

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Helena CASERMAN

**OPTIČNE LASTNOST LISTOV RUŠNATE MASNICE
IN MODRE STOŽKE**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Helena CASERMAN

**OPTIČNE LASTNOSTI LISTOV RUŠNATE MASNICE IN
MODRE STOŽKE**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**OPTICAL PROPERTIES OF *DESCHAMPSIA CESPITOSA* AND
*MOLINIA CAERULEA***

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2015

Caserman H., Optične lastnosti listov rušnate masnice in modre stožke.

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

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija biologije. Opravljeno je bilo na Katedri za ekologijo in varstvo okolja Oddelka za biologijo Biotehniške fakultete v Ljubljani.

Študijska komisija Oddelka za biologijo je za mentorico diplomske naloge imenovala prof. dr. Alenko Gaberščik in za recenzenta doc. dr. Matevža Likarja.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednica: doc. dr. Katarina VOGEL MIKUŠ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Mentorica: prof. dr. Alenka GABERŠČIK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Recenzent: doc. dr. Matevž LIKAR
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Datum zagovora: 19.5.2015

Podpisana se strinjam z objavo svojega diplomskega dela v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddala v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Helena Caserman

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	581.5:538.958(043.2)=163.6
KG	odbojnost/lastnosti listov/rušnata masnica (<i>Deschampsia cespitosa</i>)/modra stožka (<i>Molinia caerulea</i>)
AV	CASERMAN (RUS), Helena
SA	GABERŠČIK, Alenka (mentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
LI	2015
IN	OPTIČNE LASTNOSTI LISTOV RUŠNATE MASNICE IN MODRE STOŽKE
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	XII, 74 str., 16 pregl., 42 sl., 45 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Preučevali smo biokemijske in morfološke parametre in njihov vpliv na odbojni in presevni spekter elektromagnetnega sevanja v IR, vidnem in UV območju pri dveh vrstah trav - rušnati masnici (<i>Deschampsia cespitosa</i>) in modri stožki (<i>Molinia caerulea</i>). Cilj naloge je bil, da ugotovimo, kateri parametri in v kakšni meri vplivajo na odbojnost in prepustnost lista za posamezne dele elektromagnetnega spektra. Želeli smo raziskati, ali se optične lastnosti razlikujejo med vrstama. Merili smo odbojnost in presevnost listov, pregledovali morfološke lastnosti, kot so gostota bodičk in listnih rež, specifična listna površina, vsebnost vode in debeline listnih struktur ter biokemijsko določili vsebnosti listnih barvil in UV absorbirajočih snovi ter vsebnosti silicija. Ugotovili smo, da so odbojni in presevni spektri med seboj podobni. Največje razlike med vrstama smo opazili pri primerjavi presevnosti svetlobe skozi liste, kar smo pripisali različnim morfološkim in biokemijskim razlikam med vrstama. Vpliv na odbojne in presevne spektre imajo tako morfološke kot biokemijske lastnosti, saj so vse lastnosti med seboj močno povezave. Pri vrsti <i>D. cespitosa</i> se je pokazalo, da ima največji vpliv debelina lista, pri vrsti <i>M. caerulea</i> pa vsebnosti rastlinskih barvil. Vsebnosti silicija so različne med obema vrstama. Vrsti sta si med seboj podobni v odbojnih in presevnih spektrih. Pri vrsti <i>M. caerulea</i> na spektre svetlobe vplivajo predvsem biokemijski parametri. Pri vrsti <i>D. cespitosa</i> ima na spektre svetlobe zelo močan vpliv debelina lista.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
 DC 581.5:538.958(043.2)=163.6
 CX reflectance/leaf properties /*Deschampsia cespitosa*/*Molinia caerulea*
 AU CASERMAN, Helena
 AA GABERŠČIK, Alenka (supervisor)
 PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
 PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology
 PY 2015
 TI OPTICAL PROPERTIES OF *Deschampsia cespitosa* and *Molinia caerulea*
 DT Graduation Thesis (University studies)
 NO XII, 74 str., 16 pregl., 42 sl., 45 vir.
 LA sl
 AL sl/en
 AB Optical properties of two grasses *M. caerulea* and *D. cespitosa* were studied in present thesis. We measured morphological and biochemical properties of leaves and their influence on optical properties. Our goal was to determine if any of these parameters have influence on leaf reflectance and transmittance. We did our measurements in IR, visible light and UV part of spectra. Morphological properties that we studied were density of trihomes, specific leaf area, water content, thickness of leaves, cuticula, epidermis and leaf core. Biochemical properties that we measured were concentration of leaf pigments (chlorophyll a, b, carotenoids, anthocyanins), UV absorbing compounds and concentration of silicon. Our results showed that both grasses have very similar reflectance and transmittance spectrum. Small differences are present in NIR and visible part of spectrum. We concluded that biochemical properties have more influence on reflectance and transmittance in visible part of spectra and morphological properties have more influence on NIR part of spectra. Both biochemical and morphological properties are closely correlated. The high reflectance and transmittance in NIR part of spectra is closely correlated to leaf thickness, which is mostly evident with species *D. cespitosa*. With species *M. caerulea* it is mostly evident that biochemical properties, concentration of pigments, is closely correlated to optical properties in visible part of spectra. The silicon content is significantly different between species. Both species are similar in reflectance and transmittance spectrum. Biochemical properties have more influence on light spectrum with species *M. caerulea* and morphological properties, like thickness of leaves have more influence on light spectrum with species *D. cespitosa*.

KAZALO VSEBINE

KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO SLIK	IX
KAZALO PRILOG	XI
SLOVAR KRAJŠAV	XII
1 UVOD	1
1.1 CILJI NALOGE	2
1.2 DELOVNE HIPOTEZE	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 OPTIČNE LASTNOSTI LISTOV	3
2.1.1 Elektromagnetni spekter svetlobe	3
2.1.2 Odbojnost listov	4
2.1.3 Prepustnost listov	4
2.1.4 Absorpcija listov	4
2.2 MORFOLOŠKE LASTNOSTI LISTOV	5
2.2.1 Specifična listna površina in vsebnost vode	5
2.2.2 Zgradba lista (kutikula, povrhnjica in gobasto tkivo)	5
2.2.3 Reže in trihomi	6
2.3 BIOKEMIJSKE LASTNOSTI LISTOV	7
2.3.1 UV absorbirajoče snovi	7
2.3.2 Klorofili in karotenoidi	8
2.3.3 Antociani	9
2.3.4 Silicijevi fitoliti	9
3 MATERIALI IN METODE	11
3.1 MESTO VZORČENJA	11
3.2 RASTLINSKI MATERIALI	11
3.3 APARATURE	13
3.4 MERITVE ODBOJNOSTI IN PREPUSTNOSTI LISTOV	14
3.5 MORFOLOŠKE MERITVE	14
3.5.1 Specifična listna površina in vsebnost vode	14

3.5.2	Število, velikost listnih rež in trihomov	15
3.5.3	Debelina lista, kutikule, povrhnjice in gobastega tkiva	15
3.6	BIOKEMIJSKE ANALIZE	15
3.6.1	Klorofili in karotenoidi	15
3.6.2	Antociani	16
3.6.3	UV absorbirajoče snovi	17
3.6.4	Določanje vsebnosti fitolitov	18
4	STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV	19
5	REZULTATI	21
5.1	ODBOJNOST IN PRESEVNOST LISTA	21
5.2	MORFOLOŠKE ANALIZE	31
5.2.1	SLA (specifična listna površina)	31
5.2.2	Vsebnost vode	31
5.2.3	Število listnih rež in trihomov	32
5.2.4	Zgradba lista	37
5.3	BIOKEMIJSKE ANALIZE	43
5.3.1	Klorofili	43
5.3.2	Karotenoidi	45
5.3.3	Antociani	47
5.3.4	UV absorbirajoče snovi	49
5.3.5	Vsebnosti fitolitov	51
5.4	VPLIV MORFOLOŠKIH TER BIOKEMIJSKIH PARAMETROV NA ODBOJNOST LISTOV	52
5.4.1	RDA analiza	52
5.4.2	Korelacije med biokemijskimi ter morfološkimi parametri in odbojnimi spektri listov	59
6	RAZPRAVA IN SKLEPI	65
6.1	RAZPRAVA	65
6.1.1	Primerjava odbojnih in presevnih spektrov	66
6.1.2	Povezava med odbojnimi spektri in morfološkimi ter med biokemijskimi lastnostmi	66
6.1.3	Primerjava med presevnimi spektri in morfološkimi ter biokemijskimi lastnostmi	68
6.1.4	Vsebnosti silicijevih fitolitov	69

Caserman H., Optične lastnosti listov rušnate masnice in modre stožke.

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

7	SKLEP	69
8	POVZETEK	70
9	VIRI	71
	ZAHVALA	
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Pregl. 1: Pregled vseh uporabljenih naprav	13
Pregl. 2: Pearson-ov korelacijski koeficient med morfološkiimi, biokemijskimi parametri listov in posameznim območjem odbojnega spektra lista pri vrsti <i>M. caerulea</i> , merjenimi na zgornji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$	60
Pregl. 3: Pearson-ov korelacijski koeficient med morfološkiimi, biokemijskimi parametri listov in posameznim območjem odbojnega spektra lista pri vrsti <i>M. caerulea</i> , merjenimi na spodnji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$	60
Pregl. 4: Pearson-ov korelacijski koeficient med morfološkiimi, biokemijskimi parametri listov in posameznim območjem presevnega spektra lista pri vrsti <i>M. caerulea</i> , merjenimi na zgornji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$	61
Pregl. 5: Pearson-ov korelacijski koeficient med morfološkiimi, biokemijskimi parametri listov in posameznim območjem presevnega spektra lista pri vrsti <i>M. caerulea</i> , merjenimi na spodnji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$	62
Pregl. 6: Pearson-ov korelacijski koeficient med morfološkiimi, biokemijskimi parametri listov in posameznim območjem odbojnega spektra lista pri vrsti <i>D. cespitosa</i> , merjenimi na zgornji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$	62
Pregl. 7: Pearson-ov korelacijski koeficient med morfološkiimi, biokemijskimi parametri listov in posameznim območjem presevnega spektra lista pri vrsti <i>D. cespitosa</i> , merjenimi na spodnji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$	63
Pregl. 8: Pearson-ov korelacijski koeficient odvisnosti med gostoto rež in trihomov ter med posameznimi odbojnimi spektri pri vrsti <i>M. caerulea</i> merjenem na zgornji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$	64
Pregl. 9: Pearson-ov korelacijski koeficient odvisnosti med gostoto rež in trihomov ter med posameznimi odbojnimi spektri pri vrsti <i>M. caerulea</i> merjenem na spodnji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$	64
Pregl. 10: Pearson-ov korelacijski koeficient odvisnosti med gostoto rež in trihomov ter med posameznimi presevnimi spektri pri vrsti <i>M. caerulea</i> merjenem na zgornji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$	64
Pregl. 11: Pearson-ov koeficient odvisnosti med gostoto rež in trihomov ter med posameznimi presevnimi spektri pri vrsti <i>M. caerulea</i> merjenem na spodnji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$	64
Pregl. 12: Povprečja vsebnosti silicija pri vrstah <i>M. caerulea</i> in <i>D. cespitosa</i> , v obeh obdobjih (junij, julij), $n = 3$	65
Pregl. 13: Student t test primerjava vsebnosti silicija	65
Pregl. 14: Testiranje normalnosti podatkov	2
Pregl. 15: Preglednica studentovih t-testov. Črke a, b, c, d, e in f označujejo statistično značilne razlike v vsebnosti morfoloških in biokemijskih parametrov.	3
Pregl. 16: Pearson-ov korelacijski koeficient med morfološkiimi, biokemijskimi parametri listov in posameznim območjem odbojnega spektra lista pri vrsti <i>D. cespitosa</i> , merjenimi na zgornji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$	6

KAZALO SLIK

Slika 1: <i>Deschampsia cespitosa</i>	12
Slika 2: <i>Molinia caerulea</i>	12
Slika 3: Svetlobni spektrofotometer.....	13
Slika 4: ISP-R integracijska sfera	14
Slika 5: Odbojni spektri listov pri vrsti <i>M. caerulea</i> merjeni na zgornji strani lista.....	22
Slika 6: Odbojni spektri listov pri vrsti <i>D. cespitosa</i> merjeni na zgornji in spodnji strani listov v obeh obdobjih.....	23
Slika 7: Spektri prepustne svetlobe listov vrste <i>D. cespitosa</i> merjeni na zgornji in spodnji strani listov v obdobji junija in julija	24
Slika 8: Spektri odbojne svetlobe pri vrsti <i>M. caerulea</i> merjeni na zgornji in spodnji strani listov v obdobjih junija in julija.....	25
Slika 9: Spektri presevne svetlobe pri vrsti <i>M. caerulea</i> merjeni na zgornji in spodnji strani listov v obdobjih junija in julija.....	26
Slika 10: Spektri odbojne svetlobe listov pri vrstah <i>M. caerulea</i> in <i>D. cespitosa</i> merjeni na zgornji strani listov v obdobjih junija in julija	27
Slika 11: Spektri odbojne svetlobe listov pri vrstah <i>M. caerulea</i> in <i>D. cespitosa</i> merjeni na spodnji strani listov v obdobjih junija in julija.	28
Slika 12: Spektri presevne svetlobe listov pri vrstah <i>M. caerulea</i> in <i>D. cespitosa</i> merjeni na zgornji strani listov v obdobjih junija in julija	29
Slika 13: Spektri presevne svetlobe listov pri vrstah <i>M. caerulea</i> in <i>D. cespitosa</i> merjeni na spodnji strani listov v obdobjih junija in julija.....	30
Slika 14: Specifična listna površina (SLA) pri vrstah <i>M. caerulea</i> in <i>D. cespitosa</i> merjena v obdobjih junija in julija	31
Slika 15: Vsebnost vode v listih pri vrstah <i>M. caerulea</i> in <i>D. cespitosa</i> merjene v obeh obdobjih junija in julija	32
Slika 16: Bodičke in reže na zgornji povrhnjici pri vrsti <i>M. caerulea</i>	33
Slika 17: Listne reže na spodnji povrhnjici pri vrsti <i>M. caerulea</i>	34
Slika 18: Listne reže na zgornji povrhnjici pri vrsti <i>D. cespitosa</i>	34
Slika 19: Gostota listnih rež pri vrstah <i>M. caerulea</i> in <i>D. cespitosa</i> v obdobjih junija in julija, merjeno na spodnji in zgornji strani lista.	35
Slika 20: Dolžina listnih rež pri vrstah <i>M. caerulea</i> in <i>D. cespitosa</i> merjenih v obeh obdobjih, na zgornji in spodnji strani listov.	36
Slika 21: Gostota trihomov pri vrstah <i>M. caerulea</i> in <i>D. cespitosa</i> merjenih v obeh obdobjih na spodnji in zgornji strani listov	37
Slika 22: Prečni prerez lista pri vrsti <i>M. caerulea</i>	38
Slika 23: Prečni prerez lista pri vrsti <i>M. caerulea</i>	38
Slika 24: Prečni prerez lista pri vrsti <i>D. cespitosa</i>	39
Slika 25: Vrsta <i>D. cespitosa</i> , prečni prerez	39
Slika 26: Debelina povrhnjice pri vrstah <i>M. caerulea</i> in <i>D. cespitosa</i> merjena v obeh obdobjih, na spodnji in zgornji strani povrhnjice.	40

Slika 27: Debelina kutikule pri vrstah <i>M. caerulea</i> in <i>D. cespitosa</i> merjena v obeh obdobjih na obeh straneh listov. (n=10).....	41
Slika 28: Debelina gobastega tkiva pri vrstah <i>M. caerulea</i> in <i>D. cespitosa</i> merjena v obeh obdobjih.....	42
Slika 29: Debelina lista pri vrstah <i>M. caerulea</i> in <i>D. cespitosa</i> merjena v obeh obdobjih juniju in juliju.	43
Slika 30: Vsebnost klorofila a in klorofila b	44
Slika 31: Vsebnost klorofila a in klorofila b	45
Slika 32: Vsebnost karotenoidov izražena na maso suhe snovi lista, pri vrstah <i>M. caerulea</i> in <i>D. cespitosa</i> merjene v obdobjih junija in julija	46
Slika 33: Vsebnost karotenoidov izražena na površino lista pri vrstah <i>M. caerulea</i> in <i>D. cespitosa</i> merjene v obdobjih junija in julija.....	47
Slika 34: Vsebnosti antocianov izražena na maso suhe snovi lista, pri vrstah <i>M. caerulea</i> in <i>D. cespitosa</i> merjene v obdobjih junija in julija	48
Slika 35: Vsebnost antocianov izražena na površino lista pri vrstah <i>M. caerulea</i> in <i>D. cespitosa</i> merjene v obdobjih junija in julija.....	49
Slika 36: Vsebnost UV-absorbirajočih snovi izražena na maso suhe snovi lista.	50
Slika 37: Vsebnost UV-absorbirajočih snovi izražena na površino lista.	51
Slika 38: Vsebnosti fitolitov silicija pri vrstah <i>M. caerulea</i> in <i>D. cespitosa</i> merjenimi v obdobju junija in julija.	52
Slika 39: Ordinacijski diagram redundančne analize (RDA) (odbojnost), na zgornji strani listov.....	54
Slika 40: Ordinacijski diagram redundančne analize (RDA) (odbojnost), na spodnji strani listov.....	56
Slika 41: Ordinacijski diagram redundančne analize (RDA) (prepustnost), na zgornji strani listov.....	57
Slika 42: Ordinacijski diagram redundančne analize (RDA) (prepustnost), (na spodnji strani listov.	58

KAZALO PRILOG

- Priloga A Preglednica testov normalnosti
- Priloga B Preglednica studentovih t-testov razlike povprečji
- Priloga C Korelacije med odbojnimi spektri in biokemijskimi oziroma morfološkimi parametri
- Priloga C1 Korelacije med odbojnimi spektri in režami oziroma trihomi

SLOVAR KRAJŠAV

ANOVA	analiza variance
Abs	absorpcija
Ant	antociani
E470, E530, E645, E662	absorpcije pri posameznih valovnih dolžinah
IR	infrardeče sevanje
Kar	karotenoidi
Kl <i>a</i> , Kl <i>b</i>	klorofil <i>a</i> , klorofil <i>b</i>
NIR	bližnje infrardeče sevanje (700-1400 nm)
SD	standardna deviacija
SLA	specifična listna površina
ss	suha masa
UV	ultravijolično sevanje (100-400 nm)
UV-A	ultravijolično sevanje A valovno dolžino 320-400 nm
UV-B	ultravijolično sevanje B z valovno dolžino 280-320
UV abs	UV-absorbirajoče snovi

1 UVOD

Listi rastlin so specializirane strukture, ki rastlinam med drugim omogočajo, da zbirajo sončno svetlobo, ki jo nato rastlina uporabi za kemijske procese fotosinteze (Taiz in Zeiger, 2001). Listi svetlobo bodisi absorbirajo ali pa se svetloba od njih odbije oziroma preseva skozi. Listi imajo ponavadi različno zgornjo (adaksialno) in spodnjo (abaksialno) stran. Zanimalo nas je ali se odbojnost in presevnost razlikujeta, če liste obsevamo iz zgorje ali če jih obsevamo iz spodnje strani.

Vrsti rušnata masnica (*Deschampsia cespitosa*) in modra stožka (*Molinia caerulea*) sta travi (Poaceae), ki se nahajata na območju Cerknškega jezera, ki je znano po svojem presihanju in poplavljanju. Rastline, ki uspevajo na tem območju, so zelo dobro prilagojene na ta pojava. V diplomski nalogi smo želeli proučiti optične lastnosti obeh trav in njihovo odvisnost od morfoloških in biokemijskih lastnosti, kot so debelina kutikule, struktura listov, vsebnost posameznih barvil in osnovnih elementov.

Trave so večinoma zelene rastline, redkeje olesenele, steblo imajo izrazito kolenčasto, večinoma nerazraslo in votlo. Listi so nameščeni dvoredno, listno dno tvori razločno listno nožnico. Listna ploskev je črtalasta do suličasta, razločno vzporedno žilnata, ploska ali uvita, ki objema steblo. Na različnih delih rastline so pogosto na povrhnjici razvite bodičke (toge, okoli 0,1 mm dolgi enocelični trihomi, inkrustrirani s kremenom), zato je površina raskava (Jogan, 1999).

Dosedanje raziskave so se ukvarjale z optičnimi lastnostmi različnih vrst listov, poudarek v zadnjem času je na nedestruktivnih metodah določanja morfoloških in biokemijskih lastnosti listov, s katerimi bi lahko ocenili fiziološko stanje rastlin (Combes, 2004, Feret in sod., 2008).

V nalogi smo proučevali biokemijske in morfološke parametre in njihov vpliv na odbojni in presevni spekter elektromagnetnega sevanja v IR, vidnem in UV območju. Cilj naloge je bil, da ugotovimo, kateri parametri in v kakšni meri vplivajo na odbojnost in propustnost lista za posamezne dele elektromagnetnega spektra. Želeli smo raziskati, ali se optične lastnosti razlikujejo znotraj vrste med različnimi obdobji in ali obstaja razlika med optičnimi lastnostmi zgorje in spodnje strani listov. Preiskali smo tudi razlike med vrstama.

1.1 CILJI NALOGE

Cilji naloge so:

- izmeriti odbojne in presevne spektre obeh vrst ter ugotoviti ali se medsebojno razlikujejo glede na izbrano vrsto trave, glede na obdobje merjenja in glede na opazovano stran listov,
- statistično oceniti vpliv različnih morfoloških in biokemijskih parametrov na odbojne in presevne spektre za posamezno rastlino,
- primerjati morfološke in biokemijske lastnosti med obema travama,
- primerjati ali se debelina kutikule, povrhnice, gobastega tkiva in skupna debelina lista pri obeh travah razlikujeta in kako se razlikujejo biokemijski parametri, kot so vsebnosti barvil in silicija.

1.2 DELOVNE HIPOTEZE

Hipoteza 1:

Odbojni in presevni spektri elektromagnetnega sevanja se razlikujejo glede na izbrano vrsto trave, glede na to ali so bili listi nabrani v juniju ali v juliju in glede na opazovano stran listov (obsevanje iz zgornje ali spodnje strani).

Hipoteza 2:

Največji vpliv na optične lastnosti lista v vidnem delu spektra imajo vsebnosti fotosinteznih barvil. V modrem in rdečem delu spektra bosta odbojnost in prepustnost listov nižji glede na preostale dele spektra. Na prepustnost in odbojnost v območju NIR spektra imajo največji vpliv anatomske značilnosti listov, ker barvila svetlobo v tem delu spektra slabše absorbirajo.

Hipoteza 3:

Vsebnosti fitolitov se pri isti vrsti trave med obdobji bistveno ne spreminjajo. Vsebnosti fitolitov so statistično značilno različne med obema vrstama trav.

2 PREGLED OBJAV

2.1 OPTIČNE LASTNOSTI LISTOV

2.1.1 Elektromagnetni spekter svetlobe

Svetloba je elektromagnetno sevanje, ki je sestavljeno iz oscilirajočih električnih in magnetnih valov, ki so pravokotni eden na drugega ter na smer razširjanja svetlobe (transverzalno valovanje). Svetloba se v vakuumu giblje s hitrostjo 3×10^8 m/s. Valovna dolžina valovanja je najmanjša razdalja med točkama v potujočem valovanju, ki sta v enaki fazi. Svetlobo lahko obravnavamo kot valovanje ali kot delce, ki jih imenujemo fotoni. Vsak foton vsebuje določeno količino energije, ki jo imenujemo kvant. Sončna svetloba je sestavljena iz elektromagnetnih valovanj, ki valujejo z različnimi frekvencami. Človeške oči zaznavajo le del te elektromagnetne svetlobe, ki jo imenujemo vidna svetloba. Ta svetloba ima valovne dolžine približno med 400 in 750 nm (Taiz in Zeiger, 2002).

Svetloba z malo višjimi frekvencami oziroma krajšimi valovnimi dolžinami je del ultravijoličnega spektra. Valovne dolžine tega spektra so med 280 in 400 nm. Svetloba z malo nižjimi frekvencami oziroma daljšimi valovnimi dolžinami pa je del infrardečega spektra, ki ima valovne dolžine daljše od 750 nm.

Vidni spekter je razdeljen v pasove oziroma intervale glede na valovne dolžine. Vijolični pas svetlobe ima valovne dolžine med 380 in 425 nm, modri pas med 425 in 490 nm, zeleni pas med 490 in 575 nm, rumeni pas med 575 in 585 nm, oranžni pas med 585 in 659 nm, rdeči pas med 650 in 759 nm ter NIR pas spektra svetlobe od 700 nm dalje vse do 30.000 nm (Tome, 2006). Barvni pasovi se v literaturi različno določajo, zato je za potrebe te diplome uporabljena prirejena razporeditev barvnih pasov.

Življenje na Zemlji je odvisno od sončne energije. Večji del ostalega živalskega kraljestva sončno energijo posredno pridobi iz rastlin s spresnavljanjem le teh. Tako lahko vidimo kako ključnega pomena je sončeva energija za obstoj življenja na Zemlji.

V povprečju samo 47 % sončnega sevanja doseže Zemljino površje. Več kot polovica sončnega sevanja se odbije nazaj v vesolje, kar je posledica odboja in disperzije svetlobe v višjih plasteh zemljine atmosfere. Veliko sevanja absorbirajo oblaki in razni majhni delci, ki so razpršeni po plasteh atmosfere. Skupna količina sončne svetlobe se bistveno ne spreminja, vendar svetloba neenakomerno dosega različne dele Zemljinega površja. Koliko svetlobe doseže določen predel Zemljinega površja je odvisno od večih faktorjev, predvsem od položaja in nagnjenosti vrtilne osi Zemlje glede na Sonce (letnih časov in dnevnega cikla), zemljepisne širine, lokalne topografije, atmosferskih razmer (oblačnost in megla).

Na delež svetlobe, ki ga rastline lahko izkoristijo, vpliva tudi čas cvetenja (fotoperiodika) in fototropizem (npr. rast rastline proti soncu, obračanje listov proti ugodnejši svetlobi) (Larcher, 2003).

Vse značilnosti odbojnih in prepustnih spektrov listov je mogoče pojasniti z dejstvom, da so listi dober difuzor svetlobe v celotnem območju valovnih dolžin sončne svetlobe. Listi vsebujejo strukture in snovi, ki absorbirajo svetlobo na določenih valovnih dolžinah. Glavni absorberji so biološki materiali, ki absorbirajo v UV in vidnem območju in voda, ki absorbira v IR območju. Površinska odbojnost na povrhnjici je v veliki meri odvisna od valovne dolžine. Listi močno absorbirajo svetlobo v ultravijoličnem in vijoličnem delu spektra (Wooley, 1970).

2.1.2 Odbojnost listov

Odboj elektromagnetnega sevanja na organskih površinah je povzročen predvsem z razliko v lomnih količnikih snovi (Woolley, 1970).

