različnovsebnost klorofila *a* na cm².

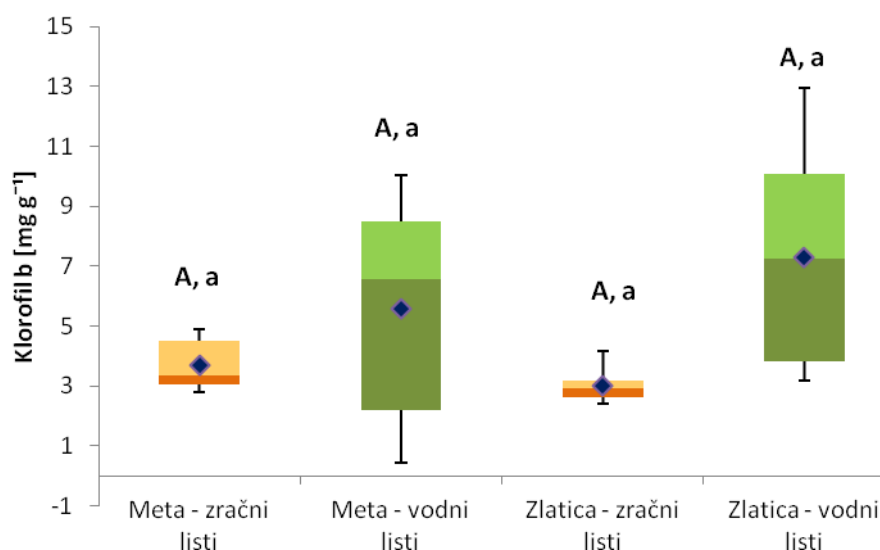


Slika 16: Primerjava vsebnosti klorofila *a* v mg na površino rastlinskega materiala merjeno v cm² med zračnimi in vodnimi listi vrst *Mentha aquatica* in *Ranunculus lingua*

Črke A, B, a, b, označujejo statistično značilne razlike v vsebnosti klorofila *a* ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A, B označujejo razlike znotraj vrste med posameznimi tipi listov, medtem ko črke a, b označujejo razlike med istim tipom listov pri različni vrsti. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

4.3.1.2 Klorofil *b*

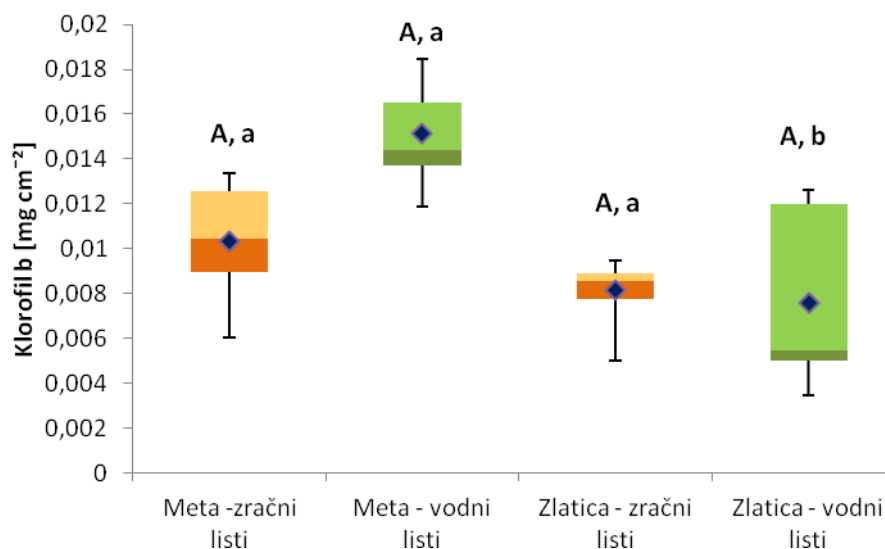
Vsebnost klorofila *b* merjenega glede na maso rastlinskega materiala je znotraj vrste vodna meta statistično podoben, prav tako tudi znotraj vrste velika zlatica (graf 17). Zračni listi med vrstama imajo statistično podobno vsebnost klorofila *b* na g mase rastlinskega materiala, enako je pri vodnih listih med vrstama.



Slika 17: Vsebnost klorofila *b* v mg na g rastlinskega materiala

Črke A, B, a, b, označujejo statistično značilne razlike v vsebnosti klorofila *b* ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A, B označujejo razlike znotraj vrste med posameznimi tipi listov, medtem ko črke a, b označujejo razlike med istim tipom listov pri različni vrsti. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

Vsebnost klorofila *b* merjenega glede na površino rastlinskega materiala je znotraj vrste vodna meta statistično podoben, prav tako tudi znotraj vrste velika zlatica (graf 18). Zračni listi med vrstama imajo statistično podobno vsebnost klorofila *b* na cm^2 , vodni listi med vrstama pa statistično različno vsebnost klorofila *b* na cm^2 .

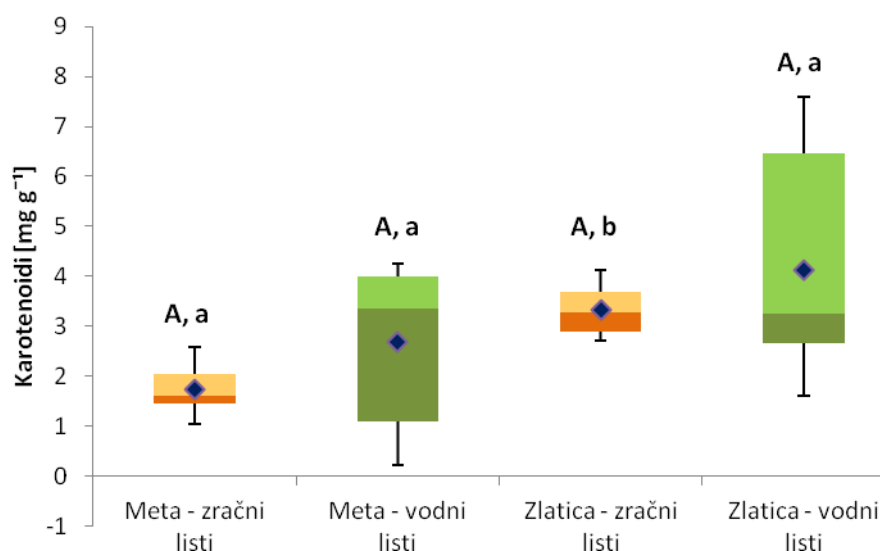


Slika 18: Primerjava vsebnosti klorofila *b* v mg na površino rastlinskega materiala merjeno v cm^2 pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice

Črke A, B, a, b, označujejo statistično značilne razlike v vsebnosti klorofila b ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A, B označujejo razlike znotraj vrste med posameznimi tipi listov, medtem ko črke a, b označujejo razlike med istim tipom listov pri različni vrsti. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

4.3.1.3 KAROTENOIDI

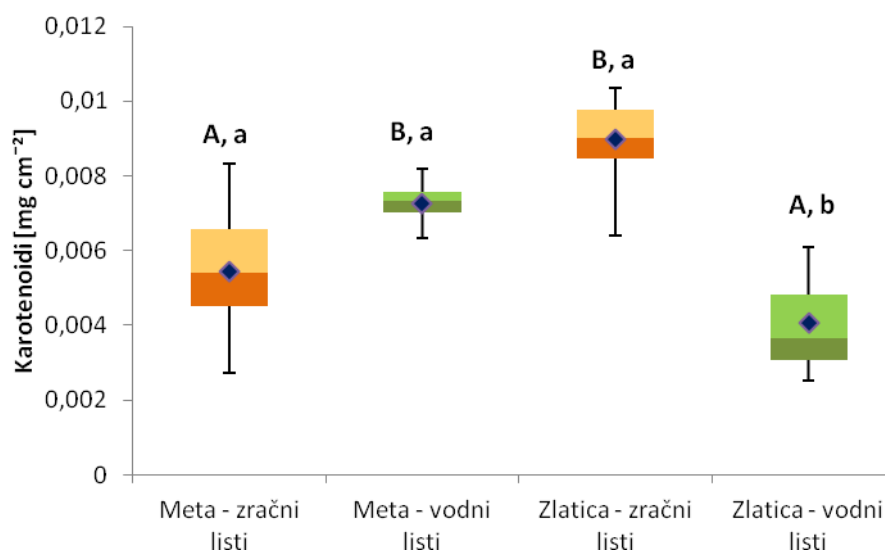
Vsebnost karotenoidov merjena glede na suho maso rastlinskega materiala je znotraj vrste vodna meta statistično podobna, prav tako tudi znotraj vrste velika zlatica (graf 19). Zračni listi med vrstama imajo statistično različno vsebnost karotenoidov, vodni listi med vrstama pa statistično podobno vsebnost.



Slika 19: Vsebnost karotenoidov v mg na suho maso rastlinskega materiala pri zračnih in vodnih listih vrst vodna meta in velika zlatica

Črke A, B, a, b, označujejo statistično značilne razlike v vsebnosti karotenoidov ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A, B označujejo razlike znotraj vrste med posameznimi tipi listov, medtem ko črke a, b označujejo razlike med istim tipom listov pri različni vrsti. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

Vsebnost karotenoidov merjena glede na površino rastlinskega materiala je znotraj vrste vodna meta statistično različna, prav tako tudi znotraj vrste velika zlatica (graf 20). Zračni listi med vrstama imajo statistično različno vsebnost karotenoidov na cm² enako je pri vodnih listih med vrstama.

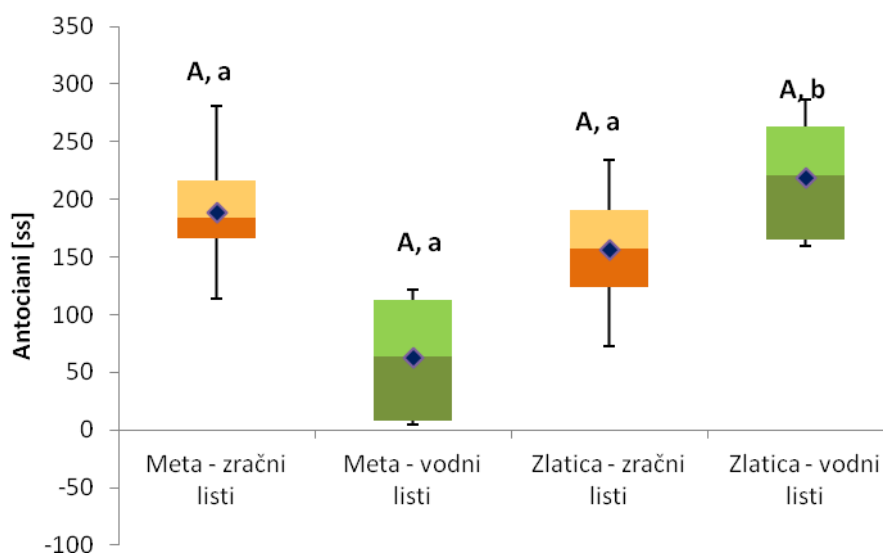


Slika 20: Vsebnost karotenoidov v mg na površino rastlinskega materiala merjeno v cm² pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice

Črke A, B, a, b, označujejo statistično značilne razlike v vsebnosti karotenoidov ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A, B označujejo razlike znotraj vrste med posameznimi tipi listov, medtem ko črke a, b označujejo razlike med istim tipom listov pri različni vrsti. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

4.3.1.4 ANTOCIANI

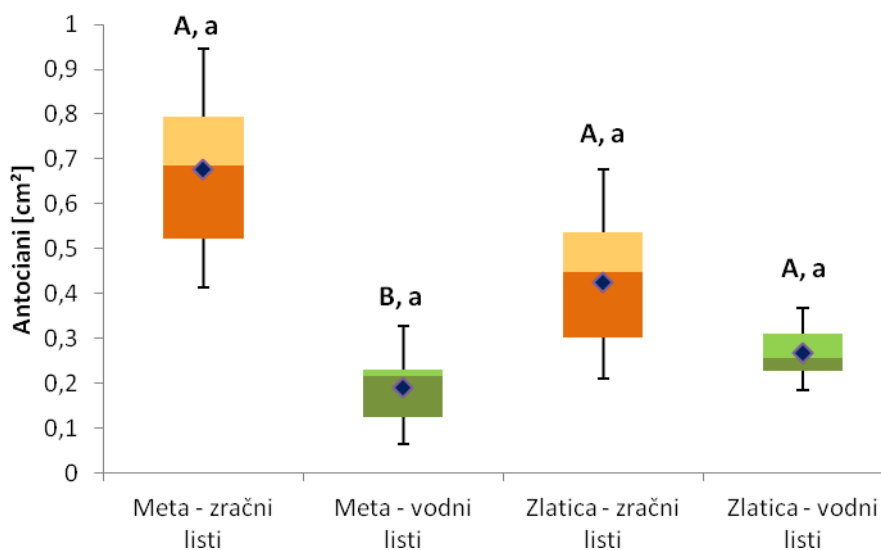
Vsebnost antocianov merjena glede na suho maso rastlinskega materiala je znotraj vrste vodna meta statistično podobna, prav tako je tudi znotraj vrste velika zlatica (graf 21). Oba tipa listov, tako zračni kot vodni imajo statistično podobno vsebnost antocianov.