Največji vpliv na odbojnost listov pri valovni dolžini od 400 do 700 nm imajo klorofili, antocijani in karotenoidi. Pri valovni dolžini od 700 do 1400 nm imajo največji vpliv na odbojnost listov morfološke lastnosti listov, kot so vsebnost vode, kutikula, povrhnjica in ostala listna tkiva (Baltzer in Thomas, 2005; Vogelmann, 1993).

Listi najmočneje odbijajo zeleno svetlobo, najmanj odboja pa ima ultravijolično sevanje, saj se skoraj popolnoma absorbira (Larcher, 2003).

2.1.3 Prepustnost listov

Prepustnost je količina svetlobe, izražena kot delež količine svetlobe, ki preseva skozi predmet oziroma snov. Pri listih rastlin je prepustnost bistveno odvisna od debeline listov (Wooley, 1970).

Listi prepuščajo svetlobo, ki ima valovno dolžino okoli 550 nm in svetlobo, ki ima valovno dolžino daljšo od 800 nm (Larcher, 2003).

Pretekle raziskave so potrdile, da na prepustnost listov najbolj vpliva morfološka struktura listov v NIR delu spektra, v fotosinteznem delu spektra imajo glavno vlogo pri količini prepustne svetlobe fotosintezna barvila in v IR delu elektromagnetnega spektra, voda (Slaton, Hunt in Smith, 2001).

2.1.4 Absorpcija listov

Absorpcijski spekter je količina svetlobne energije, ki jo molekula ali snov uporabi ali absorbira. Pigmenti v rastlinah absorbirajo le svetlobo določenih valovnih dolžin. Absorpcijo svetlobe prikazuje absorpcijski spekter elektromagnetnega valovanja, ki ga raziskovalci lahko posnamejo s spektrofotometrom. Sončno energijo najprej absorbirajo zeleni pigmenti (klorofili) v rastlinah. Klorofile zaznamo kot zelene pigmente, ker v glavnem absorbirajo svetlobo v rdečem in modrem delu elektromagnetnega spektra. Tako

se samo del spektra z valovnimi dolžinami okoli 550 nm odbije in pride v naše oči in mi ga zaznamo kot zeleno svetlobo (Taiz in Zeiger, 2002).

Največ elektromagnetnega IR in UV sevanja absorbirajo površinski deli listov, kot so trihomi, dlake, kutikula in povrhnjica. Tako te površinske strukture delujejo kot zaščita notranjih plasti listov (Larcher, 2003).

2.2 MORFOLOŠKE LASTNOSTI LISTOV

2.2.1 Specifična listna površina in vsebnost vode

Listi imajo več nalog, najpomembnejše so zbiranje sončne energije, privzemanje ogljikovega dioksida in vode in zmanjševanje vodnih izgub. Natančna optimizacija teh funkcij zagotavlja optimizirano fotosintezno aktivnost. To je omogočeno z aklimatizacijo asimilacijskih področij na ravni morfoloških, biokemijskih in funkcionalnih nivojev (Boeger in Poulson, 2003; Šraj-Kržič in Gaberščik, 2005).

Trenutno še vedno ni jasno, kakšen je prispevek različnih anatomskih značilnosti na optične lastnosti tkiv. Stopnja hidracije lista vpliva tudi na njegove spektralne lastnosti pri čemer je odbojnost suhega listja v vidnem območju višja od odbojnosti svežih listov. Absorpcija vode določa obliko srednje infrardeče odbojne krivulje z močnimi absorpcijskimi pasovi pri valovnih dolžinah okoli 1400 nm in 1900 nm (Allen et al., 1969).

2.2.2 Zgradba lista (kutikula, povrhnjica in gobasto tkivo)

Kutikula

Prilagoditev na močno svetlo pogosto privede do povečanja debeline kutikule, katere glavna naloga je preprečevanje izgube vode (Grace in van Gardingen, 1996).

Kutikula poveča odboj svetlobe v celotnem vidnem spektru in NIR delu elektromagnetnega spektra, vendar je opazno, da je odboj največji pri krajših valovnih dolžinah, zaradi Rayleighovega sipanja (Clark in Lister, 1975; Reicosky in Hanover, 1978).

Povrhnjica

Epidermalne celične stene so značilno impregnirane z voskasto snovjo, kutinom, ki tvori zunanjo površinsko plast, imenovano povrhnjica, zlasti na zgornji strani listov. Površina povrhnjice je lahko gladka, spiralasta, brazdasta ali razpokana, odvisno od vrste. Povrhnjica se razlikuje po debelini, odvisna je od vrste in okoljskih razmer. Debelina povrhnjice bistveno vpliva na količino svetlobe, ki se odbije od površine lista. Pomemben je tudi vpadni kot svetlobe. Le ta vpliva na sprejem in porazdelitev svetlobe na meji zrak kutikula (Baltzer in Thomas, 2005; Barnes in Cardosa-Vilhena, 1996; Grant et al., 1993).

Debelina kutikule lahko spremeni listno površinsko odbojnost (Slaton et al., 2001).

Caserman H., Optične lastnosti listov rušnate masnice in modre stožke.

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

Več raziskav je potrdilo, da debelina povrhnjice, ki je večja od 1 μm , predstavlja enega izmed ključnih kazalcev odbojnosti listov v bližnjem infrardečem (NIR) spektru.

Enocelične ali večcelične epidermalne strukture, imenovane trihomi, so lahko prisotne na obeh straneh listov (Slaton et al., 2001).

Gobasto tkivo

Stebričasti mezofil je sestavljen iz specializiranih parenhimskih celic, podaljšanih v smeri pravokotno na listno površino. Te celice vsebujejo tudi številne diskaste kloroplaste, ki močno absorbirajo v rdečem in modrem spektru. Svetloba, ki je zbrana in usmerjena s konveksnih celic povrhnjice, je posredovana v cevaste stebričaste celice. Te celice delujejo kot svetlobni jaški, ki širijo vidno svetlobo naprej v sloje notranjih tkiv. Pod stebričasto plastjo celic je gobasti mezofil, ki je sestavljen iz ohlapno organiziranih okroglih ali nepravilno oblikovanih celic, ki vsebujejo manj kloroplastov. Značilnost gobastega mezofila so medsebojno povezani zunanji prostori, ki tvorijo kontinuum praznega območja. Na prodiranje svetlobe skozi liste, dolžino optične poti in stopnjo absorpcije vpliva oblika in debelina stebričastih in gobastih mezofilnih celic, ter razmerje med debelinama teh dveh plasti (DeLucia in Nelson, 1996; Vogelmann in Martin 1993; Vogelmann in Knapp 1988).

Odbojnost listov v NIR spektru (700 - 1300 nm) lahko pripišemo tudi aerenhimu med gobastim mezofilom. Odbojnost je lahko posledica razlik v lomnih količnikih med hidratiranimi celičnimi stenami in medceličnimi zračnimi prostori (Knapp in Carter, 1998; Woolley, 1975).

2.2.3 Reže in trihomi

Reflektanca je delež svetlobe, ki se odbije neposredno od površine listov in nikoli ne vstopi v listne celice. Zato na ta delež svetlobe ne vpliva vsebnost pigmentov in vsebnost vode znotraj listov. Odbojna površina se lahko bistveno poveča s strukturami na površini listov, kot so trihomi (Billings in Morris, 1951; Ehleringer, Björkman in Mooney, 1976) ali pa se odbojna površina poveča zaradi površinskih voskov na kutikuli (Cameron, 1970; Clark in Lister, 1975; Reicosky in Hanover, 1978).

Trihomi in druge strukture na površini listov povečajo odbojnost v celotnem vidnem območju elektromagnetnega spektra. Če vzamemo le IR del spektra lahko opazimo, da je odbojnost v tem delu spektra zmanjšana (Grant, 1987; Slaton, Hunt in Smith, 2001).

Zgradba trihomov se močno razlikuje glede na vrsto. Gostota trihomov je v pozitivni korelaciji s temperaturo okolja, v obratnem sorazmerju z vsebnostjo hranil in v negativni korelaciji s specifično listno površino in vsebnostjo vode (Ehleringer, 1982). Visoka gostota trihomov lahko bistveno spremeni odbojnostne spektre v območju vidne svetlobe (Ehleringer, Björkman, 1978). Trihomi in njim podobne strukture lahko močno povečajo površinski odboj svetlobe v vidnem delu spektra. Njihov vpliv v NIR spektru je zelo spremenljiv (Grant, 2008; in Mooney, 1976).

Caserman H., Optične lastnosti listov rušnate masnice in modre stožke.

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

2.3 BIOKEMIJSKE LASTNOSTI LISTOV

Svetloba, ki pada na list se lahko odbija, absorbira ali preseva. Absorpcija v vidni (VIS) in infrardeči (IR) regiji spektra je predvsem posledica spreminjanja kovalentne vezi med kisikom, ogljikom, vodikom in dušikom v rastlinskih biokemičnih komponentah, kot so sladkor, lignin, celuloza in proteini (Fourty et al., 1996).

Poleg tega so pigmenti, ki so odgovorni za barve listov, tudi glavne absorbirajoče molekule. Veliko število naravnih pigmentov, ki jih najdemo v rastlinah, tvori zaprte obročje tetrapirolov s centralnimi kompleksnimi kovinami. Paleta barv izvira predvsem iz strukture tetrapirolnih obročev in obrobni zamenjav in nevezane kovine (Lichtenthaler et al., 1996).

Veliko pomanjkanja hranil povzroči zmanjšanje vsebnosti klorofilov, sočasno povečanje odbojnost v vidnem (400-700 nm) in infrardečem (700-1100 nm) območju in modri premik v rdečem robu točke prevoja (Adams, 1999; Fourty et al., 1996).

2.3.1 UV absorbirajoče snovi

Ultra- vijolični (UV) del spektra je del neionizirajočega dela elektromagnetnega sevanja, ki predstavlja 8-9% celotne solarne radiacije (Coohil, 1989; Frederich, 1993).

UV del spektra dodatno delimo na tri dele:

UV-C (200-280 nm) del spektra je zelo škodljiv za organizme, vendar ni pomemben, saj pri naravnih pogojih ne prispe do zemeljskega površja, v celoti ga zaustavi stratosferski del Zemljine atmosfere.

UV-B (280-320 nm) del spektra predstavlja le 1,5 % vsega spektra, vendar lahko povzroči veliko poškodb na rastlinah.

UV-A (320-400 nm) del spektra predstavlja skoraj 6% prihajajočega solarne sevanja in je najmanj škodljivo od vseh UV sevanj. UV sevanje, ki ima valovne dolžine daljše od 330 nm lahko v večini preide skozi atmosfero Zemlje in doseže njeno površino (Robberech, 1989).

Rastline valovne dolžine UV dela spektra večinoma absorbirajo s pomočjo flavonoidov. Zelo malo UV sevanja se odbije od listne površine, skoraj nič ga listi ne presevajo skozi površino. Flavonoidi so UV absorbirajoče snovi, ki list ščitijo pred škodljivimi vplivi valovnih dožin UV sevanja. Vseeno majhen del UV sevanja pride do kloroplastov, ki se nahajajo v mezofilu lista. Tam sevanje absorbirajo klorofili in ga izseva kot fluorescenco (Yoshimura et al., 2009).

UV absorbirajoče snovi so tudi klorofili, karotenoidi in antociani.

2.3.2 Klorofili in karotenoidi

Pigmenti so integralno povezani s fiziološko funkcijo listov. Klorofili absorbirajo svetlobno energijo in jo prenesejo v aparaturo za fotosintezo. Karotenoidi (rumeni pigmenti) lahko prav tako prispevajo energijo v fotosintezni sistem. Ob prekomernih jakostih svetlobne energije karotenoidi preprečijo poškodbe fotosinteznega aparata z odvajanjem in porabo odvečne energije v ksantofilnem ciklu (Demming-Adams in Adams, 1996).

Klorofili so tetrapirolna barvila, pri katerih so štiri enote pirola sklenjene in tvorijo tako imenovani porfirinski obroč. Na ta obroč je z vezjo pripet ion magnezija. Klorofili, ki se nahajajo v membrani, imajo v svoji strukturi hidrofobno alkoholno molekulo. Le ta se pretvarja v fitolno molekulo, ta pa se veže v lipidno membrano in na ta način klorofili lažje in učinkoviteje absorbirajo svetlobo. Klorofil a in klorofil b sta najpomembnejša predstavnika klorofilov. Razlikujeta se po skupinah, vezanih na obroč: klorofil a ima v obroču pripeto metilno skupino ($-\text{CH}_3$), klorofil b ima pripeto aldehidno ($-\text{CHO}$) skupino. Ob prisotnosti svetlobe molekula klorofila prestreza fotone in energijo prenaša v fotosintezni reakcijski center (Taiz in Zeiger, 2002).

Klorofili imajo dva absorpcijska vrhova. Maksimalna absorpcija se pojavlja pri valovnih dolžinah med 660 in 680 nm (rdeči del elektromagnetnega spektra) in pri valovnih dolžinah okoli 450 nm (modrovijolični del spektra). Modri vrh absorpcije klorofilov sovpada z absorpcijo vrha karotenoidov, zato se modri del spektra ne uporablja za oceno vsebnosti klorofilov (Buschman in Nagel, 1993; Lichtenthaler et al., 1996).

Vse zelene rastline vsebujejo kot pomožna fotosintezna barvila tudi karotenoide. Zelene listi vsebujejo lutein (okoli 45 % od prisotnih karotenoidov), beta karoten (25–30 %), violaksantin (15 %) in neoksantin (15 %). Absorpcijski vrhovi karotenoidov so med 400 in 500 nm (oranžni in modri del spektra). Nahajajo se na notranji strani tilakoidnih membran in so antenski (pomožni) pigmenti. Pospešujejo hitrost fotosinteze, zbirajo fotone in jih posredujejo v reakcijski center klorofilom v obliki eksocitonov. Pri fotosintezi karotenoidi absorbirajo svetlobo tudi v modrozelenem delu (nad 500 nm) in tako razširijo uporabni del svetlobnega spektra (Taiz in Zeiger, 2002).

Hkrati pa imajo karotenoidi tudi vlogo zaščitnih pigmentov, ki varujejo klorofile pred premočno svetlobo, ki bi jih lahko poškodovala. Pri fotosintezi lahko nastajajo tudi reaktivne oblike kisika, ki bi potencialno lahko poškodovale tkiva. Karotenoidi z absorpcijo presežne energije svetlobe preprečijo nastanek takih škodljivih oblik kisika (Paletty in Young, 1993; Biswall, 1995). Kadar so rastline pod stresom najhitreje začnejo propadati klorofili, karotenoidi so bolj obstojni (Gitelson in Merzlyak, 1994a, 1994b; Merzlyak et al., 1999).

Odbojnostni in prepustnostni vzorci listov v vidnem območju naj bi bili odvisni predvsem od koncentracije klorofila (Vogelmann, 1993).

Vsebnost klorofila je mogoče oceniti iz enačb na osnovi njihove absorpcijske značilnosti (Porra, 2002).

2.3.3 Antociani

Antociani so skupina vodotopnih, pigmentiranih flavonoidov, ki so prisotni v številnih rastlinskih organih (Harborne, 1967).

Antocianini se razlikujejo od večine drugih flavonoidov v tem, da interagirajo z valovnimi dolžinami sončnega spektra. Absorbirajo svetlobo v zelenem in rumenem delu elektromagnetnega spektra sončne svetlobe med 500 in 550 nm valovne dolžine (Harborne, 1967).

Antocianini so pigmenti roza, vijolične in rdeče barve, ki lahko zaščitijo liste pred premočno svetlobo (Barker et al., 1997; Dodd et al., 1998) ali UV-svetlobo (Burger in Edwards, 1996).

Vendar so študije o lokaciji antocianov v listih najrazličnejših vrst odkrile, da so antociani pogostejši v mezofilu, ki se nahaja nekoliko globlje v listih, kot v zgornjih delih povrhnjice, kjer bi jih pričakovali, saj lahko služijo kot dober zaslon pred premočno svetlobo (Gould in Quinn, 1999).

Antocianini lahko služijo tudi kot lovilci reaktivnih kisikovih intermediatov (Sherwin-Farrant, 1998; Yamasaki, 1997) ali kot fungicidna sredstva (Coley in Kušar, 1996).

Zaradi pomembnosti funkcije pigmentov v listih nam razlike v vsebnosti pigmentov lahko dajo informacije o fiziološkem stanju listov. Koncentracija antocianov je največja v mladih listih, ki imajo nizko fotosintezno stopnjo (Gamon in Surfus, 1999) in v listih rastlin, kjer je bila rast omejena z nizko temperaturo ali drugimi stresi (Chalker-Scott, 1999) ter v senescenci listov nekaterih vrst.

Mnoge raziskave so potrdile, da antociani povečujejo odbojnost svetlobe v listih v rdečem delu spektra (Boyer et al 1988; Barker et al., 1997) ali pa poveča absorpcijo rdeče svetlobe, ki bi drugače prešla skozi liste (Lee et al., 1979; Lee, 1986).

Razlike v optičnih lastnosti antocianov (v listih) so lahko povezane z različnimi v lokacijami pigmentov v listih. Antocianini se najpogosteje nahajajo v mezofilnih celicah gobastega tkiva, vendar se pri nekaterih vrstah antociani pojavljajo tudi v celicah povrhnjice ali pa v parenhimatskih celicah pod povrhnjico (Gould in Quinn, 1999).

2.3.4 Silicijevi fitoliti

Vse rastline vsebujejo silicij. Njegovo pomanjkanje lahko povzroči nestabilno strukturo rastlinskih organov. Vendar je kljub temu silicij element, ki je večinoma prezrt s strani raziskovalcev rastlinske ekologije (Epstein, 1994).

Caserman H., Optične lastnosti listov rušnate masnice in modre stožke.

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

Največ raziskav silicija prihaja iz agronomije, arheologije, paleontologije in biogeokemije (Datnoff et al., 2001).

Silicij je v rastlinah kovalentno vezan na kisik in se raztaplja v vodi ter tvori silicejevo kislino (Si(OH)_4). Silicij ne vpliva na membranski potencial (Bauer, 2011).

V bioloških sistemi je elementarni silicij vedno oksidiran. Silificirane strukture v rastlinah znanstveniki imenujejo fitoliti (Bauer, 2011).

Silicij se znotraj rastlin nahaja v silicijevih in v bulliformnih celicah, nekaj pa ga najdemo tudi v silificiranih trihomih (Kaufman, 1984).

Rastlinski silicij ima veliko biokemičnih funkcij kot silicijeva kislina in fizioloških funkcij kot kremenica. Rastlinski silicij lahko poveča rastlinsko odpornost v mnogih temeljnih vidikih ekologije, vključno s herbivornimi interakcijami, odbojnostjo in prestrezanjem svetlobe, odpornostjo do patogenov in blažitve abiotičnih stresov. Raziskave potrjujejo, da so silicijevi fitoliti ključni elementi, ki jih rastline potrebujejo, da se uspešno prilagodijo podnebnim spremembam (Bremond et al., 2005).

Rastline lahko privzemajo silicij le v obliki silicijeve kisline in ga vračajo v okolje v obliki amorfnega silicijevega oksida. Vsebnosti silicijevih fitolitov variirajo med vrstami, nekatere rastline vsebujejo le sledi silicija, medtem ko pri nekaterih drugih, npr. pri rižu, zasledimo, da silicijevi fitoliti predstavljajo do 10% celotne suhe mase rastline (Epstein, 1999).

Vsebnost silicija v rastlinah je močno povezana tudi s filogenijo rastlin. Malo silicija vsebujejo Pteridophyta in Gymnospermae, večje koncentracije pa so raziskovalci našli družinah pri Lycopodiaceae in Equisetaceae. Visoke vsebnosti silicija so našli tudi pri družinah Cucurbitaceae, Magnoliaceae in pri Monocotyledontih v družinah Poaceae in Acerecaceae (Piperno, 2006; Hodson et al., 2005).

Vsebnosti silicija v rastlinah so odvisne tudi od količine silicija, ki se nahaja v substratih, na katerih rastejo rastline. Koeficient variiranja vsebnosti silicija znotraj posameznih vrste je višji, kot pri katerem koli drugem elementu v rastlinah (Epstein, 1999).

V naravnih sistemih vsebnost silicijevih fitolitov variira glede na vrsto tal in glede na letne čase (Farmer, 2005).

Silicijev dioksid (SiO_2) se odlaga v velikih količinah v poganjkih trav. V listih trav najdemo silicij vključen v matriks celične stene, predvsem zunanje povrhnjice (Kaufman, et al., 1984).

Morfologija diskretnih kremenovih delcev ali fitolitov se razlikuje med rastlinskimi taksoni (Piperno, 2006).

MATERIALI IN METODE

2.4 MESTO VZORČENJA

Obe vrsti smo nabrali na področju Cerknškega polja. Cerknško polje je dolgo 9 km in široko od 2 do 3 km ter leži na nadmorski višini 550 m (Breznik, 1961). Cerknško jezero se nahaja na dnu Cerknškega polja in ima kraške značilnosti. Nahaja se pri mestu Cerknica in spada med presihajoča jezera. Cerknško polje se napolni z vodo dvakrat na leto. Prvič spomladi in drugič pozno jeseni ali zgodaj pozimi. Suho obdobje se običajno začne pozno spomladi (Kranjc, 1984). Skozi vse leto se pojavljajo velika nihanja vodostaja, zato na tem območju uspevajo vrste, ki so prilagojene na režim stalnega nihanja vodostaja (Gaberščik in sod., 2003).

2.5 RASTLINSKI MATERIALI

V raziskavi smo uporabili dve travi (Poaceae) *Molinia caerulea* in *Deschampsia cespitosa*. Obe sta bili nabrani na področju Cerknškega polja, natančneje na področju Cerknškega jezera. Material je bil izkopan s koreninami. Izbrali smo šope rastline, ki je imela mlade in stare liste. Material smo nato prenesli v laboratorij, ga očistili in takoj pričeli z raziskavo.

Vrsta *Deschampsia cespitosa* ali rušnata masnica je šopasta trajnica, ki ima steblo visoko 10 - 30 cm, najdaljše listne ploskve ima dolge nad 10 cm. Njeni listi so široki največ 1,2 (1,5) cm. Listne ploskve so ravne, široke nad 2 mm, zgornja stran je razločno vzdolžno žlebasta. Njeni habitati so vlažni travniki, gozdni robovi, gozdne jase, močvirja. Rada ima obvodne habitate, pogosta je v nižinah in sega vse do subalpinskega pasu. V Sloveniji obstajajo tri podvrste (Jogan in sod., 2007).

Slika 1: *Deschampsia cespitosa* (vir: talltreesgroup.com)

Vrsta *Molinia caerulea* ali modra stožka je šopasta trajnica s številnimi znotrajnožničnimi poganjki. Stebla ima pokončna z vrhnjim kolencem le malo nad dnom. Korenine in pritlični internodiji so odebeljeni. Lat je pretežno strjen s pokončno štrlečimi vejicami. Listne ploskve ima dolge manj kot 30 cm in široke manj kot 7 cm, dlake, ki nadomeščajo listno kožico, ima dolge manj kot 0,5 mm. Pogosto ima klaske modrovijolične barve. Njeni habitati so močvirni travniki, barja, resave in gozdne jase. Raste rada tudi na pustih, vlažnih, zmerno zakisanih tleh. V Sloveniji se pojavlja od nižin do subalinskega pasu (Jogan in sod., 2007).

Slika 2: *Molinia caerulea* (vir: talltreesgroup.com)

2.6 APARATURE

Preglednica 1: Pregled vseh uporabljenih naprav

Naprava	Proizvajalec	Država
Integracijska sfera ISP-30-6-R	Ocean Optics	ZDA
Optični kabel QP600-1-SR-BX	Ocean Optics, Inc., Dunedin, FL	ZDA
Svetlobni vir UV-VIS-NIR DH-2000	Ocean Optics, Inc.	ZDA
Svetlobni mikroskop	Olympus CX41	ZDA
SpectraSuite (Ocean Optics, Inc., USA), programska oprema	Ocean Optics, Inc.	ZDA
Spektrofotometer UV/VIS Lamda 25	Perkin-Elmer, Norwalk, CT	ZDA
Spectron white reference panel, referenčna bela ploščica	Ocean Optics, Inc.	ZDA
Sušilnik Sterimatic ST-11	Instrumentaria	Zagreb

Spektrofotometer je optični instrument, ki meri spektralne podatke, torej valovno dolžino in jakost svetlobne energije, ki jo merjeni objekt odbija (prepušča ali absorbira). Odbojnost se meri v intervalih valovnih dolžin svetlobnega spektra (Bejič, Milak; 2009).

Spektrofotometer meri odboj svetlobe, ki se odbije od površine ali izseva iz notranjosti objekta nazaj v smeri izvora svetlobe. Odboj je odvisen od valovne dolžine svetlobe.



Slika 3: Svetlobni spektrofotometer (vir: Perkin-Elmer, Norwalk, CT)

Uporaba integracijske sfere je priporočljiva, kadar površina vzorca odbija svetlobo pod drugačnim kotom od vpadne svetlobe ali če difuzno odbija svetlobo. To se pojavi pri brušeni kovini, ribjih luskah, semenih, hrapavih površinah, listih ipd.

Zbiralna krogla (integracijska sfera) ima 180° pogled odbite svetlobe, kar ji omogoča, da bolj natančno (in absolutno) meri odbojnosti. Glavna značilnost sfere je popolnoma gladka in popolnoma difuzna notranjost. Svetloba vstopa skozi krožni vhod in se neštetokrat razprši po notranji steni sfere, vse dokler svetloba ni popolnoma enotna. Vlakno, ki se nahaja na 90° pri vhodu, nato zbere majhen del svetlobe znotraj sfere in jo usmeri k spektrometru (Sharp, 2012).



Slika 4: ISP-R integracijska sfera (vir: Ocean optics,inc)

2.7 MERITVE ODBOJNOSTI IN PREPUSTNOSTI LISTOV

Sveže nabranemu materialu smo najprej merili odbojnost in presevnost. Sveže liste rastline smo položili na podstavek in na liste smo pravokotno namestili integracijsko sfero. To smo nato povezali z optičnim kablom in tega povezali s spektrofotometrom. Kalibracijo integracijske sfere smo opravili neposredno pred meritvami, tako da smo s pomočjo svetlobnega vira izmerili referenčne vrednosti ob osvetljevanju naprave z belo svetlobo in uporabo bele referenčne ploščice (100 % odbojnost) in ob zatemnitvi naprave (0 % odbojnost). Odbojnost in presevnost smo merili na zgornji in nato še na spodnji strani listov s spreminjanjem smeri izvora svetlobe. Pri rastlini *M. caerulea* smo preučevali odbojnost in presevnost na enem listu, pri *D. cespitosa* smo morali zaradi preozkih listov rastline pod sfero namestiti dva lista. Merski vzorec je bil 10 listov (parov listov) za vsako rastlino posebej.

Ločljivost meritev svetlobnih elektromagnetnih spektrov je podana s karakteristiko naprave in znaša 0,3 nm. Intenzitete odbite in presevne svetlobe smo merili samo na delu elektromagnetnega spektra in sicer pri valovnih dolžinah od 280 do 887 nm. Podatke iz spektrofotometra smo obdelali s pomočjo računalniškega programa in jih izvozili v ASCII datotekah (CSV). Datoteke vsebujejo zapis o sredini intervala valovne dolžine in pripadajoči intenziteti svetlobe, ki je bila izmerjena v tem intervalu. Sledili so statistični preračuni.

2.8 MORFOLOŠKE MERITVE

2.8.1 Specifična listna površina in vsebnost vode

Vsaki rastlini smo odvzeli deset svežih in zrelih listov, ki so bili med seboj podobnih površin. Površine smo izmerili s pomočjo milimetrskega papirja. Posamezni list smo razdelili na tri enake dele. Vsak del smo stehali in jih dali v sušilnik. Liste oziroma njihove tretine smo sušili 24 ur pri temperaturi 105°C. Nato smo liste ponovno stehali. Izračunali smo specifično listno površino (Specific Leaf Area - SLA), ki je količnik med površino vzorca in njegovo suho maso, izraženo v $\text{cm}^2 \text{mg}^{-1}$.

Vsebnosti vode v listih smo izračunali iz razlike v suhi in sveži masi listnih delov.

2.8.2 Število, velikost listnih rež in trihomov

Po končanih meritvah odbojnosti in presevnosti smo začeli s pregledovanjem rež in trihomov. Liste trav, na katerih smo merili odbojnost in presevnost, smo premazali s prozornim lakom nato še s prozornim lepilnim trakom. Dobili smo odtise listnih povrhnjic, na njih pa odtise trihomov in listnih rež. Odtise smo nalepili na objektno stekelce in tako dobili trajne preparate. Pod mikroskopom smo si najprej ogledali preparate in nato začeli šteti trihome in reže v vidnem polju okularja. Na vsakem trajnem preparatu smo pregledali 8 vidnih polj. Preštetim režam in trihomom smo nato še izmerili dolžino. Pri nekaterih trihomih odtisi niso bili dovolj dobri, zato dolžine nismo mogli izmeriti. Dolžine rež in trihomov smo merili z računalniškim programom Cell (CellSens, Olympus, Japan), ki meri razdalje v vidnem polju mikroskopa in je predhodno umerjen.

Ko smo opravili vse meritve, smo iz dobljenih podatkov izračunali površinsko številsko gostoto trihomov in rež. Sledili so statistični preračuni.

2.8.3 Debelina lista, kutikule, povrhnjice in gobastega tkiva

Debelino lista, debelino kutikule, debelino povrhnjice in debelino gobastega tkiva smo merili na istih listih, ki smo jim izmerili odbojnost in presevnost. Vsak list smo prečno 5 - krat narezali z britvicami na zelo tanke rezine, jih položili na objektna stekelca in tako narediličasne preparate. Nato smo prečne prereze listov pregledali pod mikroskopom in merili posamezne debeline posameznih morfoloških struktur z računalniškim programom Cell (CellSens, Olympus, Japan). Iz dobljenih podatkov smo nato naredili statistične preračune in grafične prikaze.

2.9 BIOKEMIJSKE ANALIZE

Z biokemijskimi analizami smo določili vsebnosti klorofilov, karotenoidov, antocianov in UV-absorbirajočih snovi. Vsaki travi smo vzeli po 10 novih listov in jih razdelili na tri dele. Delom listov smo izmerili površino s pomočjo milimetrskega papirja in jih zamrznili na -20°C , da smo ohranili vsebnosti barvil v listih.

Vsebnosti silicija smo določili iz preostanka vzorcev listov trav. Od vsake trave smo zbrali preostali material, liste smo razdelili na tri dele, ki smo jih razdelili v tri testne skupine, ki smo jim ločeno določili vsebnost silicija.

2.9.1 Klorofili in karotenoidi

Najprej smo določili vsebnosti klorofilov in karotenoidov. Vzorce smo strli v terilnici. Nato smo jih prelili z 10 mL 100 % acetona (v/v), da smo razstopili celulozno steno rastlinskih celic in nato vzorce centrifugirali 4 minute pri 4000 vrtljajev na minuto (rpm), pri temperaturi 4°C . Po centrifugiranju smo odčitali prostornine ekstraktov in jih vstavili v spektrofotometer. Absorbcijo smo določevali pri valovnih dolžinah 470,

645 in 662 nm. Metodo za določevanje vsebnosti klorofilov in karotenoidov sta postavila Lichtenthaler in Buschmann (2001).

Iz dobljenih podatkov smo nato po predlogih enačb, ki so bile predlagane v članku (Lichtenthaler in Buschmann, 2001), naredili preračune, ki numerično ocenijo vsebnosti klorofilov in karotenoidov na podlagi podatkov o absorpcijah elektromagnetnega valovanja pri določenih valovnih dolžinah.

$$Kl\ a [mg / g] = ca \cdot V / (ss \cdot 10^3) \quad (1)$$

$$Kl\ a [mg / dm^2] = ca \cdot V / (P \cdot 10^3) \quad (2)$$

Enačba 1: Enačbi za numerično oceno vsebnosti klorofila a, prirejene na volumen oziroma površino lista. Opomba: enote na desni in levi strani se ne ujemajo

$$c_a (\mu g/ml) = 11,24 \cdot E_{662} - 2,04 \cdot E_{645} \quad (3)$$

$$c_b (\mu g/ml) = 20,13 \cdot E_{645} - 4,19 \cdot E_{662} \quad (4)$$

Enačba 2: Enačbi za numerično oceno koncentracije klorofila a in klorofila b

$$Kl\ b [mg / g] = cb \cdot V / (ss \cdot 10^3) \quad (5)$$

$$Kl\ b [mg / dm^2] = cb \cdot V / (P \cdot 10^3) \quad (6)$$

Enačba 3: Enačbi za numerično oceno vsebnosti klorofila b, prirejene na volumen oziroma površino lista. Opomba: enote na desni in levi strani se ne ujemajo

$$Kar [mg / g] = (10^3 \cdot E_{470} - 1,9ca - 63,14cb) \cdot V \cdot 10^{-3} \cdot ss^{-1} / 214 \quad (7)$$

$$Kar [mg / dm^2] = (10^3 \cdot E_{470} - 1,9ca - 63,14cb) \cdot V \cdot 10^{-3} \cdot P^{-1} / 214 \quad (8)$$

Enačba 4: Enačbi za numerično oceno vsebnosti karotenoidov, prirejene na volumen oziroma površino lista. Opomba: enote na desni in levi strani se ne ujemajo

c_a - koncentracija klorofila a

c_b - koncentracija klorofila b

V - volumen ekstrakta [ml]

ss - suha masa vzorca [g]

P - površina vzorca [dm²]

E - absorpcija pri izbrani valovni dolžini [kg/m³]

2.9.2 Antociani

Za določevanje antocianov smo liste prelili z 10 mL ekstrakcijske raztopine metanol:HCl (37 %) v razmerju 99:1 (v/v). Vzorce smo centrifugirali 4 minute pri 4000 obratih na minuto (rpm), pri temperaturi 4°C, in odčitali prostornine ekstraktov. Vzorce smo nato za 24 ur shranili v hladilniku pri temperaturi 3-5°C in jih nato vstavili v spektrofotometer.

Absorpcijo smo določevali pri valovni dolžini 530 nm. Metodo za določevanje antocianov smo povzeli po članku Kharej in Guruprasad, (1993).

Iz dobljenih podatkov smo nato po predlogih enačb, ki so bile predlagane, naredili preračune, ki numerično ocenijo koncentracije antocianov na podlagi podatkov o absorpcijah elektromagnetnega valovanja pri določenih valovnih dolžinah.

$$c \text{ Ant [mg/g]} = E530 \cdot V \cdot ss^{-1} \quad (9)$$

$$c \text{ Ant [mg/g]} = E530 \cdot V \cdot P^{-1} \quad (10)$$

Enačba 5: Enačbi za numerično oceno vsebnosti antocianov, prirejeni na volumen oziroma površino listov. Opomba: enote na desni in na levi strani niso enake

E530 – absorpcija pri izbrani valovni dolžini 530 nm

V – prostornina ekstrakta [ml]

ss - suha masa vzorca [g]

P - površina vzorca [dm²]

2.9.3 UV absorbirajoče snovi

Zadnji set zamrznjenih delov listov smo uporabili za določevanje vsebnost preostalih UV-A in UV-B absorbirajočih snovi. Liste smo ekstrahirali v 10 ml ekstrakcijskega medija metanol:destilirana voda:HCl(67%) v razmerju 79 : 20 : 1 (v/v) ter inkubirali v hladnem in temnem prostoru za 20 minut. Vzorce smo centrifugirali 10 minut pri 4000 vrtljajih na minuto (rpm), pri temperaturi 10°C, in odčitali prostornine ekstraktov. Vzorce smo nato vstavili v spektrofotometer. Absorpcijo smo določevali pri valovnih dolžinah med 280 in 400 nm. Metodo za določevanje antocianov smo povzeli po članku (Caldwell, 1968).

Iz dobljenih podatkov smo nato po predlogih enačb, ki so bile predlagane v članku, naredili preračune, ki numerično ocenijo koncentracije UV-A in UV-B absorbirajočih snovi na podlagi podatkov o absorpcijah elektromagnetnega valovanja pri določenih valovnih dolžinah.

$$UV \text{ abs [ml}^{-1} \text{ g}^{-1}] = I / (V \cdot ss) \quad (11)$$

$$UV \text{ abs [ml}^{-1} \text{ dm}^{-2}] = I / (V \cdot P) \quad (12)$$

Enačba 6: Enačbi za numerično oceno vsebnosti UV-B in UV-A absorbirajočih snovi, prirejeni na volumen oziroma površino listov. Opomba: enote na desni in na levi strani niso enake

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

V = prostornina ekstrakta [ml]

ss = suha masa [g]

P = površina vzorca [cm²]

2.9.4 Določanje vsebnosti fitolitov

Iz preostalega materiala posamezne trave določili vsebnost fitolitov. Šope trave smo temeljito očistili nečistoč, jih stekali in posušili. Posušene šope trave smo razrezali na manjše dele in jih prelili s 45% dušikovo (V) kislino (HNO_3). Vzorce smo postavili v termoblok in jih segrevali do popolnega razklopa rastlinskih tkiv. Ekstrahirane silicijeve fitolite smo skozi teflonski filter nučirali. Filter smo predhodno posušili in stekali. Filter s silicijevimi fitoliti smo nato prelili s 45% klorovodikovo kislino (HCl), da smo izprali iz ekstakta morebitne ostanke kalcija, na koncu pa smo filter spirali še z destilirano vodo. Filter z ekstrahiranimi fitoliti smo posušili, ponovno stekali in iz razlike mas filtrov izmerili maso ekstrahiranih fitolitov.

Iz dobljenih podatkov smo izrazili kvocient med maso fitolitov in maso suhega rastlinskega tkiva. Sledili so statistični preračuni.

3 STATISTIČNA OBDELAVA PODATKOV

Pomemben podatek pred nadaljnjimi statističnimi obdelavami predstavlja informacija o normalni porazdelitvi izmerjenih podatkov, saj je to predpogoj za nadaljnje statistične metode in obdelave. Normalno porazdelitev podatkov smo testirali s **Shapiro-Wilkovim testom**.

Razlike v morfoloških in biokemijskih parametrih pri obeh travah smo statistično ocenili in medsebojno primerjali s **Studentovim t testom**, pri podatkih, ki so bili razporejeni normalno. Pri podatkih, za katere nismo mogli trditi, da so normalno razporejeni, pa smo uporabili **Mann-Whitney-jev test** in **Kruskal-Wallis-ov test**.

Rezultate odbojnosti in presevnosti listov obeh trav *D. cespitosa* in *M. caerulea* smo ponazorili z grafi odbojnosti in presevnost, kot primerjavo med zgornjo in spodnjo stranjo lista ter kot primerjavo med dvema obdobjema, to je med meritvami v mesecu juniju in juliju (Slika 7, Slika 8, Slika 9, Slika 9).

Morfološke analize smo opravljali na izbranih desetih listih za vsako rastlino in rezultate prikazali v škatlastih diagramih (bloxplot), ki so razdeljeni v 4 četrtine, ročaji predstavljajo mejne vrednosti, srednja horizontalna črta predstavlja srednjo vrednost. Zvezdice in krogi predstavljajo ekstremne vrednosti.

Iz podatkov o intenzivnosti odboja in prepustnosti smo najprej izračunali povprečja desetih listov, nato smo podatke o svetlobnih spektrih razporedili v skupine glede na intervale (območja) svetlobe UV - B (280-319,99), UV - A (320-399,99), vijolično (400-454,99), modro (455-499,99), zeleno(500-579,99), rumeno (580-619,99), rdeče (620-699,99), NIR (700-886,99) (Brand, 1995). Rezultate smo predstavili z grafi, narejenimi v programu Microsoft Office Excel 2007.

Ko smo medsebojno primerjali obdobji junij in julij, pri vsaki rastlini posebej smo imeli na voljo dve skupini s po tremi vzorci. Ker sem imela majhen vzorec in neznano varianco sem izračunala testni izraz za majhne vzorce z neznanimi povprečji in variancami.

Podatke o morfoloških lastnostih in biokemijskih lastnostih smo analizirali s **Pearsonovim korelacijskim testom**, ki smo ga opravili s programom IBM SPSS Statistic 21 (Inc., IBM Company, ZDA). Test nam je povedal, ali obstaja povezava med odbojnostjo oziroma prepustnostjo in morfološkimi oziroma biokemijskimi parametri. Program označi statistično značilne vplive med posameznimi parametri z zvezdicami (ena zvezdica * pri verjetnosti $p \leq 0,05$, in dve zvezdici ** pri verjetnosti $p \leq 0,01$).

Pri redundančni analizi smo primerjali vsote intenzitet po frekvenčnih območjih, ki smo jih pridobili tako, da smo integrirali (sešteli) prispevke vseh intenzitet v določenem

frekvenčnem spektru. Seštevke smo izvajali na povprečjih po 10. listih, ki smo jih predhodno izračunali.

Kolikšna povezava obstaja in kateri parametri so signifikantno vplivali na optične lastnosti in koliko % variabilnost spektrov razloži posamezen izmed parametrov smo ponazorili z **klustersko redundančno analizo (redundancy analysis – RDA)**, ki smo jo naredili s pomočjo programa CANOCO for Windows 4.0. Monte Carlo za permutacijske teste in rezultate predstavili v RDA grafih. Signifikantnost smo potrdili z verjetnostjo $p \leq 0.05$.

4 REZULTATI

4.1 ODBOJNOST IN PRESEVNOST LISTA

Prikazani rezultati so merjeni v območju UV-B in UV-A spektra ter v območju vidne in NIR svetlobe.

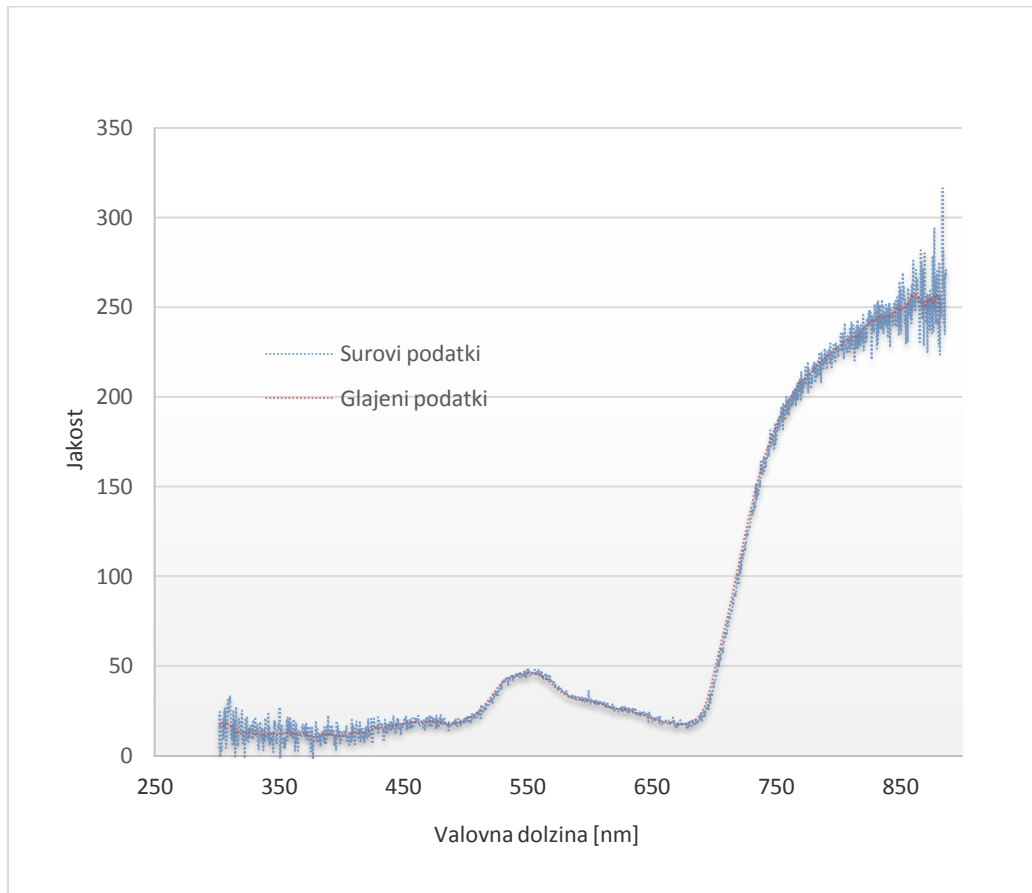
Za prikaz odbojnosti in presevnosti smo uporabili glajena povprečja intenzitet po desetih listih.

Rezultate smo primerjali še med obema rastlinama skupaj in opazili, da med obema rastlinama ni opaznejših razlik pri merjenju odbojnosti. Pri merjenju presevnosti pa so razlike večje (Slika 10, Slika 11, Slika 12, Slika 13).

Pri vseh meritvah intenzitet smo dobili krivulje podobne oblike. Krivulje imajo dva minimuma in dva maksimuma. Minimuma se pojavljata pri valovnih dolžinah od 400, in pri valovnih dolžinah od 650 do 750 nm. Maksimuma sta pri valovni dolžini 550 nm in pri valovnih dolžinah nad 750 nm. Minimumi predstavljajo močna absorpcijska področja, kjer rastlinski pigmenti absorbirajo večino vpadne svetlobe (Slaton, 1995), maksimuma pa predstavljata območja, kjer rastlinski pigmenti svetlobo predvsem odbijajo ali pa svetloba prehaja skozi list. Manjše razlike med stranjo lista, obdobjema in med posameznima vrstama, se pojavljajo predvsem v območjih vidne svetlobe in območjih NIR svetlobe. Razlike so verjetno nastale zaradi različnih morfoloških lastnosti posameznih listov in tudi zaradi merskih napak samega merjenja intenzitet.

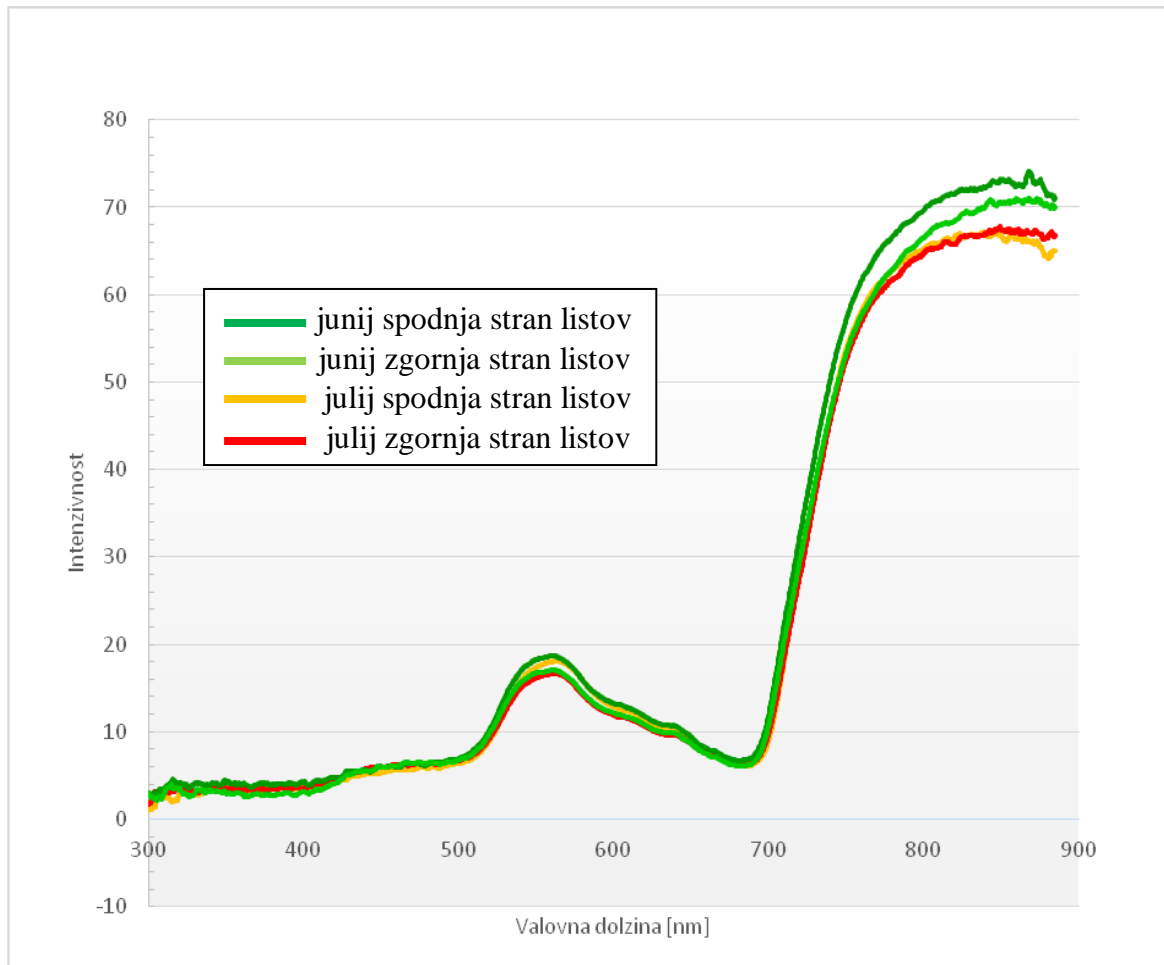
Meritve intenzitet svetlobe pri valovnih dolžinah pod 350 nm in nad 800 niso zanesljive zaradi merskih napak in napak samih aparaturo.

Pri prvem grafu smo želeli predstaviti, kako izgleda odbojnost enega samega lista. Opazimo lahko, da imajo intenzitete svetlobe maksimum pri 550 nm valovne dolžine in pri valovnih dolžinah nad 800 nm. Minimuma pa se pojavita pri valovnih dolžinah okoli 400 nm in pri valovnih dolžinah okoli 690 nm.

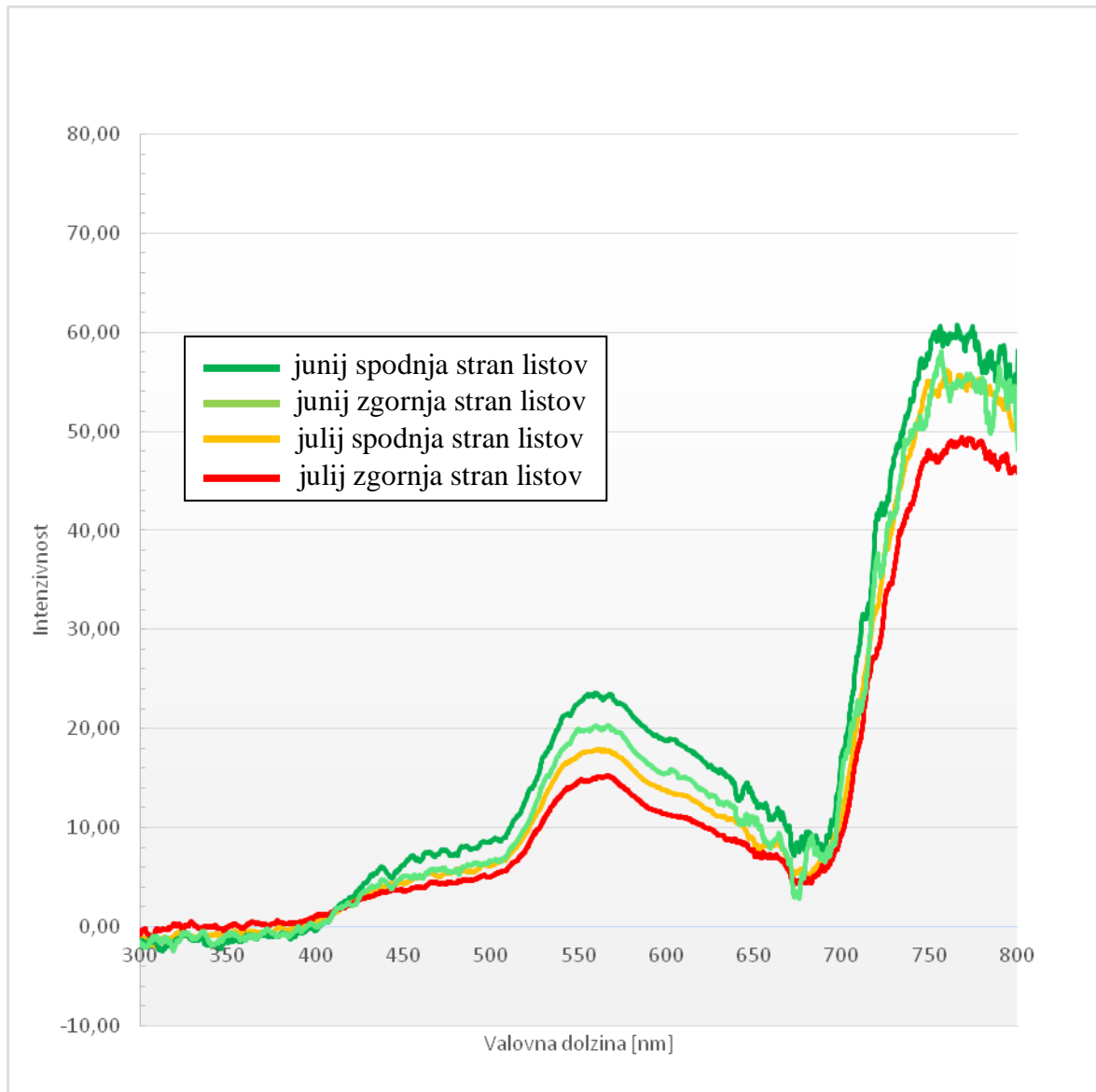


Slika 5: Odbojni spektri listov pri vrsti *M. caerulea* merjeni na zgornji strani lista, slika prikazuje odbojne spektre enega lista.

Spodnji štiri grafi (Slika 6, Slika 7, Slika 8, Slika 9) predstavljajo odbojnost oziroma prepustnost listov pri obeh rastlinah. Krivulje grafov so podobne oblike, opazili smo le, da imajo listi v junijskem obdobju vedno višje vrednosti intenzitet kot listi v julijskem obdobju.