Slika 21: Vsebnost antocianov izražena v relativnih enotah

Merili smo vsebnost antocianov v mg na suho maso rastlinskega materiala pri zračnih in vodnih listih vrst vodne mete in velike zlatice. Črke A, B, a, b, označujejo statistično značilne razlike v vsebnosti karotenoidov ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A, B označujejo razlike znotraj vrste med posameznimi tipi listov, medtem ko črke a, b označujejo razlike med istim tipom listov pri različni vrsti. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

Vsebnost antocianov merjena glede na površino rastlinskega materiala je znotraj vrste vodna meta statistično različna, znotraj vrste velika zlatica pa statistično podobna (graf 20). Zračni listi med vrstama imajo statistično podobno vsebnost antocianov na cm^2 enako je pri vodnih listih med vrstama.



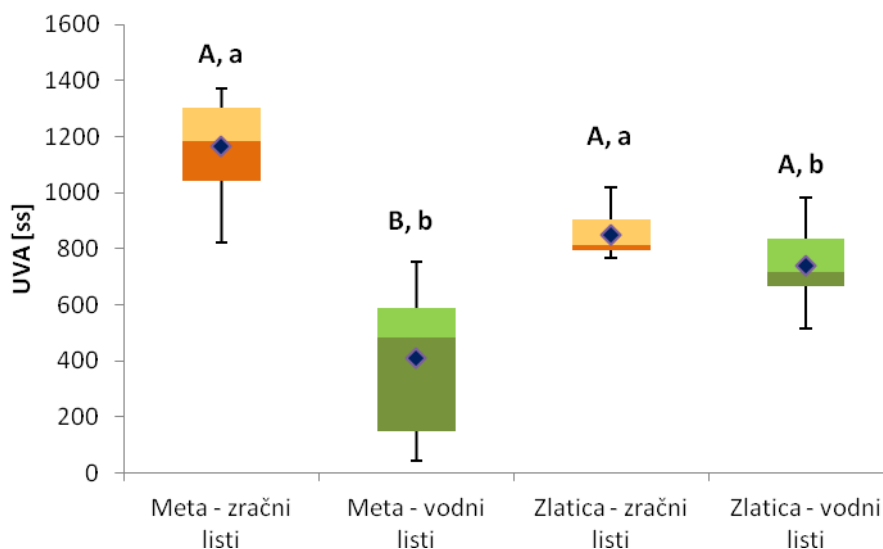
Slika 22: Vsebnost antocianov izražena v relativnih enotah

Merili smo vsebnost antocianov v mg na površino rastlinskega materiala merjeno v cm^2 pri zračnih in vodnih listih vrst vodne mete in velike zlatice. Črke A, B, a, b, označujejo statistično značilne razlike v vsebnosti karotenoidov ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A, B označujejo razlike znotraj vrste med posameznimi tipi listov, medtem ko črke a, b označujejo razlike med istim tipom listov pri različni vrsti. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

4.3.2 UV ABSORBIRAJOČE SNOVI

4.3.2.1 UV A ABSORBIRAJOČE SNOVI

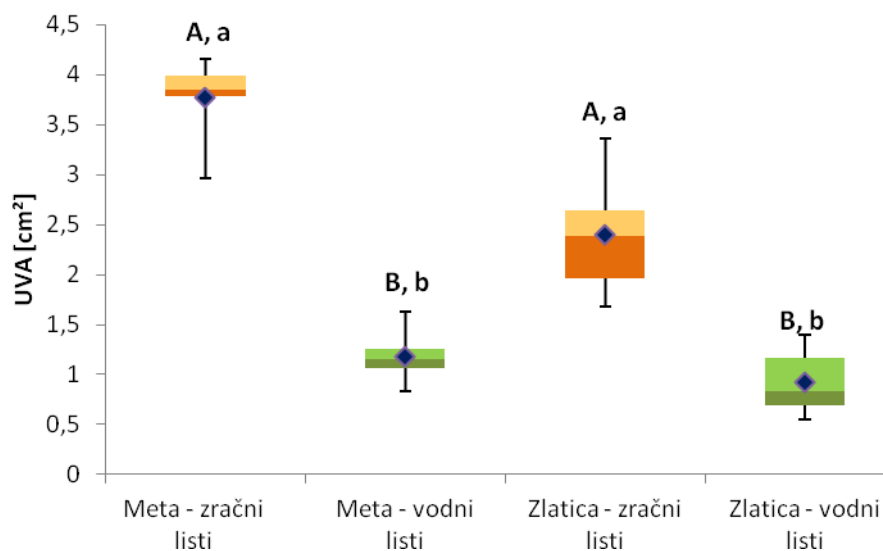
Vsebnost UV A absorbirajočih snovi merjena glede na suho maso rastlinskega materiala je znotraj vrste vodna meta statistično različna, znotraj vrste velika zlatica pa statistično podobna (graf 21). Prav tako imajo statistično podobno vsebnost absorbirajočih snovi zračni listi obeh vrst, medtem, ko imajo vodni listi med seboj podobno vsebnost absorbirajočih snovi, vendar nižjo če jo primerjamo z zračnimi listi.



Slika 23: Vsebnost UV A absorbirajočih snovi izražena v relativnih enotah

Merili smo vsebnost UV A absorbirajočih snovi v mg na suho maso rastlinskega materiala pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice. Črke A, B, a, b, označujejo statistično značilne razlike v vsebnosti UV A absorpcijskih snovi ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A, B označujejo razlike znotraj vrste med posameznimi tipi listov, medtem ko črke a, b označujejo razlike med istim tipom listov pri različni vrsti. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

Vsebnost UV A absorbirajočih snovi je merjena glede na površino rastlinskega materiala (graf 22). Znotraj vrste vodna meta je statistično različna, prav tako je znotraj vrste velika zlatica. Zračni listi med vrstama imajo statistično podobno vsebnost UV A absorbirajočih snovi na cm^2 , vodni listi med vrstama imajo prav tako statistično podobno vsebnost absorbirajočih snovi, vendar statistično različno od zračnih.

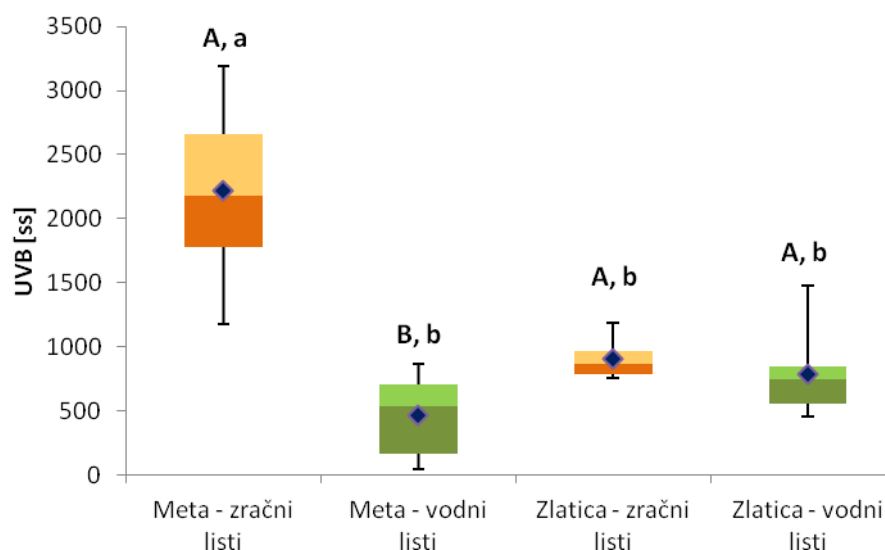


Slika 24: Vsebnost UV A absorbirajočih snovi izražena v relativnih enotah

Merili smo vsebnost UV A absorbirajočih snovi v mg na površino rastlinskega materiala merjeno v cm^2 pri zračnih in vodnih listih vrst vodna meta in velika zlatica. Črke A, B, a, b, označujejo statistično značilne razlike v vsebnosti UV A absorpcijskih snovi ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A, B označujejo razlike znotraj vrste med posameznimi tipi listov, medtem ko črke a, b označujejo razlike med istim tipom listov pri različni vrsti. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

4.3.2.2 UV B ABSORBIRAJOČE SNOVI

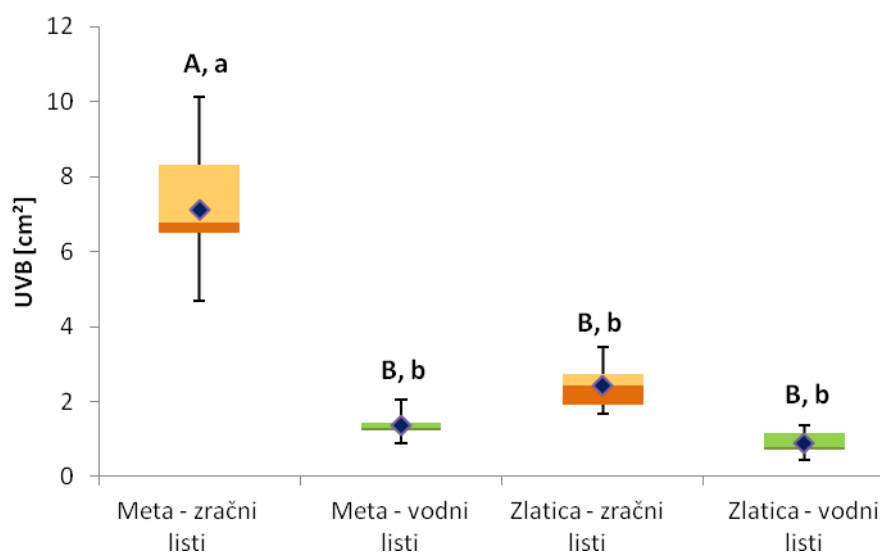
Vsebnost UV B absorbirajočih snovi merjena glede na suho maso rastlinskega materiala je znotraj vrste vodna meta statistično različna, znotraj vrste velika zlatica pa je vsebnost absorbirajočih snovi statistično podobna (graf 23). Statistično različno vsebnost absorbirajočih snovi imajo zračni listi obeh vrst, medtem, ko imajo vodni listi med seboj statistično podobno vsebnost absorbirajočih snovi. Vsebnost absorbirajočih snovi pri vodnih listih vodne mete je statistično podobna vsebnosti pri zračnih in vodnih listih velike zlatice.



Slika 25: Vsebnost UV B absorbirajočih snovi izražena v relativnih enotah

Merili smo vsebnost UV B absorbirajočih snovi v mg na suho maso rastlinskega materiala pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice. Črke A, B, a, b, označujejo statistično značilne razlike v vsebnosti UV B absorpcijskih snovi ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A, B označujejo razlike znotraj vrste med posameznimi tipi listov, medtem ko črke a, b označujejo razlike med istim tipom listov pri različni vrsti. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

Vsebnost UV B absorbirajočih snovi je merjena glede na površino rastlinskega materiala. Znotraj vrste vodna meta je statistično različna, znotraj vrste velika zlatica je vsebnost absorpcijskih snovi statistično podobna (graf 24). Zračni listi med vrstama imajo statistično različno vsebnost UV B absorbirajočih snovi na cm^2 , vodni listi med vrstama pa imajo statistično podobno vsebnost absorbirajočih snovi. Vsebnost absorbirajočih snovi pri vodnih listih vodne mete je statistično podobna vsebnosti pri zračnih in vodnih listih velike zlatice.