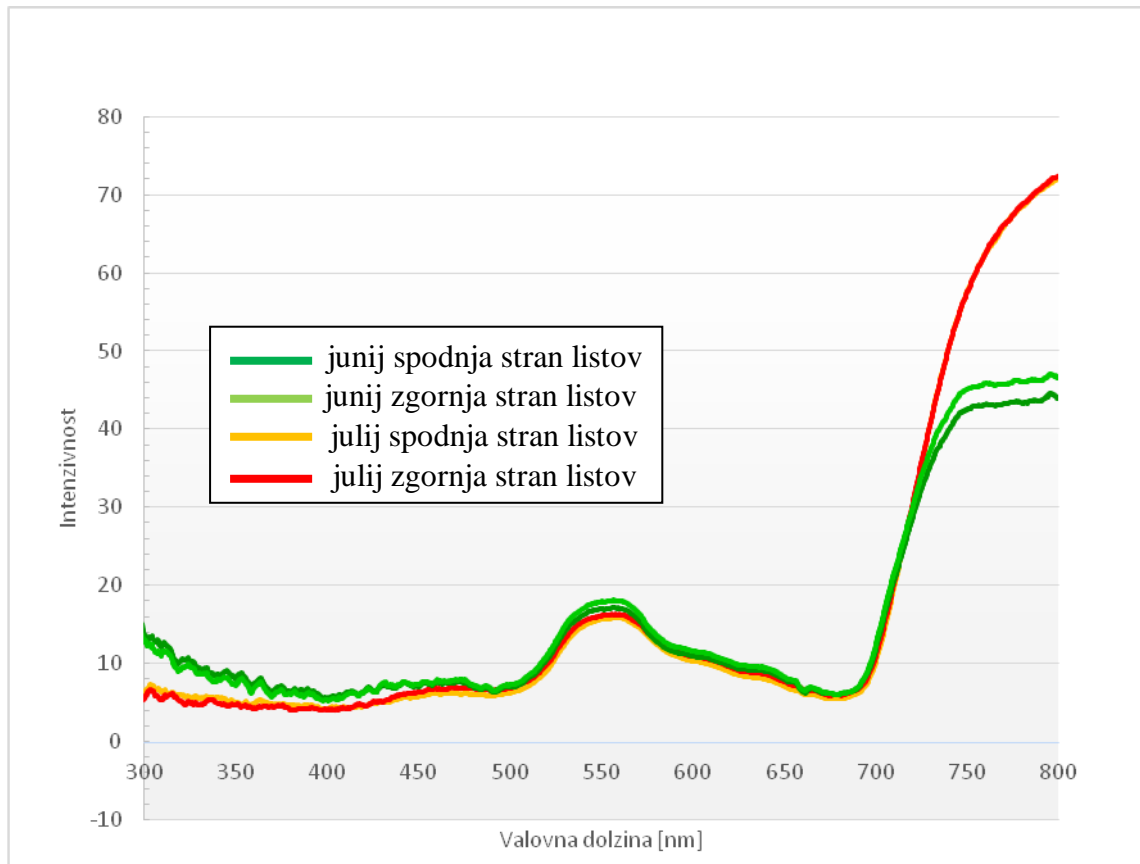


Slika 6: Odbojni spektri listov pri vrsti *D. cespitosa* merjeni na zgornji in spodnji strani listov v obdobjih junija in julija; (n=10).

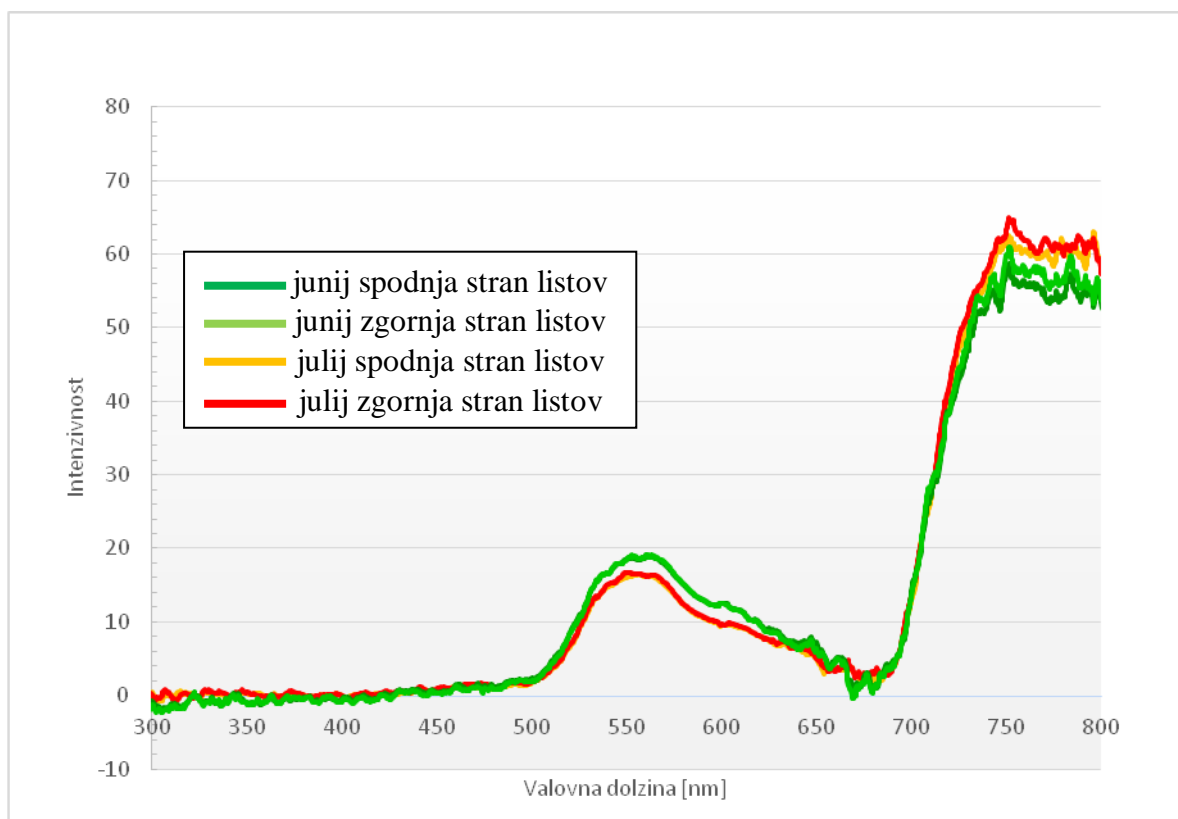


Slika 7: Spektri prepustne svetlobe listov vrste *D. cespitosa* merjeni na zgornji in spodnji strani listov v obdobju junija in julija; (n=10)

V julijskem obdobju je prepustnost za svetlobo manjša kot v junijskem obdobju. Najvišje vrednosti intenzitet doseže prepustnost merjena na spodnji strani lista. Nižje intenzitete pa doseže prepustnost merjena na zgornji strani listov.

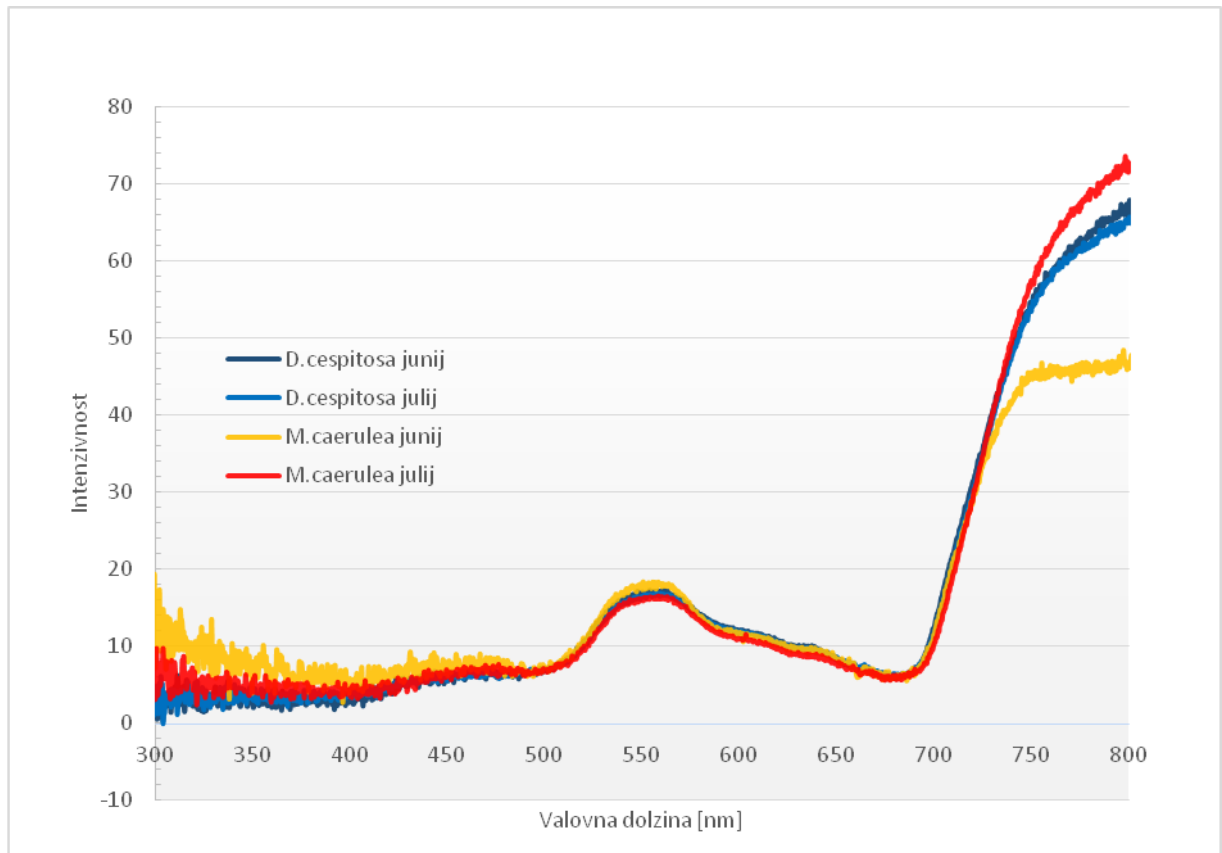


Slika 8: Spektri odbojne svetobe pri vrsti *M. caerulea* merjeni na zgornji in spodnji strani listov v obdobjih junija in julija; (n=10)

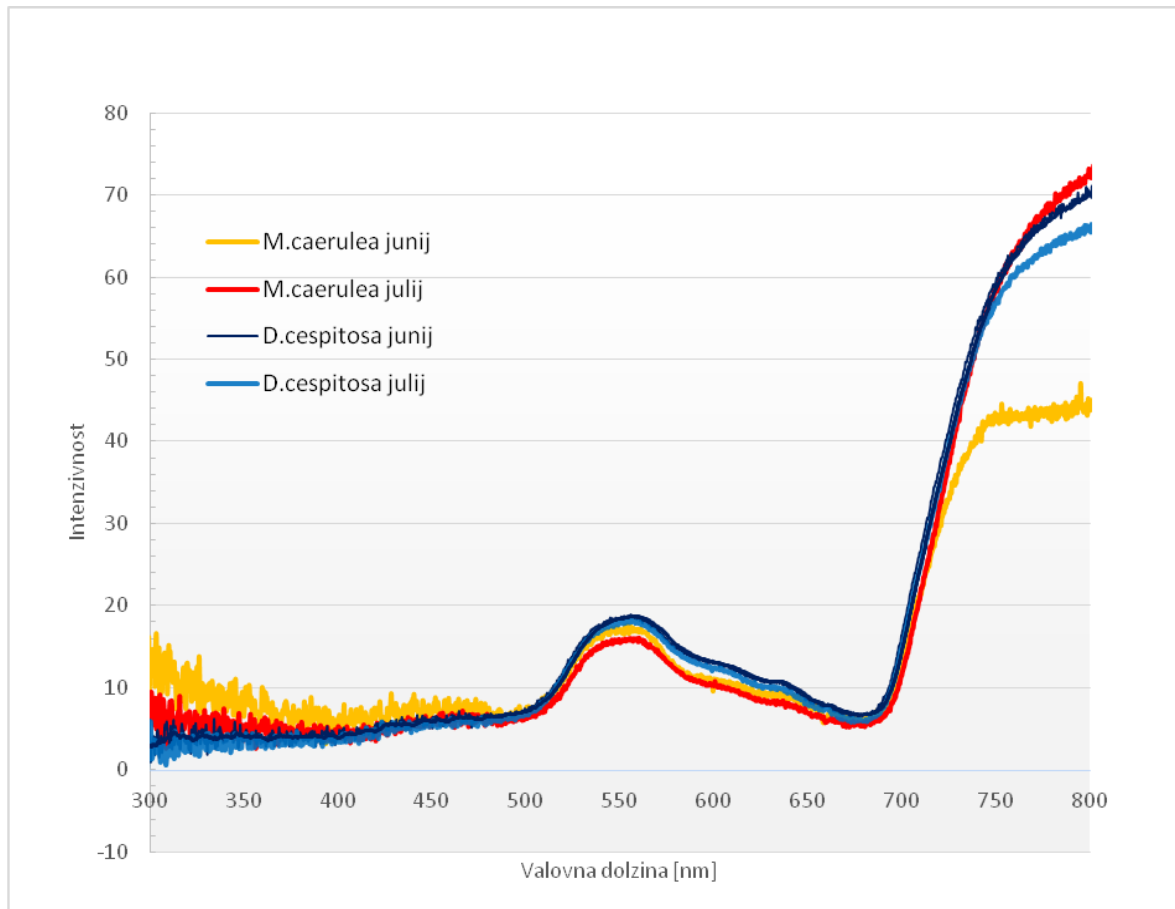


Slika 9: Spektri presevne svetobe pri vrsti *M. caerulea* merjeni na zgornji in spodnji strani listov v obdobjih junija in julija; (n=10).

Pri primerjavi obeh rastlin ne opazimo večjih odstopanj. Vrsta *M. caerulea* ima v junijskem obdobju pri meritvah odbojnosti zelo nizke vrednosti vsot intenzitet. Razlaga za to, bi lahko bila napaka pri meritvah vrednosti intenzitet.

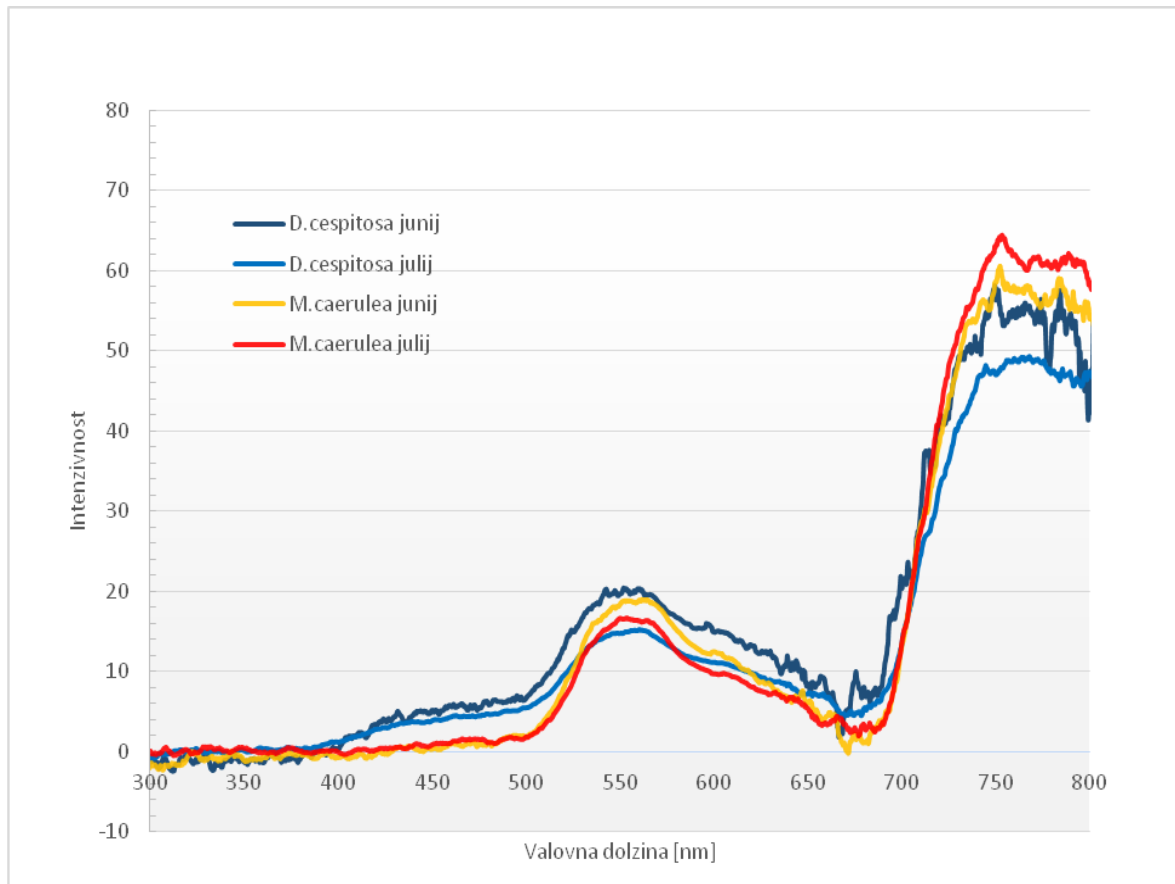


Slika 10: Spektri odbojne svetlobe listov pri vrstah *M. caerulea* in *D. cespitosa* merjeni na zgornji strani listov v obdobjih junija in julija; (n=10).



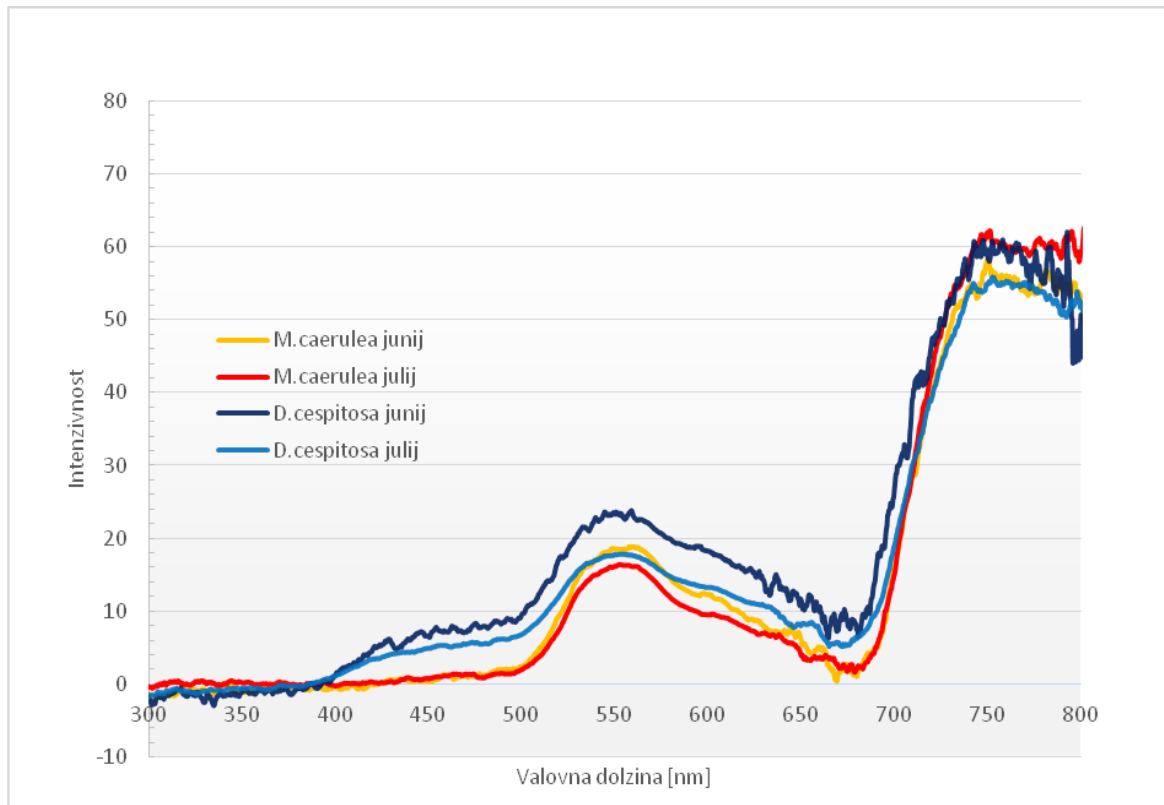
Slika 11: Spektri odbojne svetlobe listov pri vrstah *M. caerulea* in *D. cespitosa* merjeni na spodnji strani listov v obdobjih junija in julija; (n=10).

Vrsta *D. cespitosa* ima v območju vidne svetlobe višje vrednosti vsot intenzitet kot vrsta *M. caerulea*



Slika 12: Spektri presevne svetlobe listov pri vrstah *M. caerulea* in *D. cespitosa* merjeni na zgornji strani listov v obdobjih junija in julija; (n=10)

Najvišje vrednosti vsot intenzitet presevne svetlobe smo izmerili pri listih vrste *D. cespitosa* v obdobju junija v območju vidne svetlobe. Vrste *M. caerulea* ima v NIR delu spektra višje vrednosti vsot intenzitet presevne svetlobe kot vrsta *D. cespitosa*.



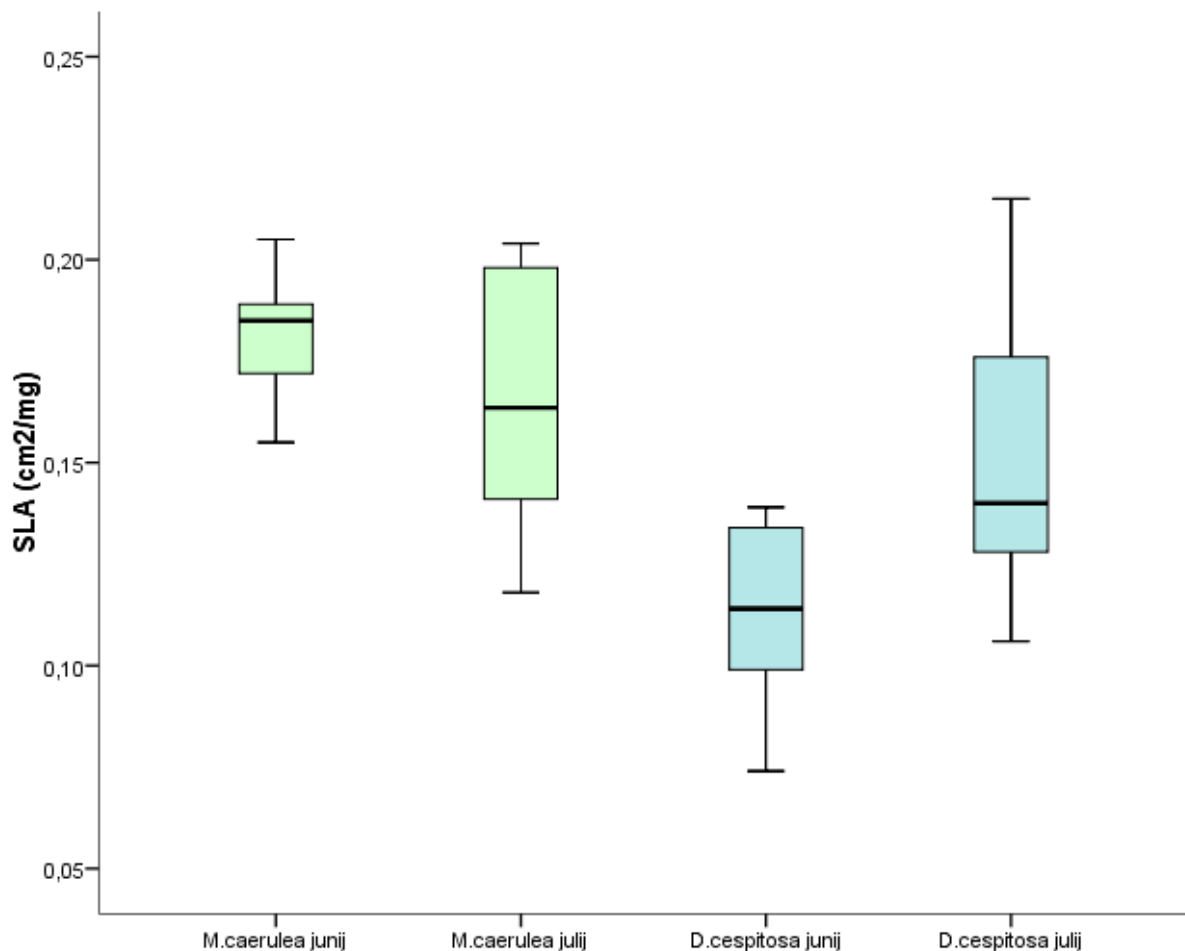
Slika 13: Spektri presevne svetlobe listov pri vrstah *M. caerulea* in *D. cespitosa* merjeni na spodnji strani listov v obdobjih junija in julija (n=10).

Pri merjenju presevnosti na spodnji strani listov, vsote intenzitet vrste *D. cespitosa* dosegajo višje vrednosti kot vsote intenzitet pri vrsti *M. caerulea*.

4.2 MORFOLOŠKE ANALIZE

4.2.1 SLA (specifična listna površina)

Specifična listna površina ima pri obeh preučevanih rastlinah statistično različne vrednosti (Preglednica 15). Obe travi imata dolge, ozke liste. Statistično značilno SLA imajo listi vrste *M. caerulea* v obeh obdobjih, listi vrste *D. cespitosa* pa imajo statistično različno SLA ko primerjamo obdobja. Obe vrsti imata statistično različno SLA.

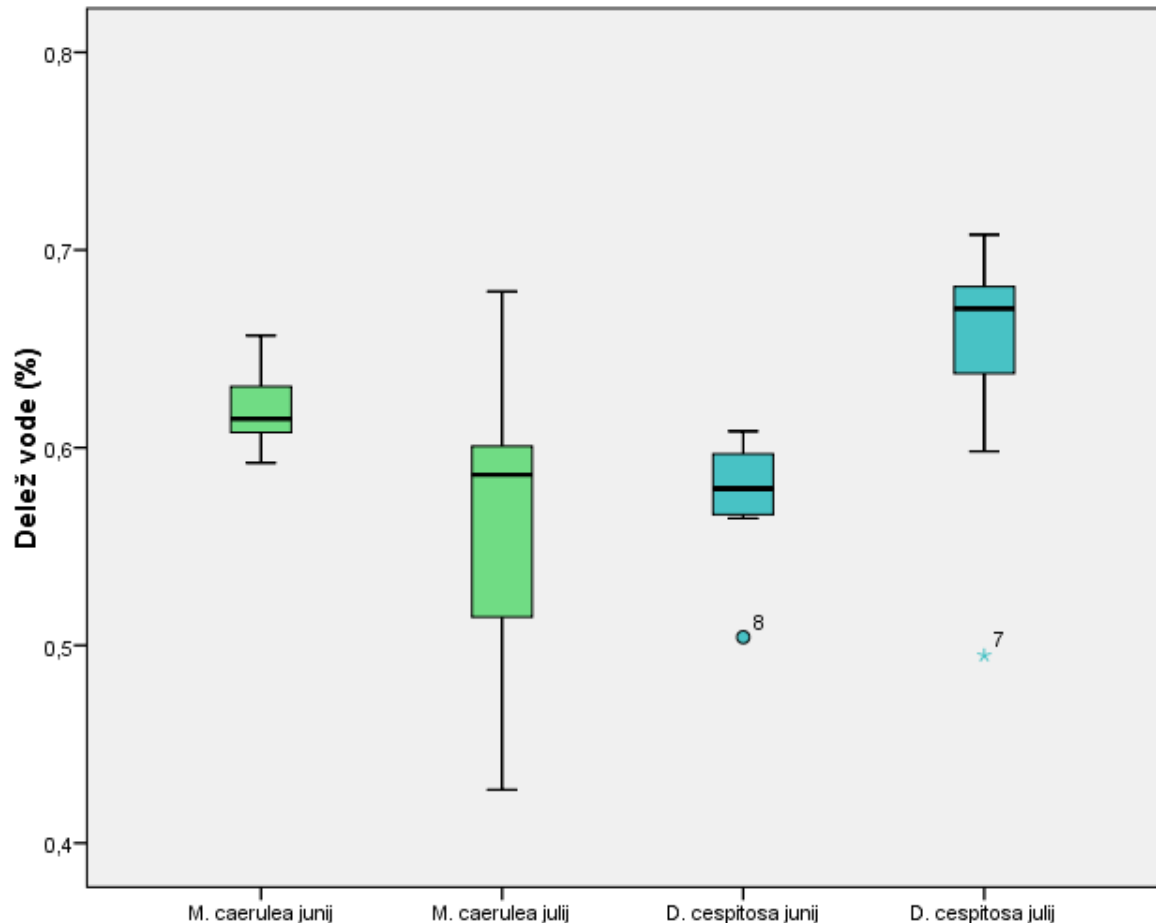


Slika 14: Specifična listna površina (SLA) (cm²/mg) pri vrstah *M. caerulea* in *D. cespitosa* merjena v obdobjih junija in julija; (n=10). Zelena barva predstavlja vrsto *M. caerulea*, modra barva predstavlja vrsto *D. cespitosa*. Podatki so predstavljeni v škatlastih diagramih (bloxplot), ki so razdeljeni v 4 četrtine, ročaji predstavljajo mejne vrednosti, srednja horizontalna črta predstavlja srednjo vrednost.

4.2.2 Vsebnost vode

Vsebnost vode smo izrazili, kot delež vode, ki je količnik med (masa svežega vzorca lista - masa suhega vzorca lista) in masa svežega vzorca lista.

Vrsta *D. cespitosa* ima v obdobju junija nižji delež vode kot v obdobju julija. Statistično se vsebnost vode med vrstama ne razlikuje, (Preglednica 15).



Slika 15: Vsebnost vode v listih pri vrstah *M. caerulea* in *D. cespitosa* merjene v obeh obdobjih junija in julija; (n=10). Podatki so predstavljeni v škatlastih diagramih (bloxplot), ki so razdeljeni v 4 četrtine, ročaji predstavljajo mejne vrednosti, srednja horizontalna črta je mediana, ki predstavlja polovico podatkov. Zvezdice in krogi predstavljajo izstopajoče (ekstremne) vrednosti.

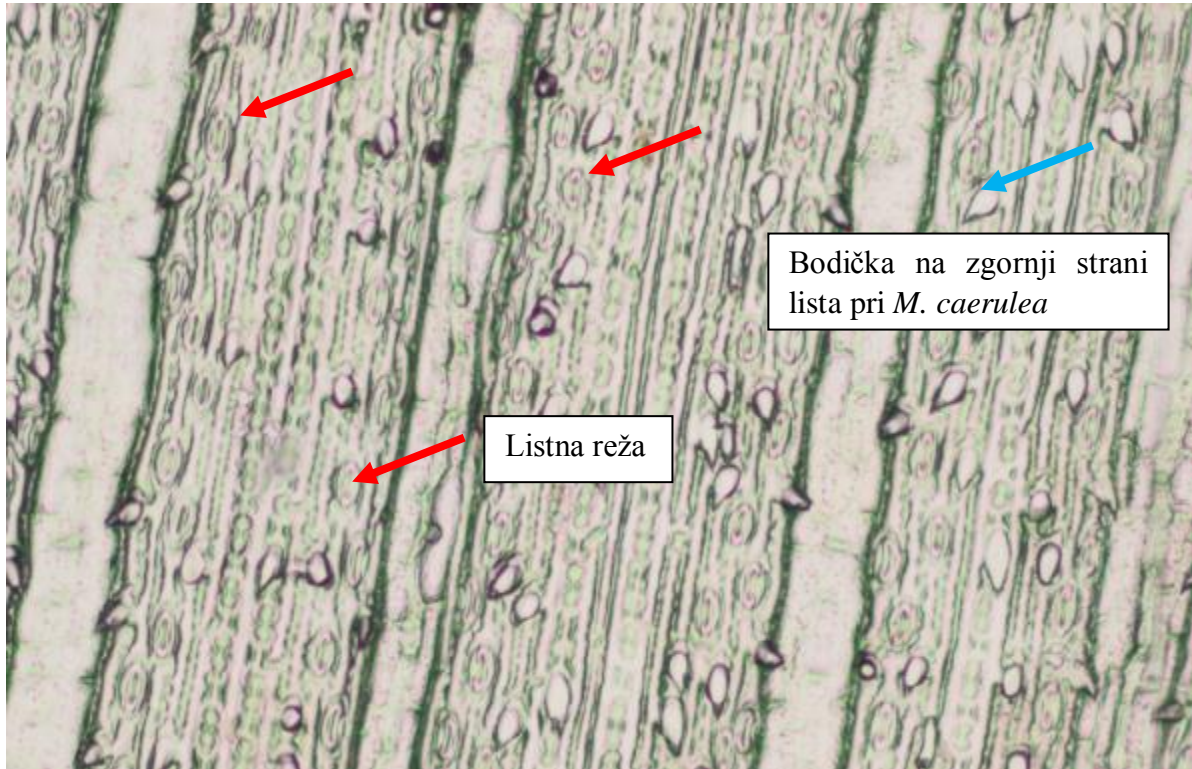
4.2.3 Število listnih rež in trihomov

Na listih, ki smo jim prej izmerili intenzitete smo nato pod mikroskopom in s pomočjo računalniškega programa prešteli listne reže in trihome ter jim izmerili dolžine. Pri vrsti *D. cespitosa* so bili vzorci spodnje strani listov zelo slabi, zato v rezultatih nismo upoštevali dolžine trihomov.

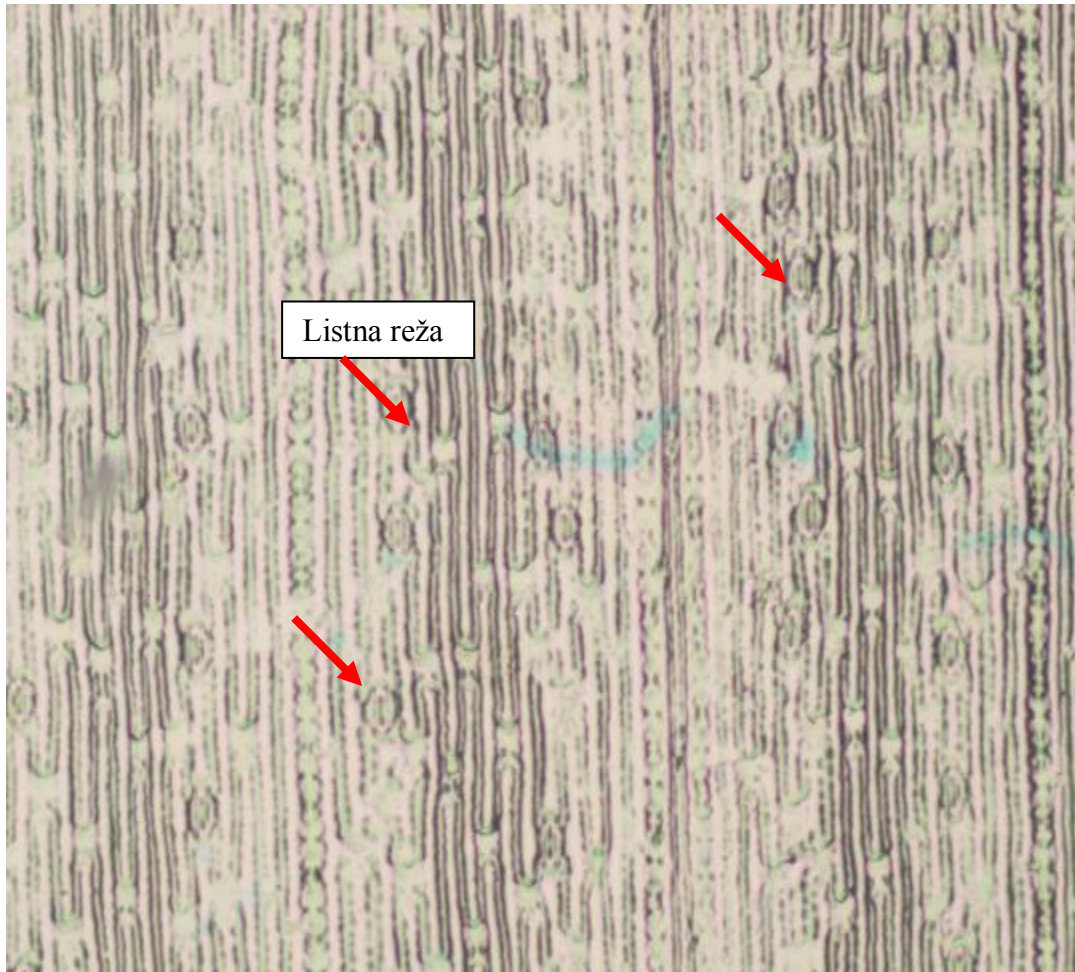
Reže in trihome smo šteli pri 100x povečavi, dolžine rež in trihomov smo merili pri 400x povečavi vidnega polja. Vidno polje pri 100x povečavi ima površino 0,024 cm², pri 400x povečavi pa 0,0038 cm².

Opazili smo da ima vrsta *M. caerulea* veliko večjo gostoto trihomov kot vrsta *D. cespitosa*. Pri vrsti *D. cespitosa* smo imeli težave pri štetju trihomov, ker so bili trajni preparati slabi.

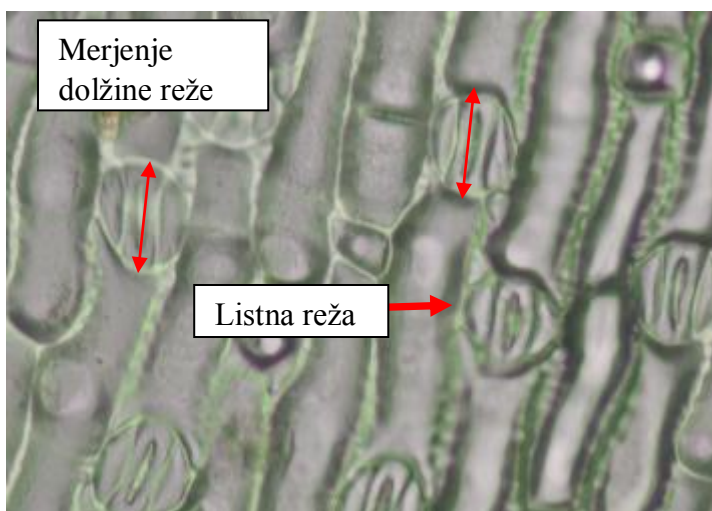
Vrsta *D. cespitosa* ima značilno trikotno obliko listov, ki jim po sredini poteka trd sklerenhimatski predel, zato so listi trdi in togi in posledično težko odtisljivi. Kljub temu pa je razlika v gostoti trihomov pri vrsti *D. cespitosa* na povrhnjicah veliko manjša kot pri vrsti *M. caerulea*.



Slika 16: Bodičke in reže na zgornji povrhnici pri vrsti *M. caerulea*. Z rdečimi puščicami smo pokazali kje se nahajajo reže, z modrimi puščicami smo pokazali, kje se nahajajo trihomi. 100x povečava.



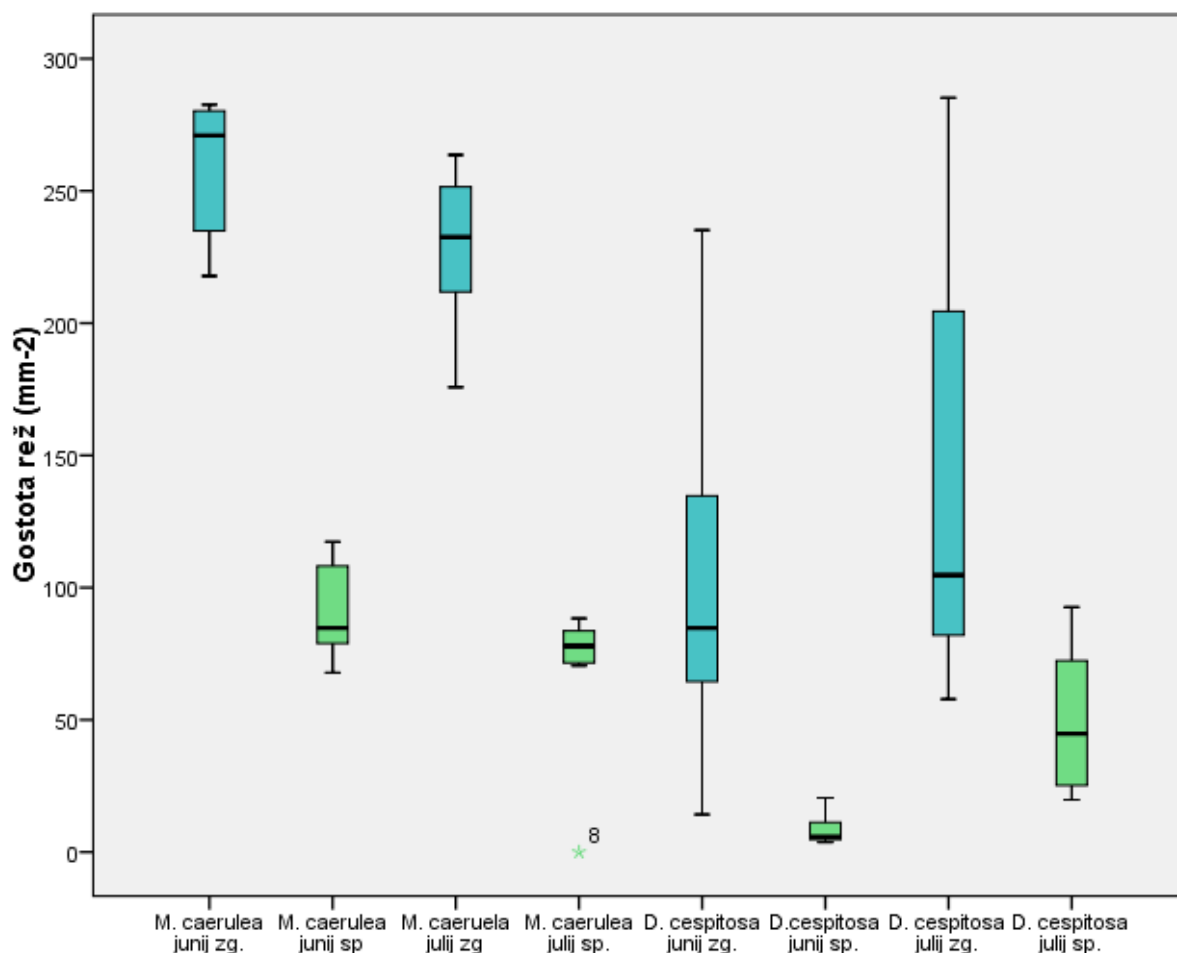
Slika 17: Listne reže na spodnji povrhnjici pri vrsti *M. caerulea*. S puščicami smo označili, kje se reže nahajajo in kako smo jim izmerili dolžino. 100x povečava.



Slika 18: Listne reže na zgornji povrhnjici pri vrsti *D. cespitosa*. S puščicami smo označili, kje se reže nahajajo in kako smo jim izmerili dolžino. 400x povečava.

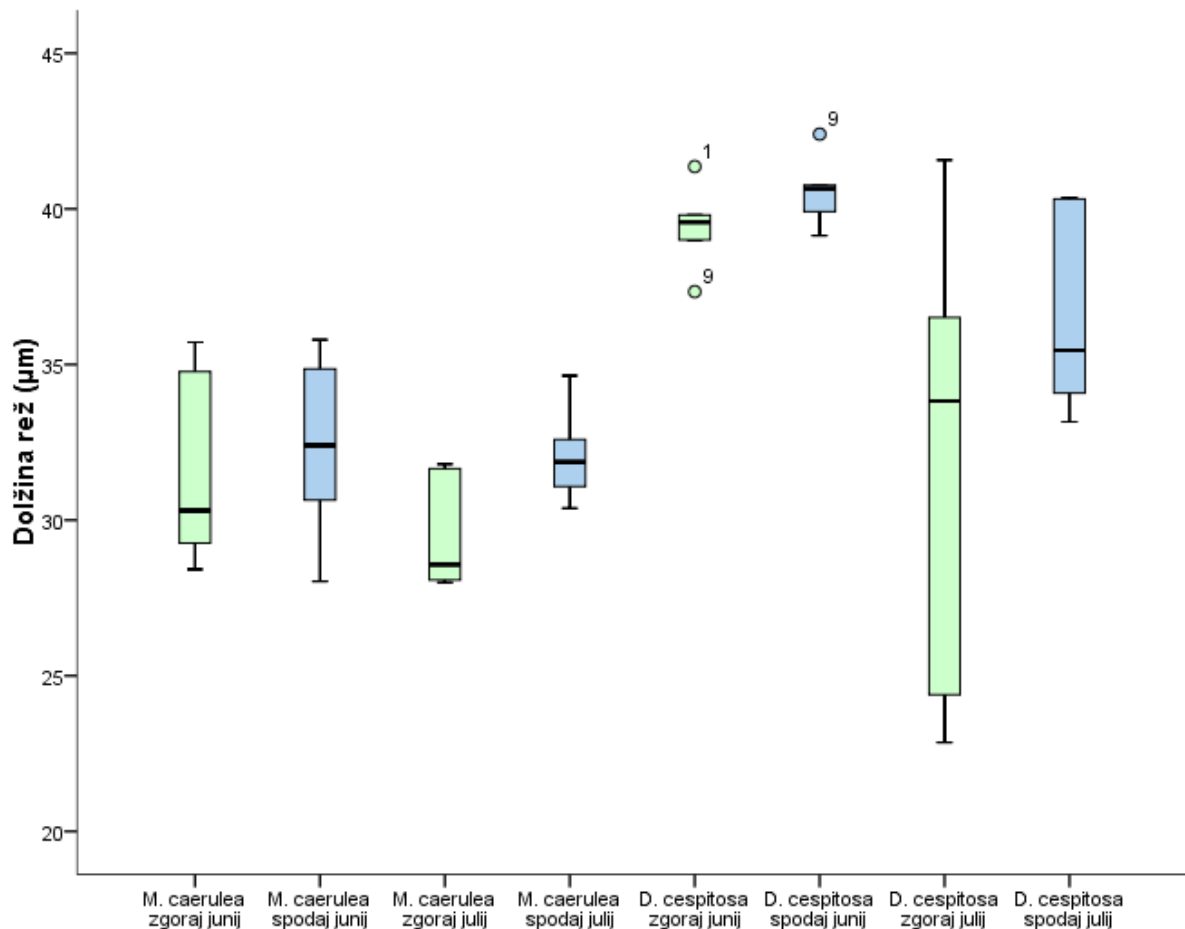
4.2.3.1 Gostota in dolžina listnih rež

Gostota listnih rež pri vrsti *M. caerulea* je večja v obdobju junija kot v julija. Na zgornji strani listov je gostota rež večja, kot na spodnji strani listov. Pri vrsti *D. cespitosa* je število rež na zgornji in spodnji strani lista statistično primerljivo. Večjo gostoto rež lahko opazimo v obdobju julija. Med vrstama opazimo statistično značilne razlike, (Preglednica 15).



Slika 19: Gostota listnih rež pri vrstah *M. caerulea* in *D. cespitosa* v obdobjih junija in julija, merjeno na spodnji in zgornji strani lista. Zelena barva predstavlja izmerke v obdobju junija, modra pa izmerke v obdobju julija. Podatki so predstavljeni v škatlastih diagramih (bloxplot), ki so razdeljeni v 4 četrtine, ročaji predstavljajo mejne vrednosti, srednja horizontalna črta je mediana, ki predstavlja polovico podatkov. Zvezdice predstavljajo izstopajoče (ekstremne) vrednosti.

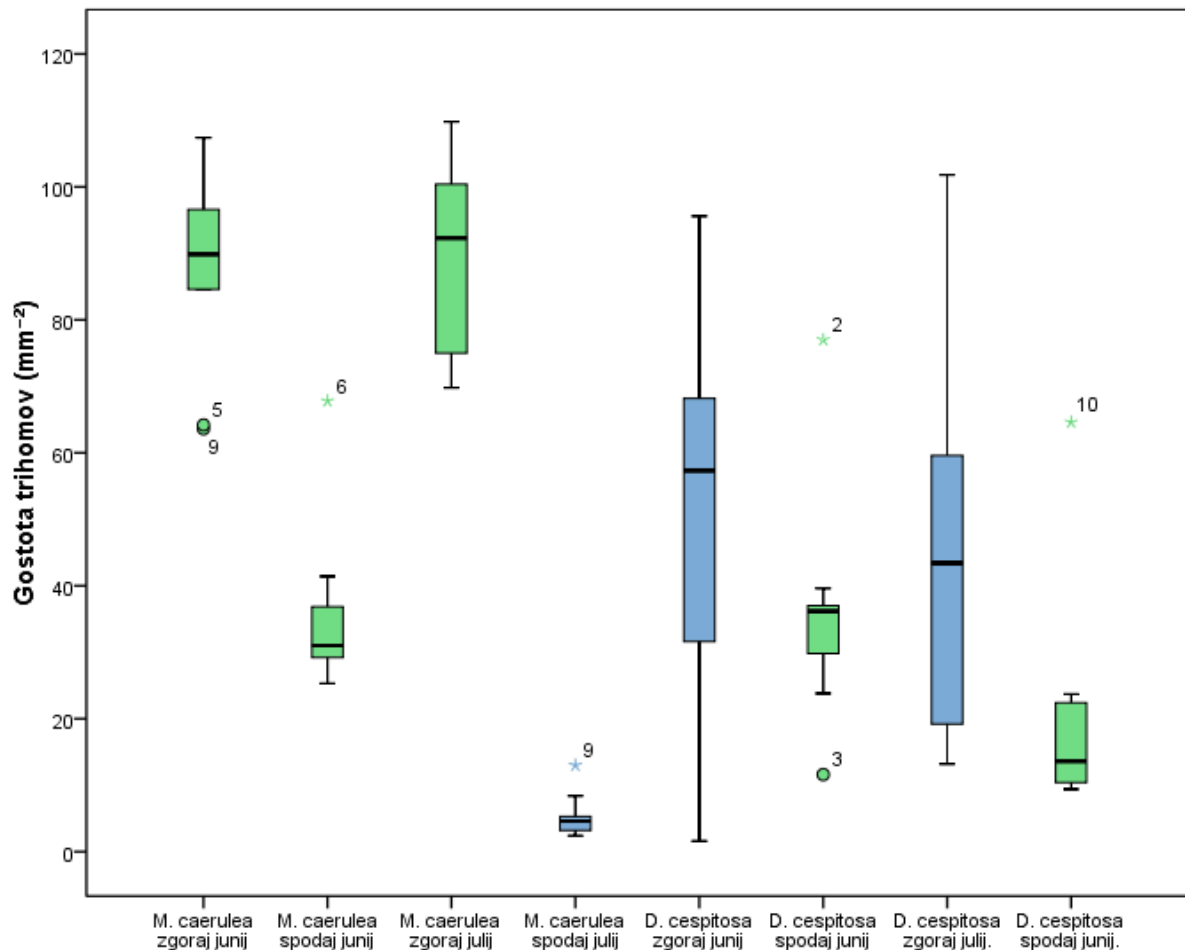
V obdobju junija ima vrsta *D. cespitosa*, na obeh straneh listov reže s statistično primerljivo dolžino. Najkrajše reže ima vrsta *M. caerulea* v obdobju julija na zgornji povrhnjici. Največji raztros v dolžini rež ima vrsta *D. cespitosa* v juliju na zgornji povrhnjici (Preglednica 15).



Slika 20: Dolžina listnih rež pri vrstah *M. caerulea* in *D. cespitosa* merjenih v obeh obdobjih, na zgornji in spodnji strani listov; (n=10). Zelena barva predstavlja junijske meritve, modra barva predstavlja julijske meritve. Podatki so predstavljeni v škatlastih diagramih (bloxplot), ki so razdeljeni v 4 četrtine, ročaji predstavljajo mejne vrednosti, srednja horizontalna črta je mediana, ki predstavlja polovico podatkov. Krogci predstavljajo izstopajoče (ekstremne) vrednosti.