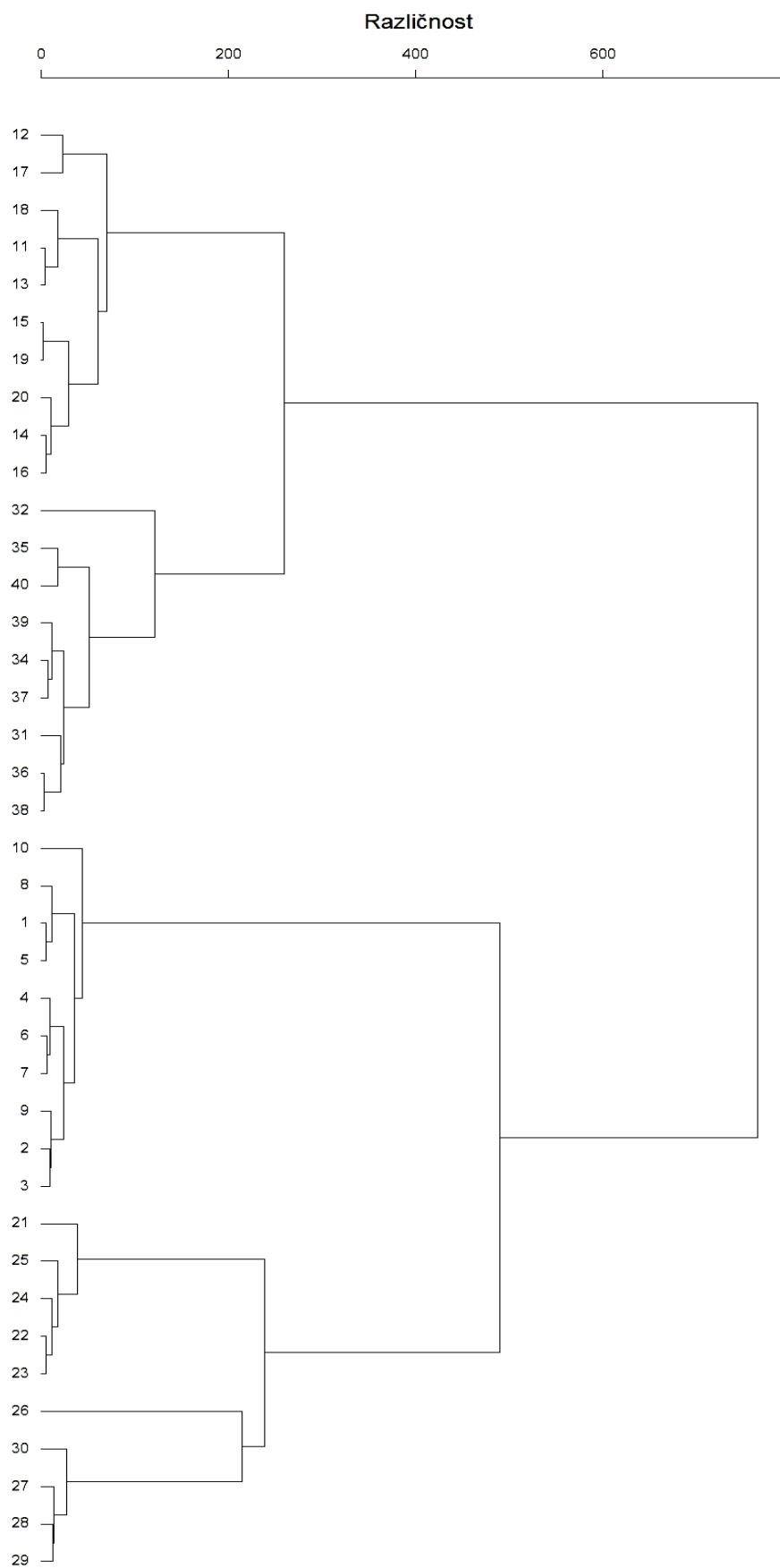


Slika 26: Vsebnost UV B absorbirajočih snovi je izražena v relativnih enotah

Merili smo vsebnost UV B absorbirajočih snovi v mg na površino rastlinskega materiala merjeno v cm^2 pri zračnih in vodnih listih vodne mete in velike zlatice. Črke A, B, a, b, označujejo statistično značilne razlike v vsebnosti UV B absorpcijskih snovi ($p \leq 0,05$); $n=10$. Pri tem črke A, B označujejo razlike znotraj vrste med posameznimi tipi listov, medtem ko črke a, b označujejo razlike med istim tipom listov pri različni vrsti. Karo simbol označuje srednjo vrednost.

4.4 MEDSEBOJNA PRIMERJAVA LISTOV OBEH VRST

Na koncu smo naredili primerjavo listov na podlagi vseh podatkov skupaj in izdelali dendrogram različnosti (graf 27). Rezultati so pokazali, da so zračni listi obeh vrst med seboj bolj podobni kot pa zračni in vodni listi ene vrste. Tudi vodni listi obeh vrst so si bili med seboj bolj podobni kot zračni in vodni listi ene vrste. Največja razlika je torej bila med tipi listov obeh vrst.



Slika 27: Dendrogram različnosti vrst *Mentha aquatica* in *Ranunculus lingua*

Mentha aquatica (zračni listi: oznake vzorcev 1 - 10, vodni listi: oznake vzorcev 11 - 20) in *Ranunculus lingua* (zračni listi: oznake vzorcev od 21 - 30, vodni listi: oznake vzorcev od 31 - 40); n= 10.

5 DISKUSIJA

Amfibijski rastlini *Mentha aquatica* in *Ranunculus lingua* služita kot modelna sistema za preučevanje razlik v optičnih lastnostih listov pri različnih listnih tipih, ki se razvijajo v vodnem in kopnem habitatu. Rezultati so pokazali, da se vodni listi razlikujejo od zračnih po anatomskih, morfoloških in biokemijskih značilnostih.

Rastlini *M. aquatica* in *R. lingua* sta tako na kopnem kot v vodi imeli podobne habitate. Eliptični vodni listi *M. aquatica* so se razvili v plitvi, mirni vodi blizu bregu, kjer je bila intenziteta svetlobe visoka, podolgovati vodni listi *R. lingua* pa so se razvili v nekoliko globlji vodi. Posledično so imeli listi *R. lingua* nekoliko višjo SLA in manjšo vsebnost klorofila *a*. Specifična listna površina nam pove kolikšno je območje lista, ki absorbira svetlobo glede na njegovo suho maso (Larcher, 2003). Rastline s kopnim tipom listov smo vzorčili na presahnjenih delih Cerknškega jezera.