4.2.3.2 Gostota trihomov

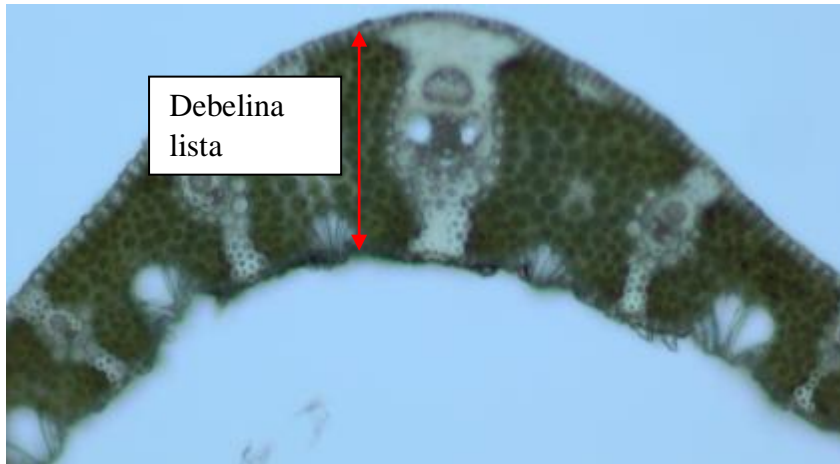
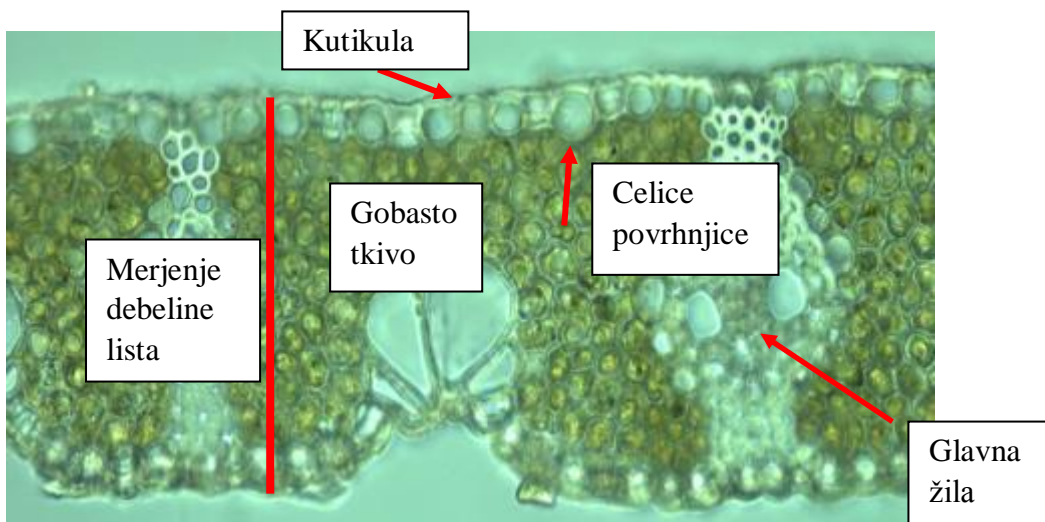
Največjo gostoto trihomov smo našli pri vrsti *M. caerulea* na zgornji povrhnjici, v obeh obdobjih. Pri vrsti *D. cespitosa* je gostota trihomov na spodnji povrhnjici manjša kot na zgornji povrhnjici. Pri vrsti *D. cespitosa* so rezultati pristranski, saj so bili nekje vzorci pomanjkljivi. Trdimo lahko edino le, da je pri vrsti *D. cespitosa* gostota trihomov manjša kot pri vrsti *M. caerulea*. (Preglednica 15).

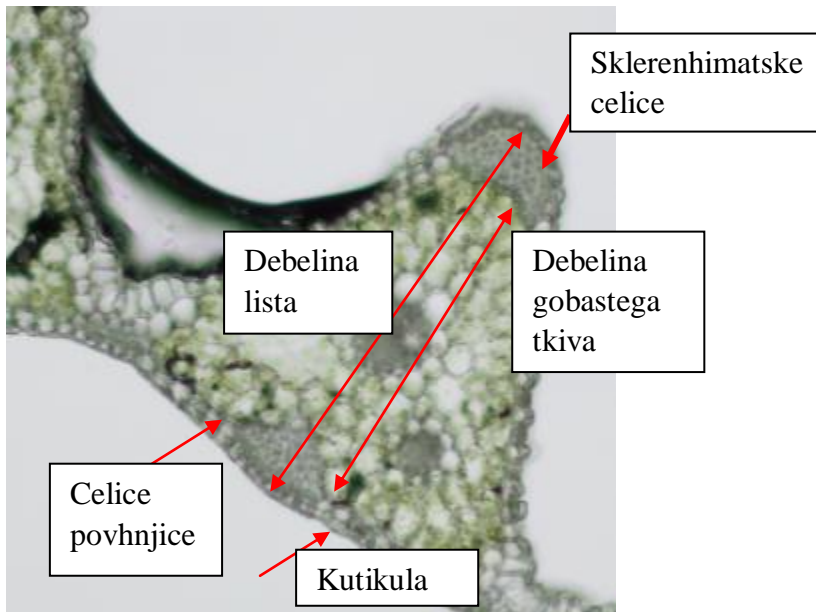
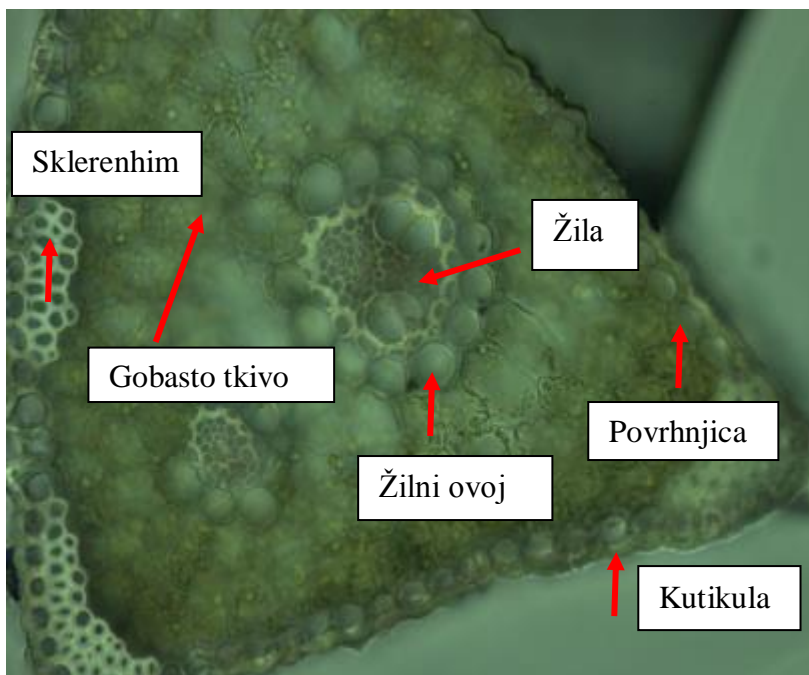


Slika 21: Gostota trihomov pri vrstah *M. caerulea* in *D. cespitosa* merjenih v obeh obdobjih na spodnji in zgornji strani listov; (n=10). Podatki so predstavljeni v škatlastih diagramih (bloxplot), ki so razdeljeni v 4 četrtine, ročaji predstavljajo mejne vrednosti, srednja horizontalna črta je mediana, ki predstavlja polovico podatkov. Zvezdice in krogi predstavljajo izstopajoče (ekstremne) vrednosti.

4.2.4 Zgradba lista

Zgradbo listov smo preučevali pod mikroskopom. Vsak list smo prečno narezali na tanke rezine in merili debelino listov, debelino kutikule, debelino povrhnjice, debelino gobastega tkiva na obeh straneh listov. Merili smo pri 400x povečavi. Dolžine posameznih tkiv smo merili s pomočjo računalniškega programa za merjenje dolžine. Meritve smo opravljali na desetih listih, na vsakem listu smo izbrali osem vidnih polj in to povprečili. Pri merjenju smo se izogibali glavnim žilam in deformacijam listov.

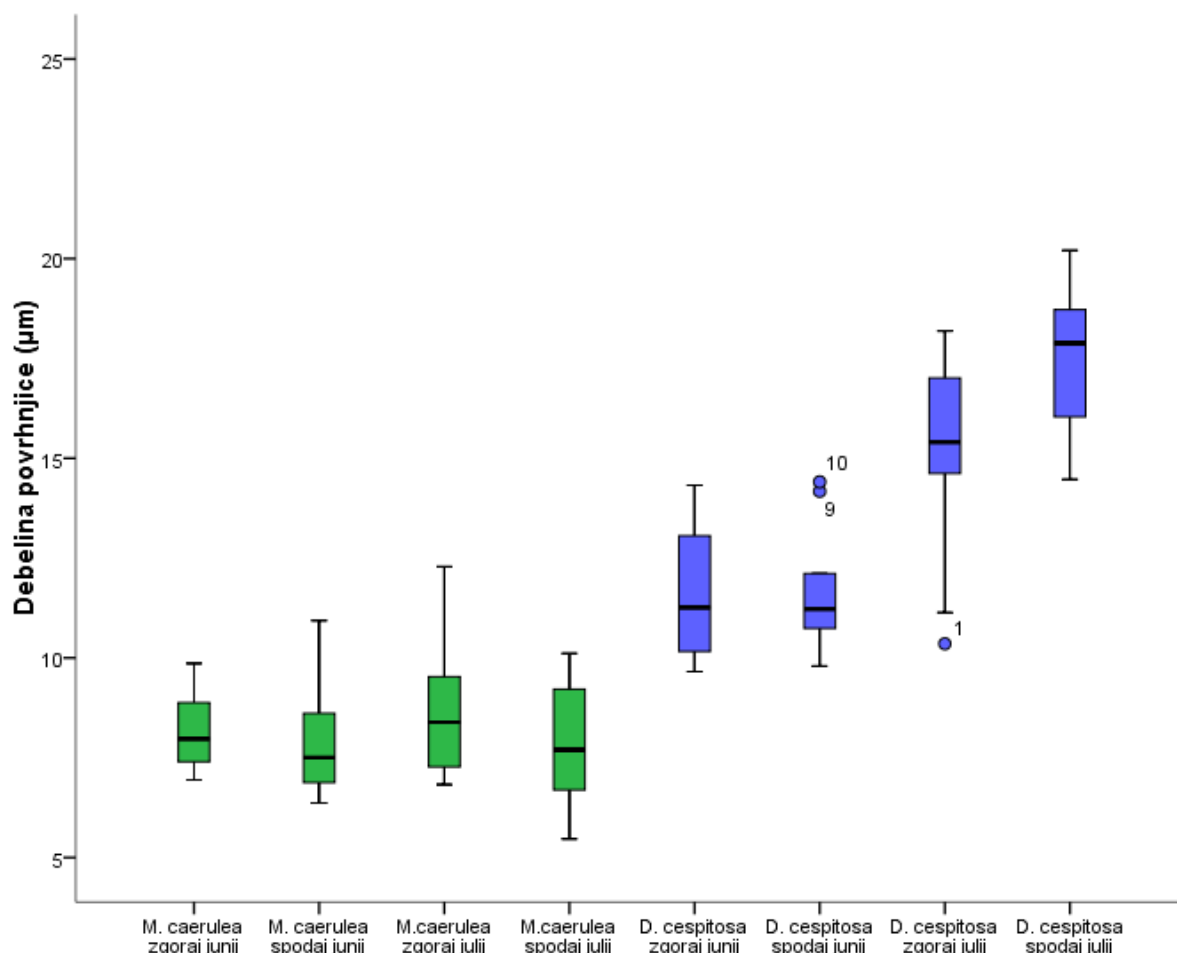
Slika 22: Prečni prerez lista pri vrsti *M. caerulea*.Slika 23: Prečni prerez lista pri vrsti *M. caerulea*. Vidna je kutikula, povrhnjica in gobasto tkivo.

Slika 24: Prečni prerez lista pri vrsti *D. cespitosa*.Slika 25: Vrsta *D. cespitosa*, prečni prerez. Vidna je kutikula, zgornja povrhjica, gobasto tkivo, sklerenhim, žilni ovoj, listna žila.

4.2.4.1 Debelina zgornje in spodnje povrhnice

Vrsta *D. cespitosa* ima debelejšo povrhjico od vrste *M. caerulea*, na obeh straneh listov. Vrsta *D. cespitosa* ima debelejšo povrhjico v obdobju julija glede na obdobje junija. Vrsta

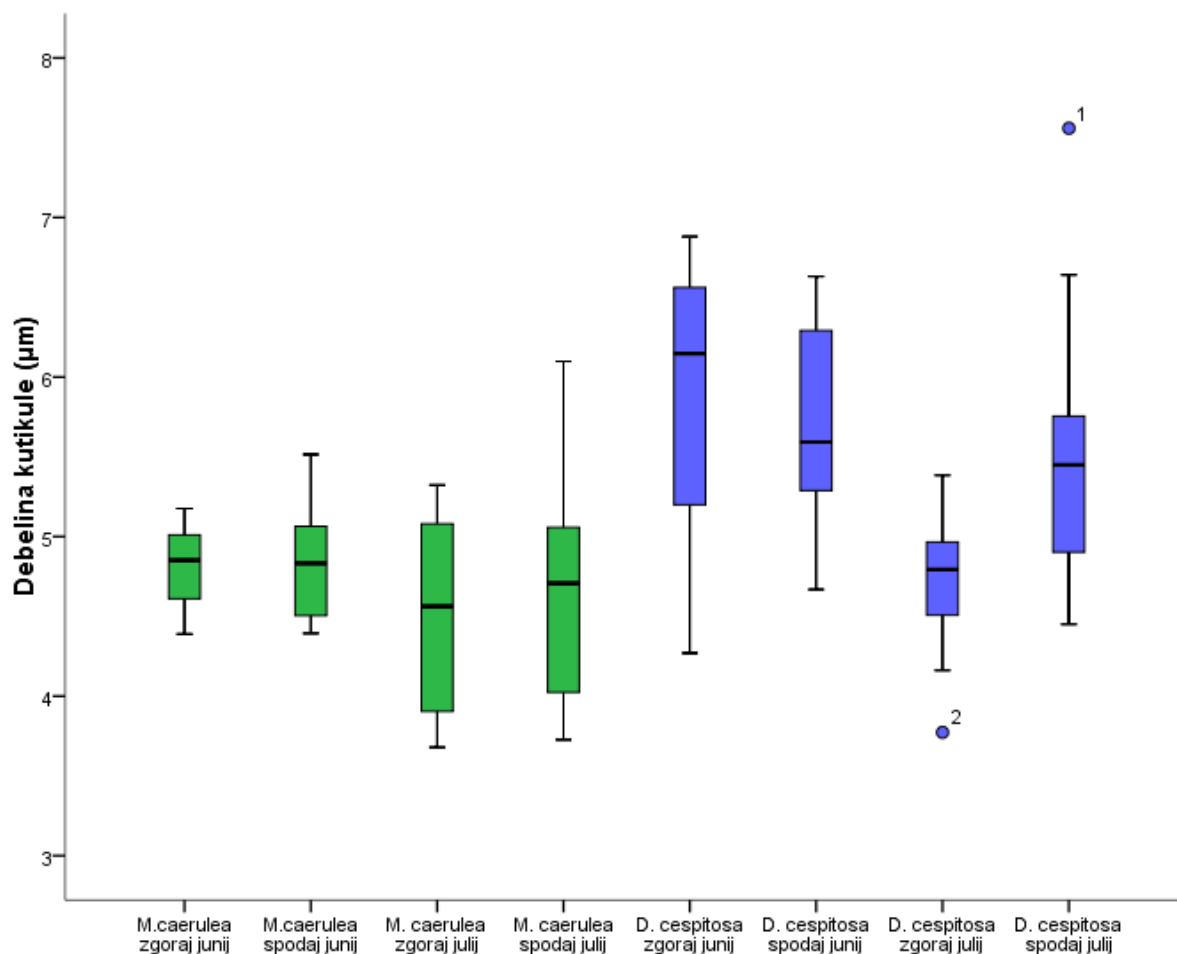
M. caerulea ima debelino povrhnjice v obeh obdobjih podobno debelo, prav tako pa ima podobno debelo povrhnjico na zgornji in spodnji strani listov (Preglednica 15).



Slika 26: Debelina povrhnjice pri vrstah *M. caerulea* in *D. cespitosa* merjena v obeh obdobjih, na spodnji in zgornji strani povrhnjice. Zelena barva predstavlja vrsto *M. caerulea*, modra barva predstavlja vrsto *D. cespitosa*. Podatki so predstavljeni v škatlastih diagramih (bloxplot), ki so razdeljeni v 4 četrtine, ročaji predstavljajo mejne vrednosti, srednja horizontalna črta je mediana, ki predstavlja polovico podatkov. Krogi predstavljajo izstopajoče (ekstremne) vrednosti.

4.2.4.2 Debelina zgornje in spodnje kutikule

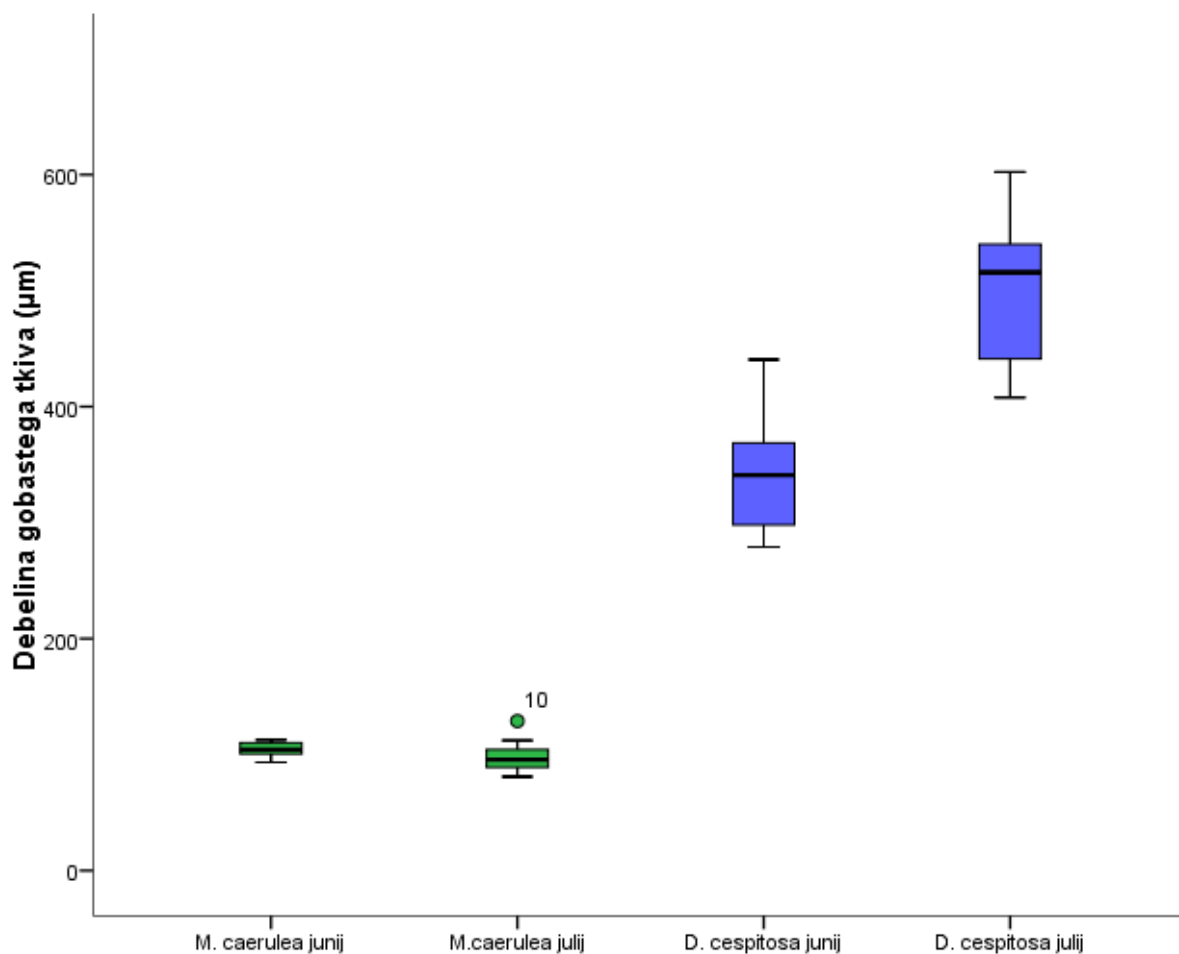
Debelejšo kutikulo ima vrsta *D. cespitosa* v primerjavi z vrsto *M. caerulea* v obdobju junija, na spodnji in zgornji strani listov. V obdobju julija ima vrsta *D. cespitosa* na zgornji strani listov podobno debelo kutikulo kot vrsta *M. caerulea*. Vrsta *D. cespitosa* ima v obdobju junija debelejšo kutikulo kot v obdobju julija na obeh straneh listov. Vrsta *M. caerulea* ima v obeh obdobjih statistično značilno debelino kutikule na obeh straneh listov (Preglednica 15).



Slika 27: Debelina kutikule pri vrstah *M. caerulea* in *D. cespitosa* merjena v obeh obdobjih na obeh straneh listov. (n=10). Zelena barva predstavlja vrsto *M. caerulea*, modra barva predstavlja vrsto *D. cespitosa*. Podatki so predstavljeni v škatlastih diagramih (bloxplot), ki so razdeljeni v 4 četrtine, ročaji predstavljajo mejne vrednosti, srednja horizontalna črta je mediana, ki predstavlja polovico podatkov. Krogi predstavljajo izstopajoče (ekstremne) vrednosti.

4.2.4.3 Debelina gobastega tkiva

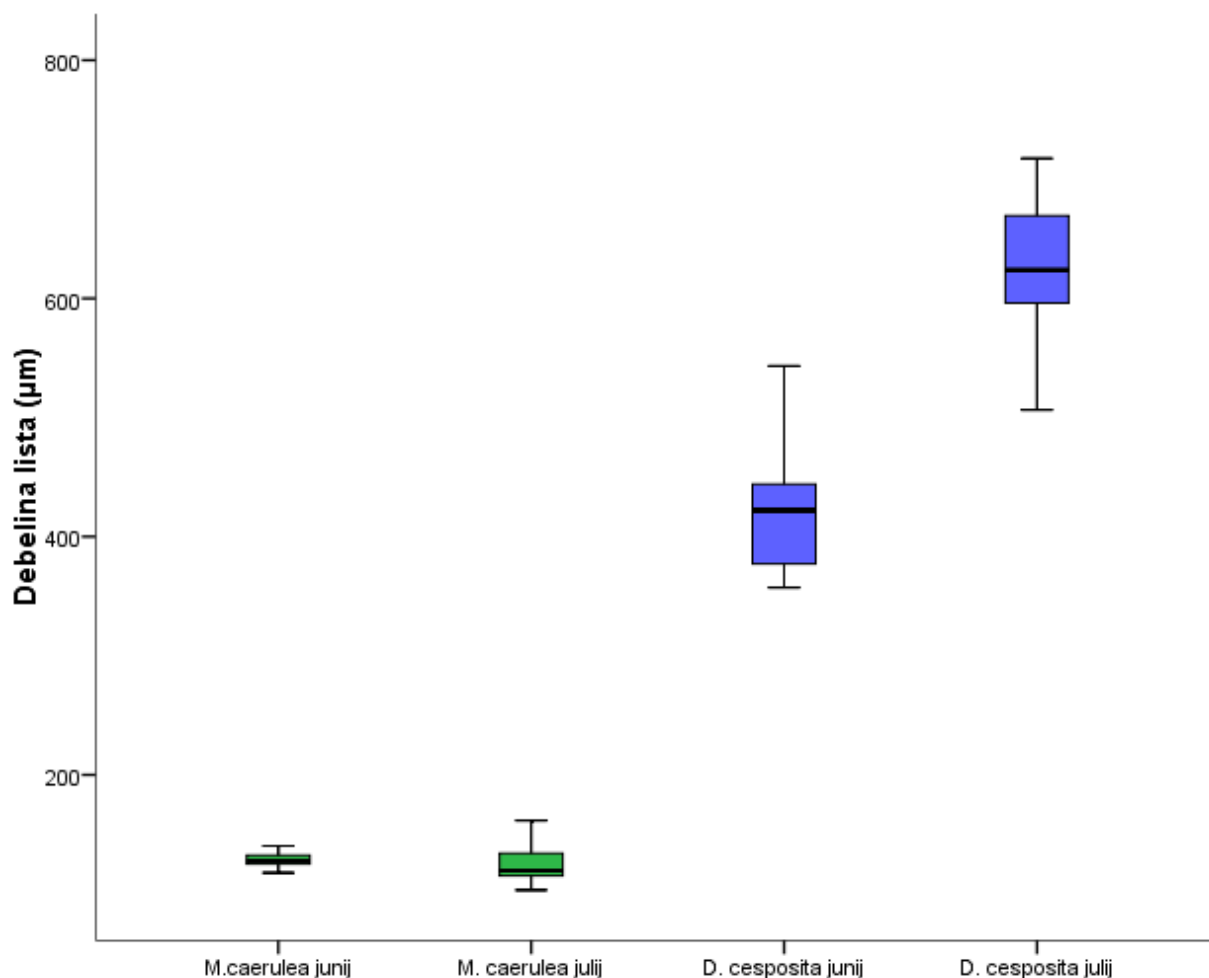
Gostota gobatega tkiva je večja pri vrsti *D. cespitosa* v obeh obdobjih, kot debelina gobastega tkiva pri vrsti *M. caerulea*. Pri vrsti *D. cespitosa* je debelina gobastega tkiva večja v obdobju julija kot v obdobju junija. Pri vrsti *M. caerulea* je debelina gobastega tkiva podobna v obeh obdobjih (Preglednica 15).



Slika 28: Debelina gobastega tkiva pri vrstah *M. caerulea* in *D. cespitosa* merjena v obeh obdobjih. (n=10). Zelena barva predstavlja vrsto *M. caerulea*, modra barva predstavlja vrsto *D. cespitosa*. Podatki so predstavljeni v škatlastih diagramih (boxplot), ki so razdeljeni v 4 četrtine, ročaji predstavljajo mejne vrednosti, srednja horizontalna črta je mediana, ki predstavlja polovico podatkov. Krogi predstavljajo izstopajoče (ekstremne) vrednosti.

4.2.4.4 Debelina lista

D. cespitosa ima v obeh obdobjih debelejšje liste kot vrsta *M. caerulea*. Vrsta *D. cespitosa* ima v obdobju julija debelejšje liste kot v obdobju junija. Vrsta *M. caerulea* ima v obeh obdobjih enako debele liste (Preglednica 15).



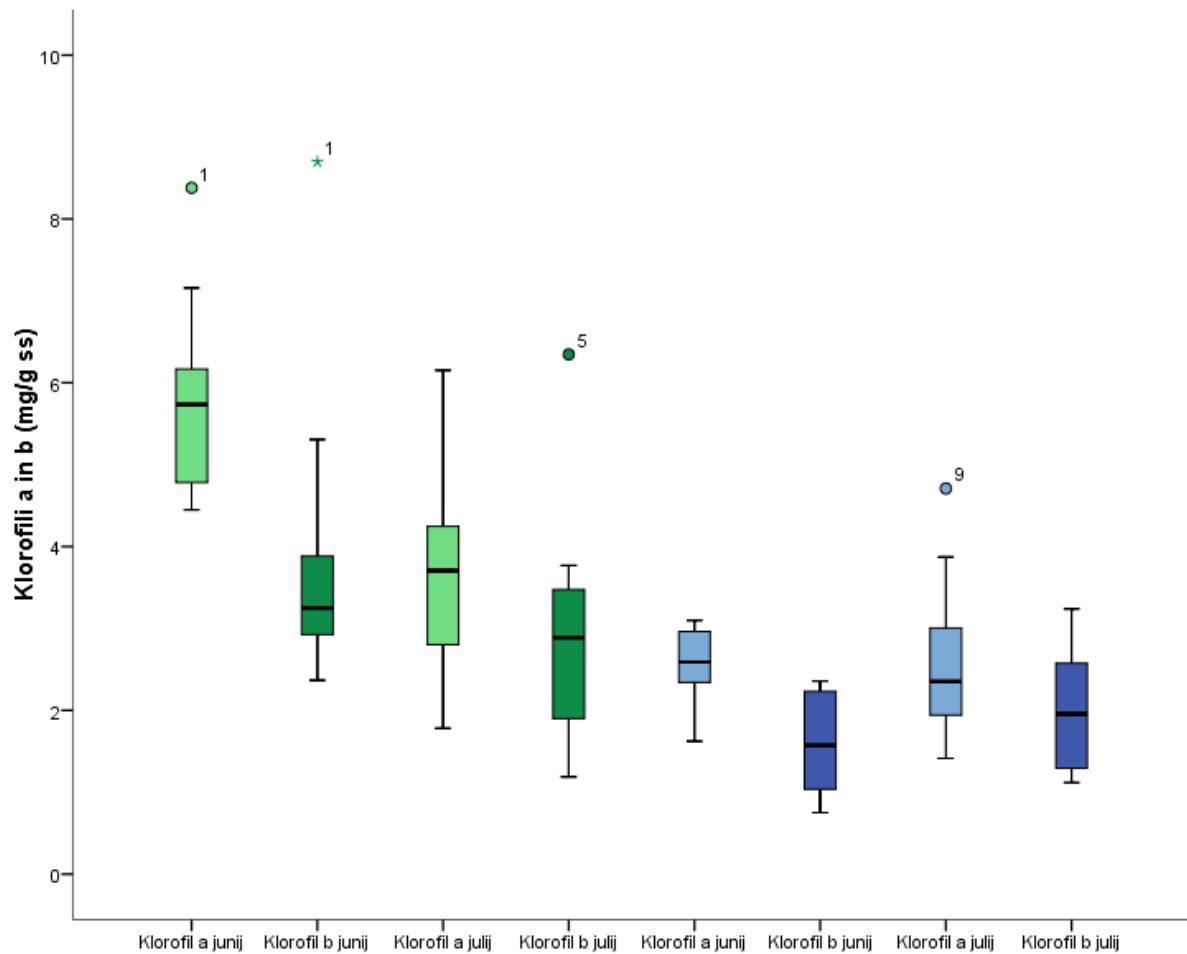
Slika 29: Debelina lista pri vrstah *M. caerulea* in *D. cespitosa* merjena v obeh obdobjih juniju in juliju, (n=10). Zelena barva predstavlja vrsto *M. caerulea*, modra barva predstavlja vrsto *D. cespitosa*. Podatki so predstavljeni v škatlastih diagramih (bloxplot), ki so razdeljeni v 4 četrtine, ročaji predstavljajo mejne vrednosti, srednja horizontalna črta je mediana, ki predstavlja polovico podatkov. Zvezdice in krogi predstavljajo izstopajoče (ekstremne) vrednosti.

4.3 BIOKEMIJSKE ANALIZE

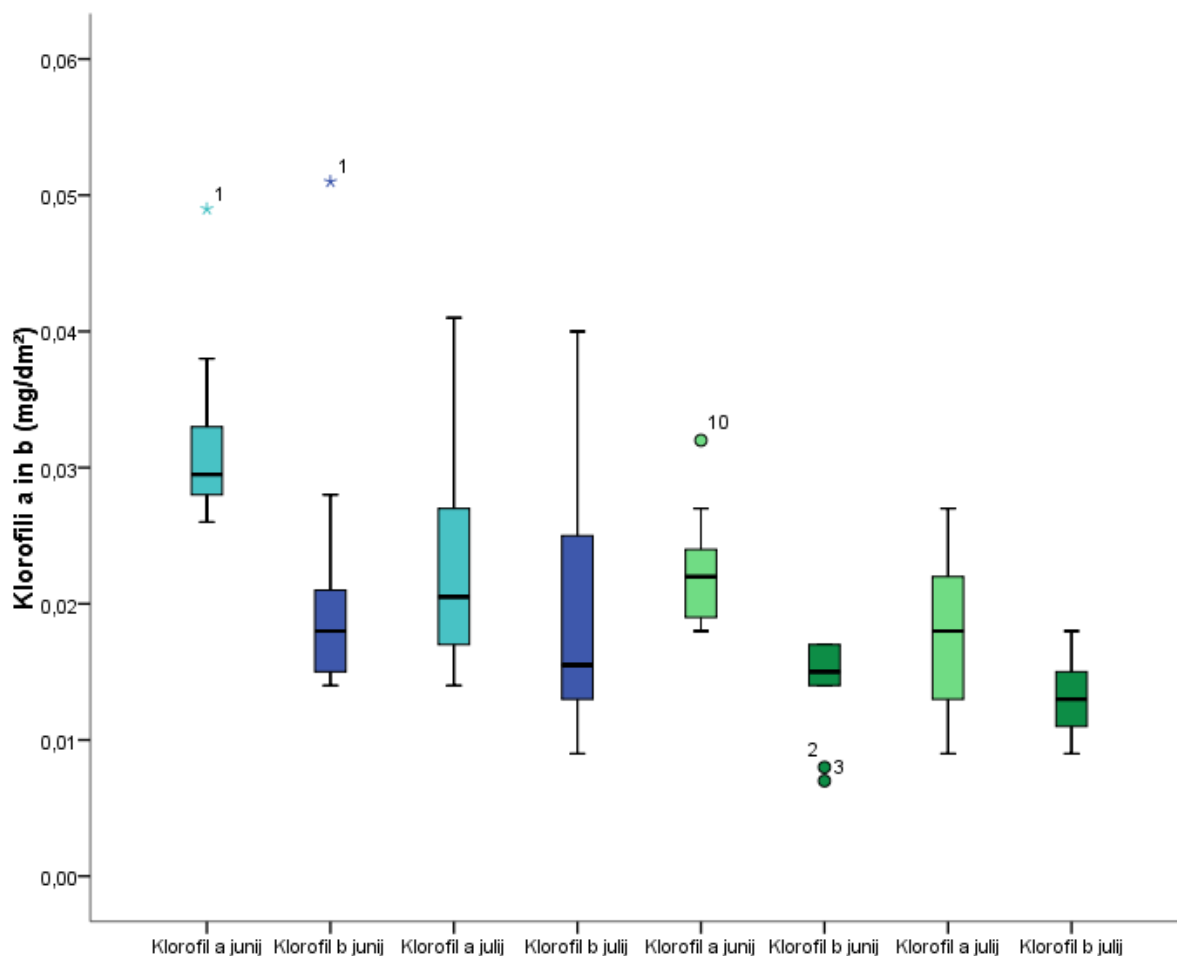
4.3.1 Klorofili

Vrsta *M. caerulea* ima v obdobju junija večjo vsebnost klorofila a in b kot v obdobju julija. V obeh obdobjih ima več klorofila a kot klorofila b.

Vrsta *D. cespitosa* ima podobno vsebnost klorofila a v obeh obdobjih, klorofila b ima več v obdobju julija. V obeh obdobjih ima vrsta *D. cespitosa* več klorofila a kot klorofila b (Preglednica 15).



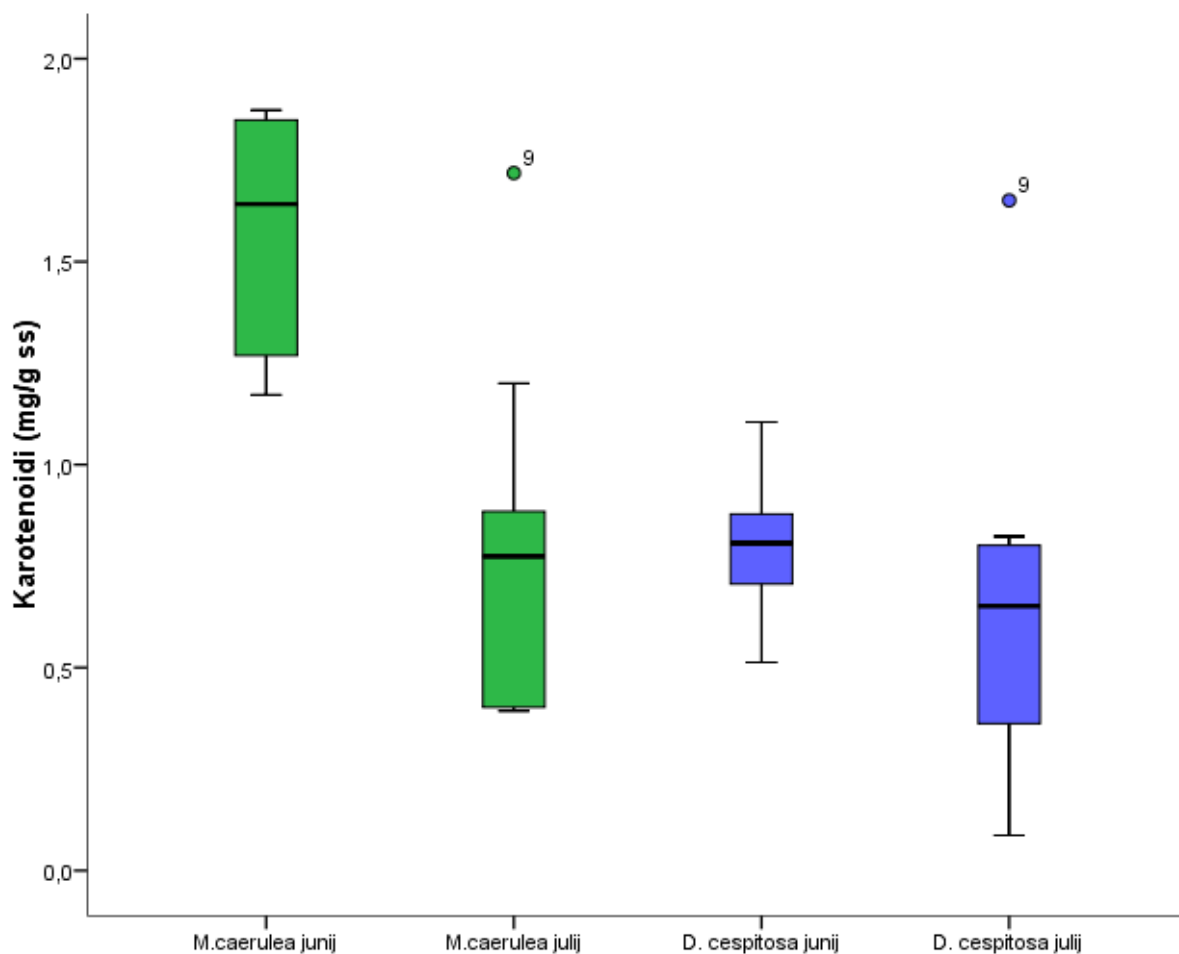
Slika 30: Vsebnost klorofila a (svetlo zelen vrsta *M. caerulea*, svetlo moder vrsta *D. cespitosa*) in klorofila b (temno zelen pri vrsti *M. caerulea* in temno moder pri vrsti *D. cespitosa*) izražena na maso suhe snovi lista; (n=10). Podatki so predstavljeni v škatlastih diagramih (bloxplot), ki so razdeljeni v 4 četrtine, ročaji predstavljajo mejne vrednosti, srednja horizontalna črta je mediana, ki predstavlja polovico podatkov. Zvezdice in krogi predstavljajo izstopajoče (ekstremne) vrednosti.



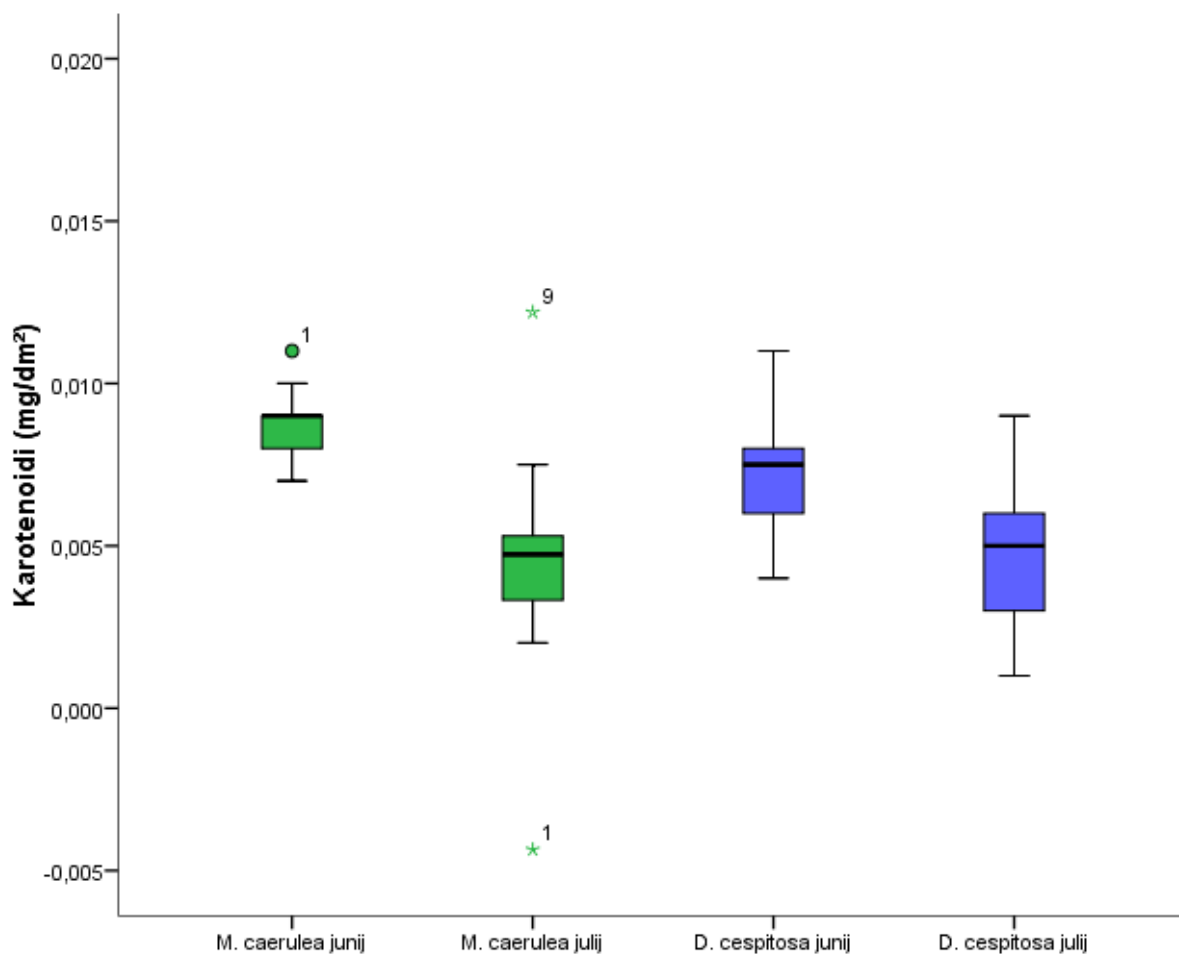
Slika 31: Vsebnost klorofila a (svetlo modra barva pri vrsti *M. caerulea*, svetlo zelena barva pri vrsti *D. cespitosa*) in klorofila b (temno modra barva pri vrsti *M. caerulea* in temno zelena barva pri vrsti *D. cespitosa*) izražena na površino lista. (n=10). Podatki so predstavljeni v škatlastih diagramih (boxplot), ki so razdeljeni v 4 četrtine, ročaji predstavljajo mejne vrednosti, srednja horizontalna črta je mediana, ki predstavlja polovico podatkov. Zvezdice in krogi predstavljajo izstopajoče (ekstremne) vrednosti.

4.3.2 Karotenoidi

Največjo vsebnost karotenoidov ima vrsta *M. caerulea* v obdobju junija. Vsebnosti karotenoidov so podobne pri vrstah *D. cespitosa* in *M. caerulea* v obdobju julija. Vsebnosti karotenoidov pri vrsti *D. cespitosa* v obeh obdobjih so si med seboj podobne (Preglednica 15).



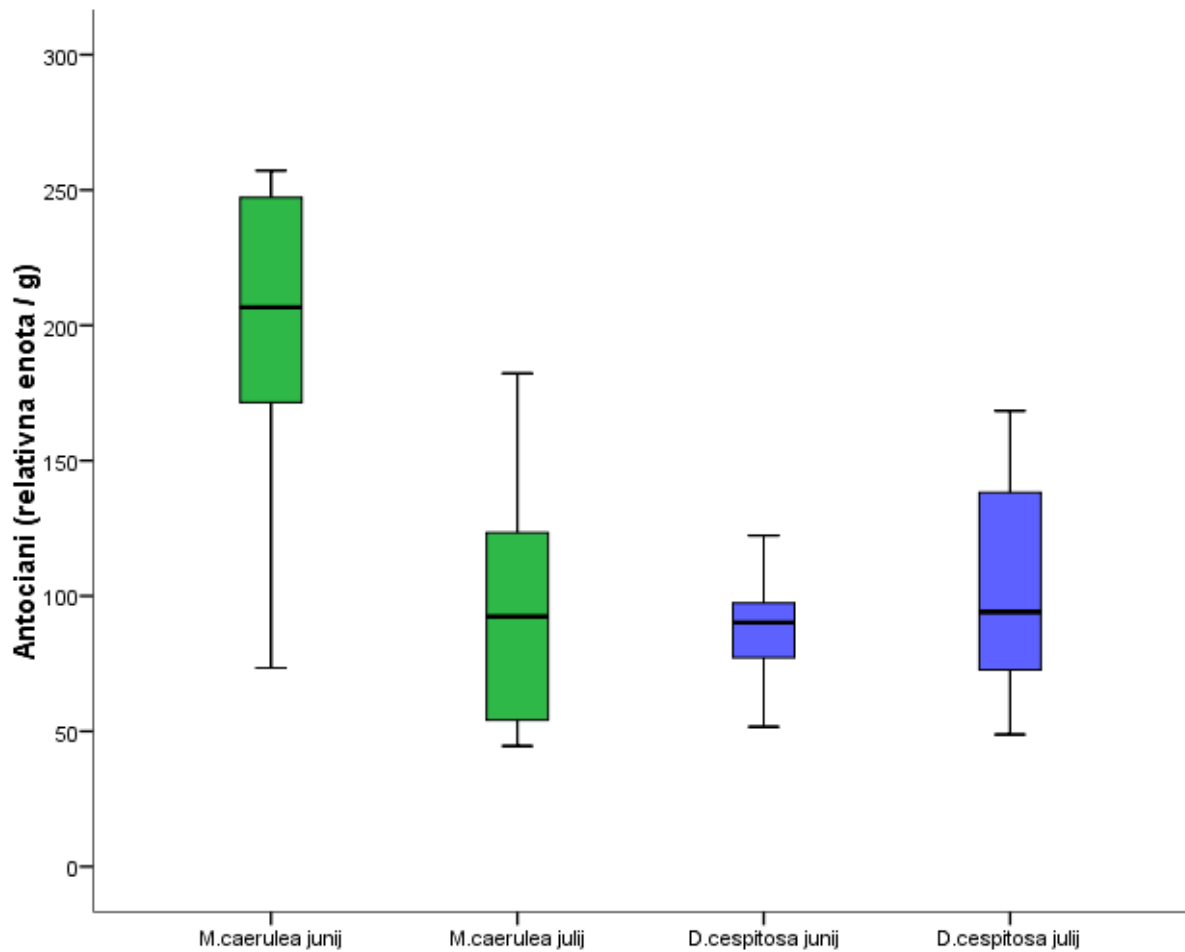
Slika 32: Vsebnost karotenoidov izražena na maso suhe snovi lista, pri vrstah *M. caerulea* in *D. cespitosa* merjene v obdobjih junija in julija; (n=10). Zelena barva predstavlja vrsto *M. caerulea*, modra barva predstavlja vrsto *D. cespitosa*. Podatki so predstavljeni v škatlastih diagramih (bloxplot), ki so razdeljeni v 4 četrtine, ročaji predstavljajo mejne vrednosti, srednja horizontalna črta je mediana, ki predstavlja polovico podatkov. Zvezdice in krogi predstavljajo izstopajoče (ekstremne) vrednosti.



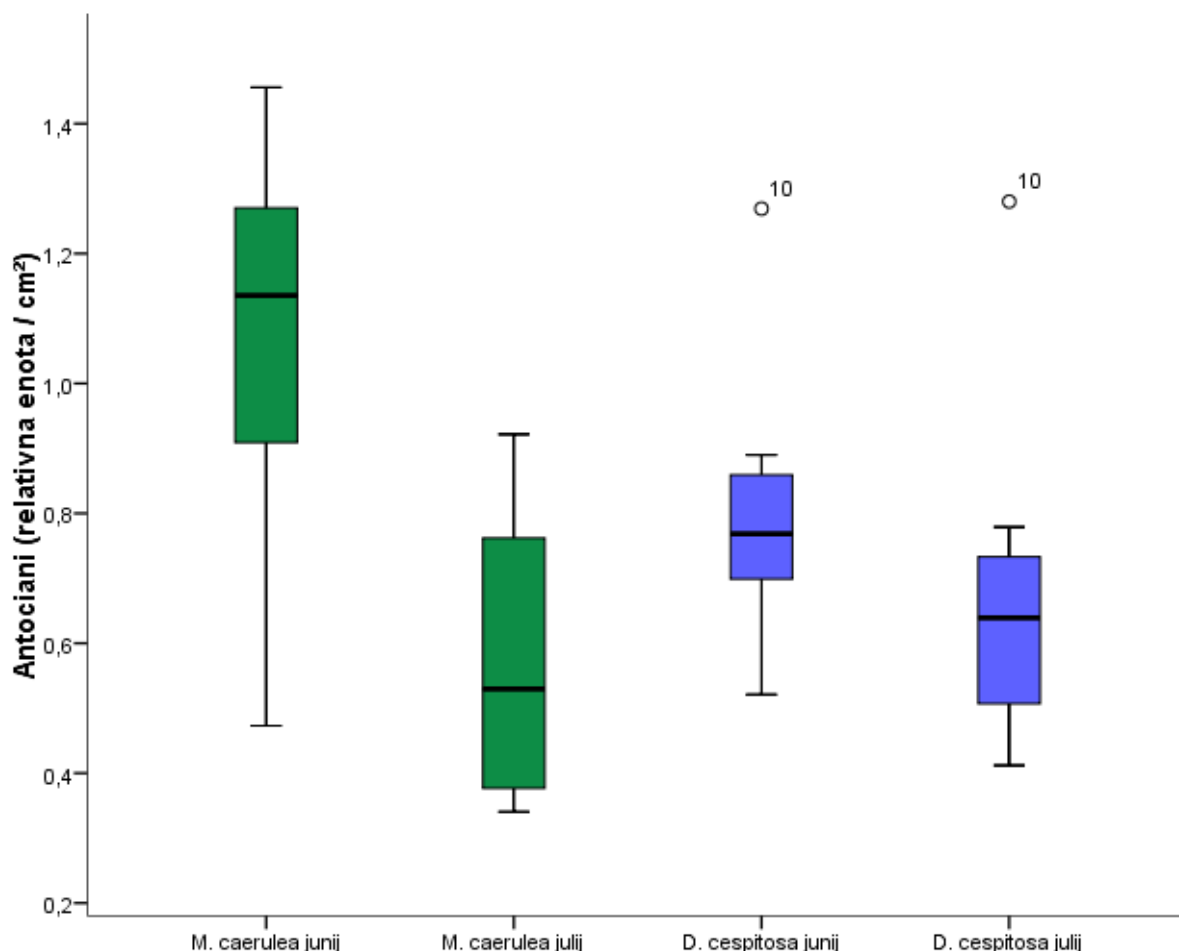
Slika 33: Vsebnost karotenoidov izražena na površino lista pri vrstah *M. caerulea* in *D. cespitosa* merjene v obdobjih junija in julija; (n=10). Zelena barva predstavlja vrsto *M. caerulea*, modra barva predstavlja vrsto *D. cespitosa*. Podatki so predstavljeni v škatlastih diagramih (bloxplot), ki so razdeljeni v 4 četrtine, ročaji predstavljajo mejne vrednosti, srednja horizontalna črta je mediana, ki predstavlja polovico podatkov. Zvezdice in krogi predstavljajo izstopajoče (ekstremne) vrednosti.

4.3.3 Antociani

Vsebnosti antocianov so primerljive pri obeh rastlinah (Preglednica 15). Vrsta *M. caerulea* ima v obdobju junija največjo vsebnost antocianov.



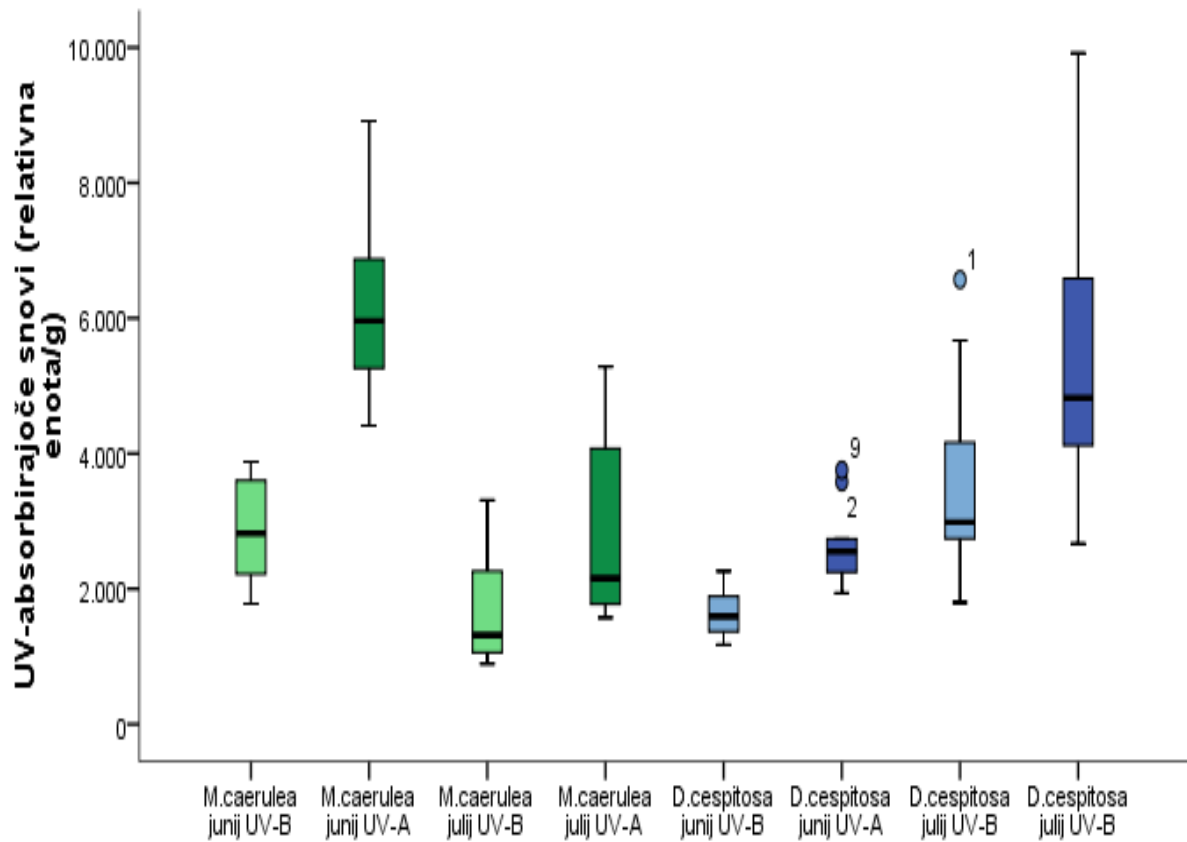
Slika 34: Vsebnosti antocianov izražena na maso suhe snovi lista, pri vrstah *M. caerulea* in *D. cespitosa* merjene v obdobjih junija in julija; (n=10). Zelena barva predstavlja vrsto *M. caerulea*, modra barva predstavlja vrsto *D. cespitosa*. Podatki so predstavljeni v škatlastih diagramih (boxplot), ki so razdeljeni v 4 četrtine, ročaji predstavljajo mejne vrednosti, srednja horizontalna črta je mediana, ki predstavlja polovico podatkov. Zvezdice in krogi predstavljajo izstopajoče (ekstremne) vrednosti.