Anatomske in morfološke značilnosti

Ker vodna površina predstavlja jasno ločnico med dvema kontrastnima okoljema, rastline, če želijo uspevati v obeh habitatih, potrebujejo različno listno morfologijo zaradi katere lahko vzdržujejo svojo fotosintezno aktivnost. Wells in Pigliucci (2000) navajata, da večina rastlin, ki uspevajo na kopnem in v vodi izkoristi ali le zračni ali le vodni prostor za razširitev svojih listov. Amfibijski rastlini *M. aquatica* in *R. lingua* sta tu v prednosti, saj sta zaradi fenotipske plastičnosti sposobne tvoriti različne liste glede na habitat v katerem rastlina uspeva. Listi vodne mete so homofilični, listi velike zlatice pa heterofilični.

Sposobnost razvoja različnih listov omogoča preživetje pri ekstremnih nihanjih vodne gladine v presihajočem vodnem ekosistemu. Tako lahko za razširjenost svojih listov izkoristijo tako kopni kot vodni prostor.

Rast različnih tipov listov je inducirana z različnimi okoljskimi faktorji. Najpomembnejši med njimi so kvaliteta radiacije (svetlobe), parcialni pritisk CO₂ in relativna vlažnost (Kuwabara in Nagata, 2002). Za različne oblike listov smo ugotovili, da imajo specifične optične lastnosti (odbojnost, presevnost in absorpcija).

Debelina lista je bila pri vseh listih podobna, do razlik je prišlo v sami strukturi lista. Gobasto tkivo je bilo prisotno pri zračnih in vodnih listih obeh vrst. Stebričasto tkivo pa je bilo prisotno le pri kopnih listih *R. lingua*, pri vodnih listih je bilo odsotno.

Pomembne razlike so bile opažene tudi pri strukturah na površju. Pri obeh vrstah so bili trihomi prisotni le pri zračnih listih. Vrsta *M. aquatica* je imela žlezne, enocelične, ploščate trihome na obeh povrhnjicah. Gostota trihomov je bila na zgornji povrhnjici manjša kot na spodnji. Pri vrsti *R. lingua* so bili najdeni številni dolgi enocelični trihomi le na abaksialni strani listov. Po eni strani trihomi na spodnji listni površini kopnih listov ščitijo listno tkivo pred prekomerno sončno radiacijo, ki se odbije od vodne površine kadar rastline rastejo v vodi, po drugi strani pa lahko preprečijo tudi izgubo vode med obdobjem presiha vode (Woodman in Fernandes, 1991). Zračni listi so se od vodnih razlikovali tudi v prisotnosti listnih rež. Listne reže pri vodnih listih niso bile prisotne. Dolžina listnih rež na spodnji in zgornji povrhnjici se je razlikovala glede na vrsto. Pri vrsti *M. aquatica* so bile dolžine listnih rež manjše kot pri vrsti *R. lingua*.

Biokemične in optične lastnosti

Vsebnost UV A absorbirajočih snovi je bila najvišja pri zračnih listih vodne mete, nekoliko manjša pri zračnih listih velike zlatice in še manjša pri vodnih listih obeh vrst. Prav tako je bila vsebnost UV B absorbirajočih snovi največja pri zračnih listih vodne mete, medtem ko je bila pri zračnih listih velike zlatice in vodnih listih obeh vrst nižja, a približno enaka. Rozema in sod. (2002) navajajo, da je količina in kompleksnost UV- absorbirajočih substanc med evolucijo rastlin naraščala. Ker je rod *Ranunculus* evolucijsko gledano starejši v primerjavi z rodom *Mentha* je razlika v količini UV absorbirajočih snovi, če jo primerjamo znotraj istega tipa listov, očitno bolj evolucijskega izvora, ne pa posledica razlik v okolju. Tako so lahko razlike posledica ne samo različnosti habitatov, temveč tudi razlike v evolucijski starosti rastlin, ki je povezana z različno biokemijo rastlin; predvsem v vsebnosti UV A in UV B absorbirajočih snovi.

Za optične lastnosti velja, da na njih vplivajo razlike v anatomskih in biokemičnih lastnostih različnih tipov listov. Biokemične karakteristike imajo večji vpliv na spekter odbojnosti, anatomske karakteristike pa na spekter presevnosti. To dejstvo je v skladu tudi z drugimi študijami, ki prav tako potrjujejo povezavo med spektrom odbojnosti lista in biokemičnimi lastnostmi lista (Baltzer in Thomas, 2005; Levizou in sod., 2005; Castro in Sanchez-Azofeifa, 2008).

Odbojnost in presevnost listov nam zagotovita temeljitejše razumevanje fizioloških odzivov na rastne pogoje in prilagoditve rastline na okolje. Carter in Knapp (2001) sta

prišla do zaključka, da se optične lastnosti (predvsem odbojnost) odzovejo na stres. Neznano pa je ostalo kolikšen vpliv imajo različni vzroki stresa znotraj vrste na optične lastnosti. Prav tako je ostala neznana stopnja do katere spektralni odziv med vrstami na določen stresor variira.

Rezultati so potrdili našo prvotno hipotezo, da se odbojni in presevni spektri listov in vrst med seboj razlikujejo. Meritve optičnih lastnosti so pokazale velik porast odbojnosti v območju od 680 do 890 nm. Podobna slika je bila pri presevnosti zračnih in vodnih listov vodne mete. Pri transmitanci zračnih in vodnih listov velike zlatice je bila slika nekoliko drugačna. V območju dolgovalovne rdeče svetlobe je prišlo do porasta, ki je dosegel vrh nekje pri 750 nm, nato se je presevnost pričela zmanjševati. Povečana odbojnost v območju dolgovalovne rdeče (695 – 725 nm) svetlobe je povsem dosleden in splošen odziv optičnih lastnosti lista na podlagi katerega lahko stres zaznamo v zgodnejših fazah. Ta splošen optični odziv je razložen z težnjo stresu izpostavljenih listov k izgubi klorofila oz. absorpcijskih lastnosti klorofila. Z višjo izgubo klorofila se absorpcijski spekter lista zmanjša, odbojnost in presevnost pa narasteta čez širši del vidnega spektra (Carter in Knapp, 2001).

Vodni listi pri vrsti *R. lingua* so presevali več radiacije kot njeni zračni listi. Možni razlog je visoka SLA. Nižja SLA bi lahko povečala učinek sipanja, ki bi posledično povečal absorpcijo svetlobe s tem pa zmanjšal učinek sita in povečal učinek podaljšanja poti (Lee in sod., 2000).

Na presevnost imajo bistven vpliv debelina palisadnega tkiva, debelina epidermisa in vsebnost antocianov (Klančnik in sod, 2014). Kot sem že omenila je do razlik prišlo v prisotnosti stebričastega tkiva. Le-to je pri vodnih listih *R. lingua* bilo odsotno, posledično je presevnost listov bila povečana.

V nasprotju z vodnimi listi so zračni listi obeh vrst odbili veliko več svetlobe, kar je bilo mogoče povezano s prisotnostjo in debelino kutikule. Le-ta je bila namreč pri zračnih listih obeh vrst prisotna, pri vodnih pa je ni bilo. Pri vodni meti so bili zračni listi manj sijoči kot zračni listi pri veliki zlati. Struktura kutikule se je med vrstama verjetno razlikovala, kar bi lahko tudi bistveno vplivalo na spekter odbojnosti (Holmes in Keiller, 2002).

Zračni listi velike zlatice so presevali manj svetlobe kot njeni vodni listi. Imeli so nižjo SLA kot vodni listi, poleg tega je bila pri zračnih listih prisotna kutikula katera bi lahko vplivala na njihovo nižjo presevnost, spodnja površina lista pa je bila prekrita s trihomi.

Klančnik in sod. (2012) navajajo, da ima prisotnost trihomov bistven vpliv na optične lastnosti lista, saj povečajo odbojnost in zmanjšajo presevnost lista.

Pri vodni meti je bila slika drugačna. Zračni listi so predvsem v območju kratkovalovne infrardeče svetlobe (> 700 nm) imeli višjo presevnost kot njeni vodni listi. Vzrok večje transmitance pri zračnih listih bi lahko bila večja vsebnost antocianov in večja izpostavljenost sončni radiaciji. Manjša presevnost pri vodnih listih vodne mete bi lahko bila posledica rasti v gostih sestojih v vodi in posledično manjše izpostavljenosti sončni svetlobi.

Pri rastlini *R. lingua* je bil vrh v območju zelene barve v krivuljah odbojnosti manj izrazit kadar je šlo za liste razvite v vodi. Prav tako so vodni listi presevali več radiacije čez celotno merjeno območje, verjetno zaradi nižjih vsebnosti vseh pigmentov na določen volumen listnega tkiva. Pri vrsti *M. aquatica* je bila situacija obratna. Vrh v območju zelene barve v krivuljah odbojnosti je bil manj izrazit kadar je šlo za liste v zraku. Zračni listi so presevali več radiacije v merjenem območju. To prav tako pripisujemo nižji vsebnosti vseh pigmentov na določen volumen listnega tkiva.

Pri vrsti *R. lingua* je bila vsebnost klorofilov in UV absorbirajočih snovi povezana obratno sorazmerno z spektrom odbojnosti. Zračni listi vrste *M. aquatica* so vsebovali več UV A in UV B absorbirajočih snovi na določeno površino, kar bi lahko pojasnilo njihovo nižjo reflektanco, predvsem v območju pod 500 nm.

Primerjava in prikaz vseh rezultatov v obliki dendrograma je pokazala, da je bila naša prvotna hipoteza pravilna. Zračni listi različnih vrst in vodni listi različnih vrst so si med seboj bolj podobni medtem kot so si zračni in vodni listi znotraj vrste bolj različni. Prišli smo do zaključka, da se spektra odbojnosti in presevnosti obeh tipov listov tako pri vodnih kot pri zračnih listih bistveno razlikujejo med vrstami in znotraj vrst. Odkrili smo, da ne samo raznovrstnost habitata, temveč tudi evolucijska starost rastlin vpliva na njihove lastnosti. Evolucijska starost rastlin je povezana s produkcijo sekundarnih snovi (UV absorbirajoče snovi), ki prav tako bistveno vplivajo na optične lastnosti listov. Poleg tega je iz rezultatov razvidno, da imajo na spekter odbojnosti večji vpliv biokemične lastnosti rastline, na spekter presevnosti pa anatomske lastnosti rastline.

6. VIRI

- Baltzer J. L. in Thomas S. C. 2005. Leaf optical responses to light and soil nutrient availability in temperate deciduous trees. *American Journal of Botany*, 92, 2: 223–241
- Cunningham F. X. In Gantt E. 1998. Genes and enzymes of carotenoid biosynthesis in plant. *Annual review of plant physiology and plant molecular biology*, 49: 557–83
- Carter G. A., Knapp A. K. 2001. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *American Journal of Botany*, 88, 4: 677-684
- Castro K. L. in Sanchez-Azofeifa G. A. 2008. Changes in spectral properties, chlorophyll content and internal mesophyll structure of senescing *Populus balsamifera* and *Populus tremuloides* leaves. *Sensors*, 8, 1: 51–69
- Enríquez S., Sand-Jensen K., 2003. Variation in light absorption properties of *Mentha aquatica* L. as function of leaf form: implications for plant growth. *International Journal of Plants Sciences*, 164: 125-136
- Gaberščik A. 1993. Measurements of apparent CO₂ flux in amphibious plant *Polygonum Amphibium* L. growing over environmental gradient. *Photosynthetica*, 29, 3: 473-476
- Gaberščik A., Martinčič A. 1992. Spreminjanje lastnosti listov vodne dresni (*Polygonum amphibium* L.) v gradientu kopno/voda. *Biološki vestnik*, 40: 1-11
- Gaberščik A., Urbanc-Berčič O. 2002. Ekosistem, ki ga ustvarja igra vode. V: *Jezero, ki izginja: monografija o Cerkniškem jezeru*. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 51-57
- Gaberščik A., Urbanc-Berčič O., Kržič N., Kosi G., Brancelj A. 2003. The intermittent Lake Cerknica: various faces of the same ecosystem. *Lakes and Reservoirs*, 8: 159-168
- Germ M. 2002. Močvirska spominčica in lasastolistna vodna zlatica v spremenljivem okolju. V: *Jezero, ki izginja: monografija o Cerkniškem jezeru*. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 107-116
- Gitelson A. A., Zur Y., Chivkunova O. B., Merzlyak M.N., 2002. Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy. *Photochemistry and Photobiology*, 75, 3: 272–281
- 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
- Holmes M. G., Keiller D.R., 2002. Effects of pubescence and waxes on the reflectance of leaves in the ultraviolet and photosynthetic wavebands: a comparison of a range of species. *Plant, Cell & Environment*, 25, 1: 85–93

- Hutchinson G. E. 1975. A treatise on limnology. Vol. 1. Part 1. Geography and physics of lakes. New York, John Wiley: 164 - 195
- Jacquemoud S., Ustin S. L. 2001. Leaf optical properties: a state of the art. V: Proceedings of 8th International Symposium on Physical Measurements & Signatures in Remote Sensing. Aussois, CNES: 223-232
- Klančnik K., Pancić M., A. Gaberščik A. 2014. Leaf optical properties in amphibious plant species are affected by multiple leaf traits. *Hydrobiologia*, 737, 1: 121-130
- Knapp A. K., Carter G.A. 1998. Variability in leaf optical properties among 26 species from a broad range of habitats. *American Journal of Botany*, 85, 7: 940-946
- Kranjc A. 1986. Cerknjsko jezero in njegove poplave. *Geografski zbornik*, 25: 71-123
- Kranjc A. 2002. Hidrološke značilnosti. V: *Jezero, ki izginja: monografija o Cerknjskem jezeru*. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 27-37
- Kuwabara A., Nagata T., 2002. Views on developmental plasticity of plants through heterophylly. *Recent Research Development in Plant Physiology*, 3: 45-59
- Larcher W. 2003. *Physiological plant ecology, ecophysiology and stress physiology of functional groups: 4th edition*. Berlin, Springer: 513 str.
- Lee D. W., 2009. Plant Tissue Optics: Micro- and Nanostructures. *Proceedings of SPIE*, 7401: 1-11
- Lee D. W., Oberbauer S. F., Johnson P., Krishnapilay B., Manson M., Mohamed H. in Yap S. K. 2000. Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two southeast Asian *Hopea* (Dipterocarpaceae) species. *American Journal of Botany*, 87, 4: 447-455
- Levizou E., Drilias P., Psaras G. K. in Manetas Y. 2005. Nondestructive assessment of leaf chemistry and physiology through spectral reflectance measurements may be misleading when changes in trichome density co-occur. *New Phytologist*, 165, 2: 463-472
- Likar M., Vogel Mikuš K., Regvar M. 2010. *Praktikum iz fiziologije rastlin*. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 65 str
- Martinčič A. 2002. Praprotnice in semenke. V: *Jezero, ki izginja: monografija o Cerknjskem jezeru*. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 73-80
- Martinčič A., Leskovar I. 2002. Vegetacija. V: *Jezero, ki izginja: monografija o Cerknjskem jezeru*. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 81-96

- Martinčič A., Wraber T., Jogan N., Podobnik A., Turk B., Vreš B., Ravnik V., Frajman B., Strgulc Krajšek S., Trčak B., Bačič T., Fischer M.A., Eler K., Surina B. 2007. Mala flora Slovenije. A. Martinčič (ur.). Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 967 str.
- Mencinger B. 2004. Naravni parki Slovenije. Ljubljana, Mladinska knjiga: 217 str.
- Mihevc A., Mihevc B., Frelih M., Polajnar Frelih N., Polak S., Simič M. 1999. Notranjska A-Ž. Priročnik za popotnika in poslovnega človeka. Murska Sobota, Pomurska založba: 268 str.
- Momokawa N., Kadono Y., Kudoh H. 2011. Effects of light quality on leaf morphogenesis of a heterophyllous amphibious plant, *Rotala hippuris*. *Annals of Botany*, 108: 1299–1306
- Odum E.P., 1971. *Fundamentals of Ecology*: 3rd edition. Philadelphia. W.B. Saunders: 574 str.
- Rozema J., Björn L. O., Bornman J. F., Gaberščik A., Häder D. P., Trošt T., Germ M., Klisch M., Gröniger A., Sinha R. P., Lebert M., He Y. Y., Buffoni-Hall R., de Bakker N. V., van de Staaij J. Meijkamp B. B. 2002. The role of UV-B radiation in aquatic and terrestrial ecosystems— an experimental and functional analysis of the evolution of UV-absorbing compounds. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 66,1: 2–12
- Stergaršek J., Vasilevska T., Drobnič S., Vončina Gnezda M., Schein V., Likar I. 2009. *Cvet skrivnosti. vodnik po rastlinskem svetu Cerkniskega jezera in okolice*. Cerknica: Notranjski regijski park: 204 str
- Šraj Kržič A., Gaberščik A. 2005. Photochemical efficiency of amphibious plants in an intermittent lake. *Aquatic botan*, 83, 4: 281-288
- Taiz L., Zeiger E. 2010. *Plant Physiology*. 5th edition. Sunderland, Sinauer Associates: 782 str.
- Trošt Sedej T. 2005. *Ekologija rastlin: priročnik za vaje*. Ljubljana, Študentska založba: 81 str.
- Ustin S. L., Jacquemoud S., Govaerts Y., 2001. Simulation of photon transport in a threedimensional leaf: implications for photosynthesis. *Plant, Cell and Environment*, 24, 10: 1095–1103
- Vreš B., Gilčverk Berdnik D., Seliškar A. 2014. *Rastlinstvo življenjskih okolij v Sloveniji*. 1. izdaja., 1 natis. Ljubljana, Pipinova knjiga: 492 str.
- Wells C.L., Pigliucci M. 2000. Adaptive phenotypic plasticity: the case of heterophylly in aquatic plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 3: 1–18

Optične lastnosti.... vodne mete in velike zlatice.

Dipl. delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za biologijo, 2015

Woodman R. L. in Fernandes g. W. 1991. Differential mechanical defense: herbivory, evapotranspiration and leaf-hairs. OIKOS 60, 1: 11–19

Woolley J. T. 1971. Reflectance and transmittance of light by leaves. Plant Physiology, 47: 656–662

ZAHVALA

Zahvaljujem se prof. dr. Alenki Gaberščik za mentorstvo, strokovno pomoč potrpežljivost, vzpodbudo in prijazen odnos. Hvala Draganu Abramcu za tehnično pomoč in Katji Klančnik za vse nasvete in pomoč.

Hvala recenzentki prof. dr. Katarini Vogel Mikuš in predsedniku komisije doc. dr. Alešu Kladniku za hiter pregled naloge in prijazno komunikacijo.

Hvala vsem, ki so kakorkoli pripomogli pri nastanku te diplomske naloge.