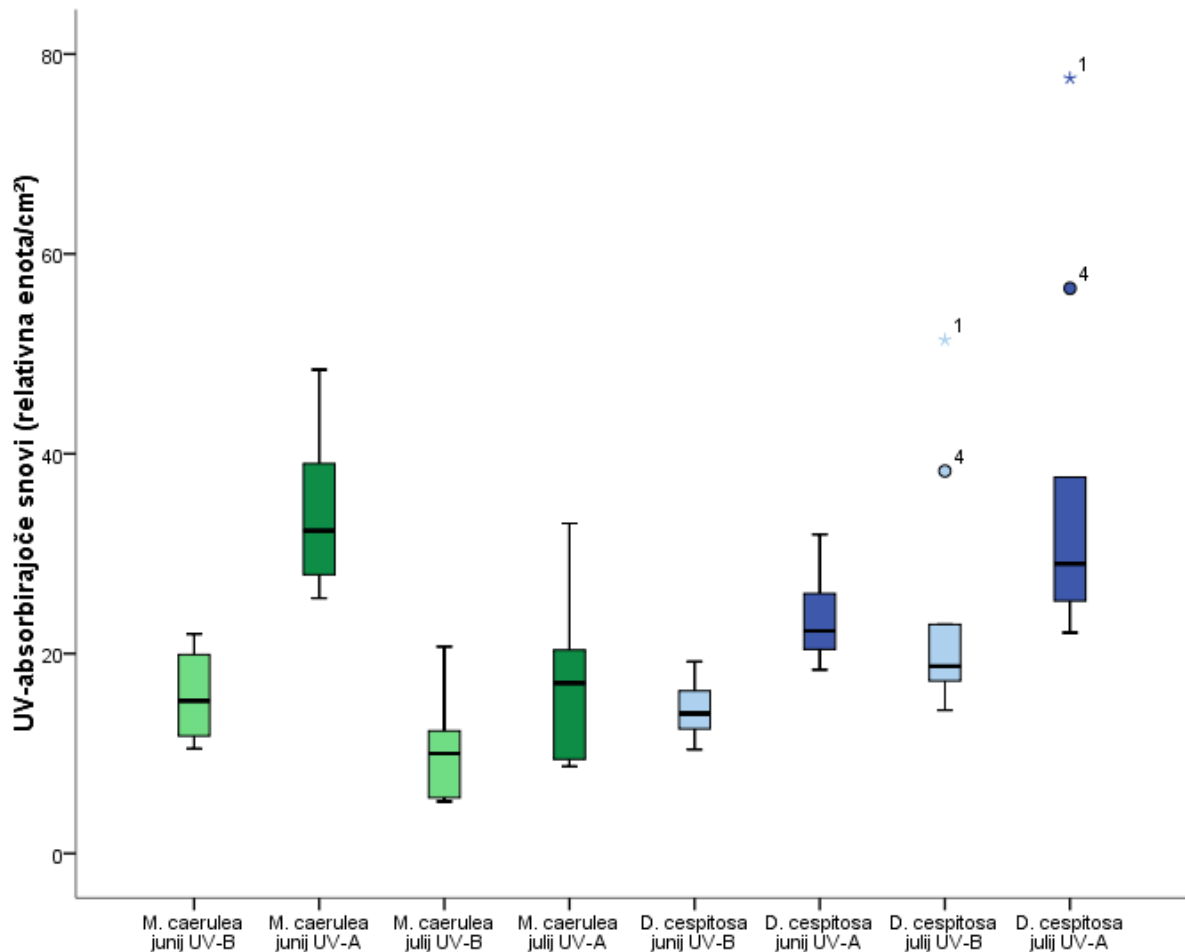
Slika 35: Vsebnost antocijanov izražena na površino lista pri vrstah *M. caerulea* in *D. cespitosa* merjene v obdobjih junija in julija; (n=10). Zelena barva predstavlja vrsto *M. caerulea*, modra barva predstavlja vrsto *D. cespitosa*. Podatki so predstavljeni v škatlastih diagramih (bloxplot), ki so razdeljeni v 4 četrtine, ročaji predstavljajo mejne vrednosti, srednja horizontalna črta je mediana, ki predstavlja polovico podatkov. Zvezdice in krogi predstavljajo izstopajoče (ekstremne) vrednosti.

4.3.4 UV absorbirajoče snovi

Vrsta *M. caerulea* ima več UV-A absorbirajočih snovi kot UV-B absorbirajočih snovi. V obdobju junija ima več UV-B in UV-A absorbirajočih snovi kot v obdobju julija. Vrsta *D. cespitosa* ima v obdobju julija več UV-B in UV-A absorbirajočih snovi kot v obdobju junija. Ima več UV-A absorbirajočih snovi kot UV-B absorbirajočih snovi. Vrsta *M. caerulea* ima v obdobju junija več UV-A absorbirajočih snovi, kot vrsta *D. cespitosa* v enakem obdobju. V obdobju julija ima vrsta *D. cespitosa* več UV-A absorbirajočih snovi, kot vrsta *M. caerulea*. V obdobju junija ima vrsta *M. caerulea* več UV-B absorbirajočih snovi kot vrsta *D. cespitosa* v enakem obdobju. V juliju ima vrsta *D. cespitosa* več UV-B in UV-A kot vrsta *M. caerulea* (Preglednica 15).



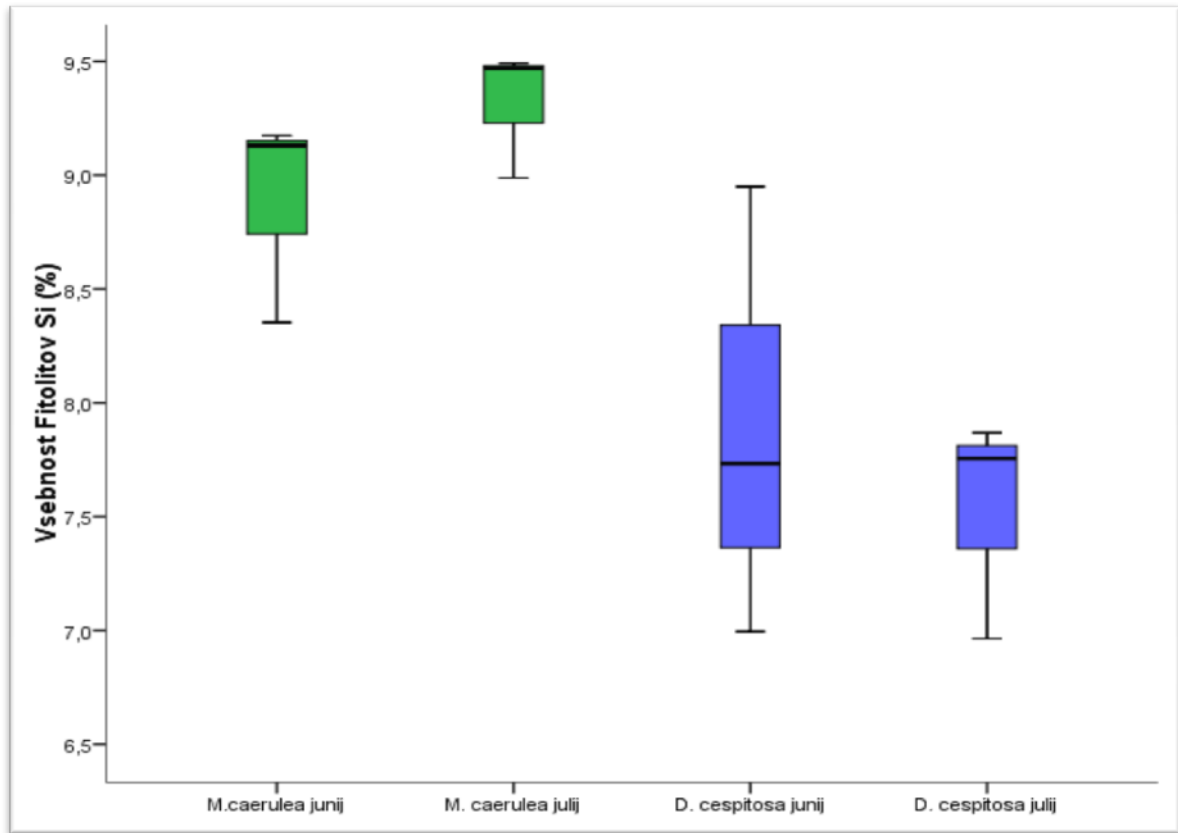
Slika 36: Vsebnost UV-absorbirajočih snovi izražena na maso suhe snovi lista. Svetlo zelena predstavlja UV-B absorbirajoče snovi, temno zelena pa UV-A absorbirajoče snovi pri vrsti *M. caerulea*. Svetlo modra predstavlja UV-B absorbirajoče snovi, temno modra pa UV-A absorbirajoče snovi pri vrsti *D. cespitosa*. (n=10). Podatki so predstavljeni v škatlastih diagramih (bloxplot), ki so razdeljeni v 4 četrtine, ročaji predstavljajo mejne vrednosti, srednja horizontalna črta je mediana, ki predstavlja polovico podatkov. Krogi predstavljajo izstopajoče (ekstremne) vrednosti.



Slika 37: Vsebnost UV-absorbirajočih snovi izražena na površino lista. Svetlo zelena predstavlja UV-B absorbirajoče snovi, temno zelena pa UV-A absorbirajoče snovi pri vrsti *M. caerulea*. Svetlo modra predstavlja UV-B absorbirajoče snovi, temno modra pa UV absorbirajoče snovi pri vrsti *D. cespitosa*; (n=10). Podatki so predstavljeni v škatlastih diagramih (bloxplot), ki so razdeljeni v 4 četrtine, ročaji predstavljajo mejne vrednosti, srednja horizontalna črta je mediana, ki predstavlja polovico podatkov. Zvezdice in krogi predstavljajo izstopajoče (ekstremne) vrednosti.

4.3.5 Vsebnosti fitolitov

Vrsta *M. caerulea* ima v obeh obdobjih večjo vsebnost fitolitov kot vrsta *D. cespitosa*. Vrsta *M. caerulea* ima večje vsebnost fitolitov v obdobju julija kot v junija. Vrsta *D. cespitosa* ima v obeh obdobjih podobno vsebnost fitolitov, v obdobju junija ima večji razpon med največjimi in najmanjšimi vrednostmi.



Slika 38: Vsebnosti fitolitov silicija (% suhe mase) pri vrstah *M. caerulea* in *D. cespitosa* merjenimi v obdobju junija in julija; (n=3). Zelena barva predstavlja vrsto *M. caerulea*, modra barva predstavlja vrsto *D. cespitosa*. Podatki so predstavljeni v škatlastih diagramih (bloxplot), ki so razdeljeni v 4 četrtine, ročaji predstavljajo mejne vrednosti, srednja horizontalna črta je mediana, ki predstavlja polovico podatkov. Zvezdice in krogi predstavljajo izstopajoče (ekstremne) vrednosti.

4.4 VPLIV MORFOLOŠKIH TER BIOKEMIJSKIH PARAMETROV NA ODBOJNOST LISTOV

4.4.1 RDA analiza

Redundančna analiza je pokazala, da naslednji merjeni parametri signifikantno vplivajo na izmerjeno reflektanco na zgornji strani listov:

- debelina lista (delež variabilnosti 26%),
- vsebnosti karotenoidov izraženih na površino lista (delež variabilnosti 13%),
- vsebnosti antocianov izraženih na površino lista (delež variabilnosti 8%),
- dolžina trihomov (delež variabilnosti 5%) in
- vsebnost UV-A absorbirajočih snovi, izražena na površino lista (delež variabilnosti 4%).

Povezava je statistično značilna, saj je verjetnost P, da lahko testirano hipotezo zavrnemo, manjša od mejne vrednosti ($P < 0,05$) pri vseh petih parametrih. Debelina lista ($P = 0,001$), karotenodi ($P = 0,003$), antociani ($P = 0,006$), dolžina trihomov ($P = 0,042$) in UV-A absorbirajoče snovi ($P = 0,049$).

Debelina lista (spremenljivka) je v pozitivni korelaciji z rumenim in NIR območjem odbojnega spektra ter v negativni korelaciji z modrim, vijoličnim, UV-B in UV-A odbojnim spektrom (odvisne vrednosti).

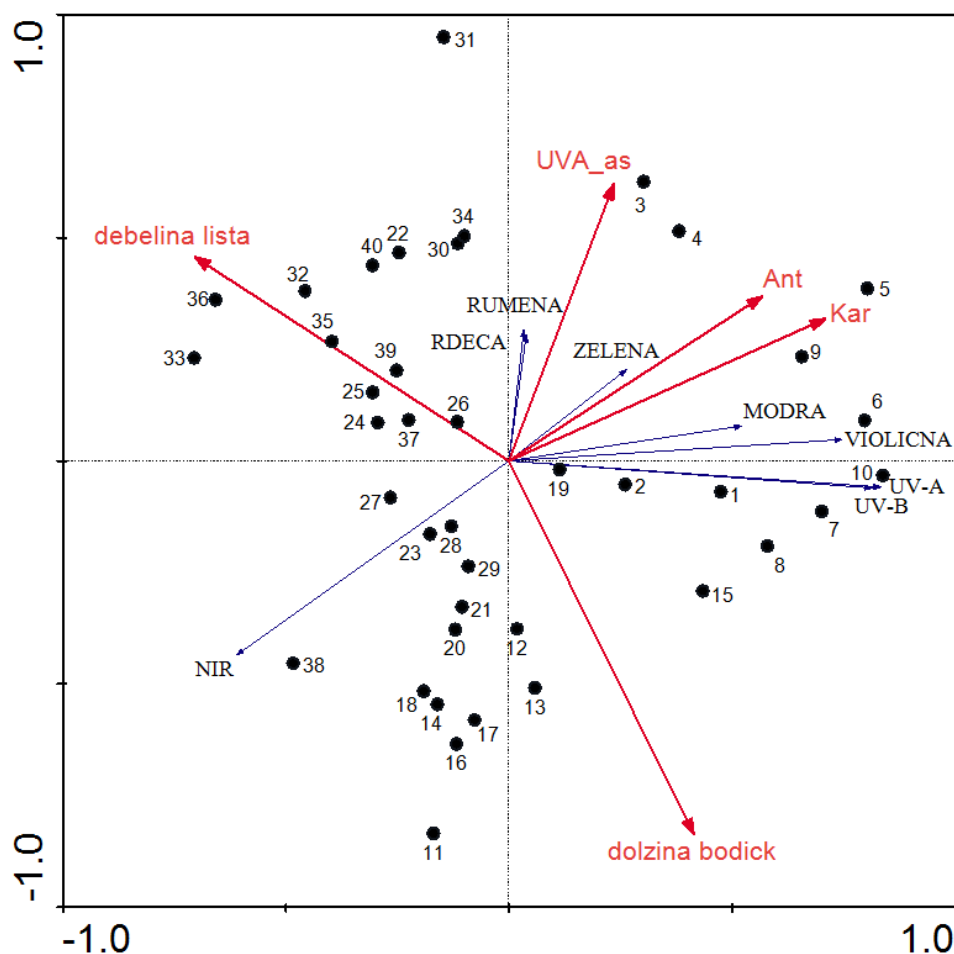
Velik vpliv na negativno korelacijo med debelino lista in modrim, vijoličnim, UV-B in UV-A delom spektra imajo izmerki, ki pripadajo listom vrste *D. cespitosa* predvsem v obdobju julija. Izmerki, ki pripadajo vrsti *M. caerulea* (junijsko obdobje) pa vplivajo predvsem na UV-A, antociane in karotenoide.

Vsebnost karotenoidov (spremenljivka) so v pozitivni korelaciji z modrim, vijoličnim, UV-A in UV-B delom spektra (odvisne vrednosti).

Vsebnost antocianov (spremenljivka) so v pozitivni korelaciji z rumenim, zelenim, modrim, vijoličnim, UV-B in UV-A delom odbojnega spektra (odvisne vrednosti).

UVA absorbirajoče snovi (spremenljivka) so v pozitivni korelaciji z rumenim, zelenim, modrim, vijoličnim, UV-B in UV-A delom odbojnega spektra, ter v negativni korelaciji z NIR delom spektra (odvisne vrednosti).

Dolžine bodičk (trihomov) (spremenljivka) so v pozitivni korelaciji z UV-B in UV-A in NIR območjem odbojnega spektra ter v negativni korelaciji z rdečim, rumenim, zelenim ter NIR delom odbojnega spektra (odvisne vrednosti).



Slika 39: Ordinacijski diagram redundančne analize (RDA) prikazuje vplive morfoloških oziroma biokemijskih parametrov na reflektanco (odbojnost), (odvisne vrednosti), merjenimi na zgornji strani listov. Rdeče puščice predstavljajo pojasnjevalne spremenljivke (»UVA_as« predstavlja vsebnosti UV-A absorbirajočih snovi, »Ant« - vsebnosti antocianov, »Kar«- vsebnost karotenoidov, debelina lista in dolžina bodičk (trihomov), modre puščice predstavljajo odzivne spremenljivke (Spektri razdeljeni v razrede glede na dolžino intenzitet; rdeča, rumena, zelena, modra, violečna in NIR). Številke predstavljajo liste različnih rastlin in različnih obdobji: 1-10 listi vrste *M. caerulea* junija, 11-20 listi vrste *M. caerulea* julija, 21-30 listi vrste *D. cespitosa* junija, 31-40 listi vrste *D. cespitosa* julija.

Redundančna analiza je pokazala, da naslednji merjeni parametri signifikantno vplivajo na izmerjeno reflektanco na spodnji strani listov:

- debelina lista (delež variabilnosti 30%),
- vsebnosti karotenoidov izraženih na površino lista (delež variabilnosti 14%) ter
- vsebnosti antocianov izraženih na površino lista (delež variabilnosti 7%).

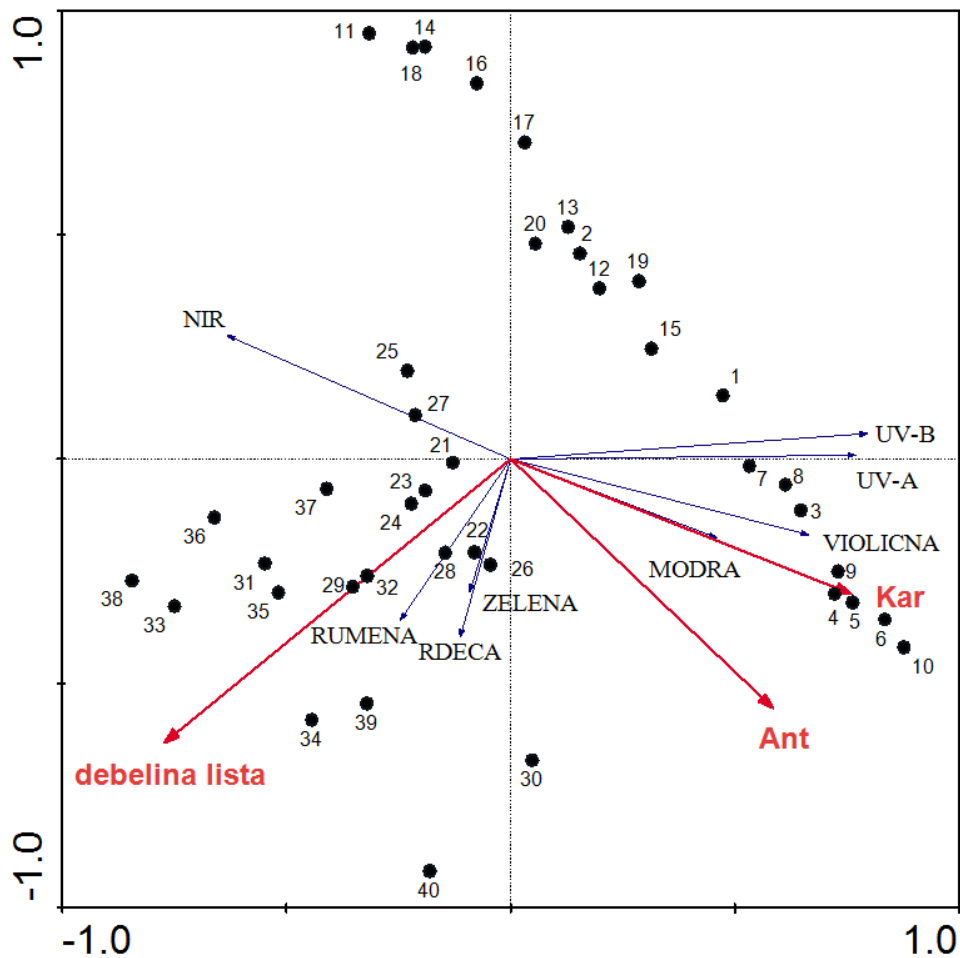
Povezava je statistično značilna, saj je verjetnost P, da lahko testirano hipotezo zavrnemo, manjša od mejne vrednosti ($P < 0,05$) pri vseh treh parametrih. Debelina lista ($P = 0,001$), Karotenodi ($P = 0,001$), Antociani ($P = 0,007$).

Debelina lista ima pozitivno korelacijo z rumenim, rdečim in zelenim delom odbojnega spektra ter negativno korelacijo z UV-B, UV-A delom odbojnega spektra.

Vsebnosti karotenoidov imajo pozitivne korelacije z modrim, violičnim, UV-A in UV-B delom odbojnega spektra.

Vsebnosti antocianov imajo pozitivne korelacije z rumenim, rdečim, zelenim, modrim, violičnim, UV-A in UV-B delom odbojnega spektra. Negativno korelacijo pa imajo z NIR območjem odbojnega spektra.

Na rezultate debeline lista vplivajo predvsem izmerki narejeni na listih vrste *D. cespitosa* (junijsko in julijsko obdobje). Na rezultate antocianov pa v enaki meri vplivajo izmerki narejeni na listih *M. caerulea* (v junijskem in julijskem obdobju). Na karotenoide pa v veliki meri vplivajo izmerki narejeni na listih vrste *M. caerulea* (junijsko obdobje).



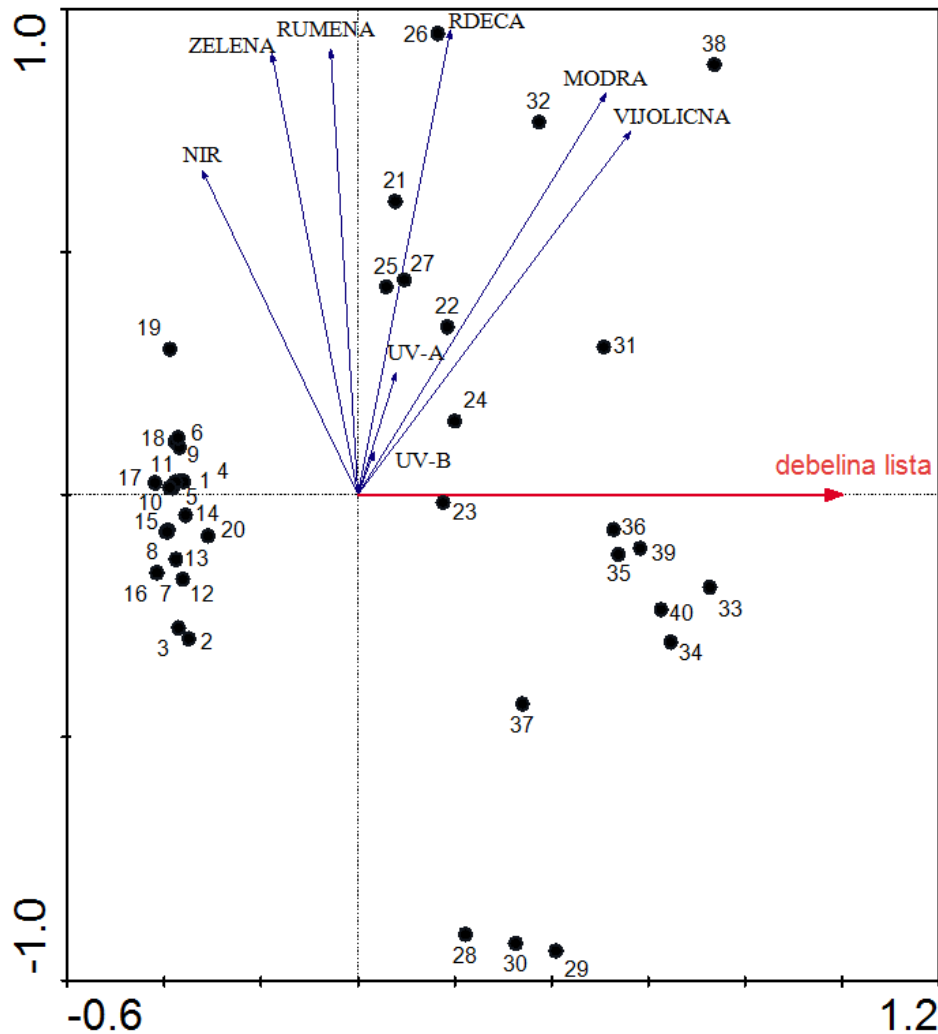
Slika 40: Ordinacijski diagram redundančne analize (RDA) prikazuje vplive morfoloških oziroma biokemijskih parametrov na reflektanco (odbojnost), (odvisne vrednosti), merjenimi na spodnji strani listov. Rdeče puščice predstavljajo pojasnjevalne spremenljivke (»Ant« - vsebnosti antocianov, »Kar« - vsebnost karotenoidov in debelina lista), modre puščice predstavljajo odzivne spremenljivke (Spektri razdeljeni v razrede glede na dolžino intenzitet; rdeča, rumena, zelena, modra, violečna in NIR). Številke predstavljajo liste različnih rastlin in različnih obdobji: 1-10 listi vrste *M.caerulea* junija, 11-20 listi vrste *M. caerulea* julija, 21-30 listi vrste *D. cespitosa* junija, 31-40 listi vrste *D. cespitosa* julija.

Redundančna analiza je pokazala, da naslednji merjeni parametri signifikantno vplivajo na izmerjeno transmitanco na zgornji strani listov:

- debelina lista (delež variabilnosti 11%).

Povezava je statistično značilna, saj je verjetnost P, da lahko testirano hipotezo zavrnemo, manjša od mejne vrednosti ($P < 0,05$) pri enem parametru. Debelina lista ($P = 0,003$).

Debelina lista je v pozitivni korelaciji z violičnim, modrim in rdečim delom spektra ter v negativni korelaciji z NIR delom spektra. Na debelino lista najbolj vplivajo izmerki narejeni na listih vrste *D. cespitosa* (julijsko obdobje).



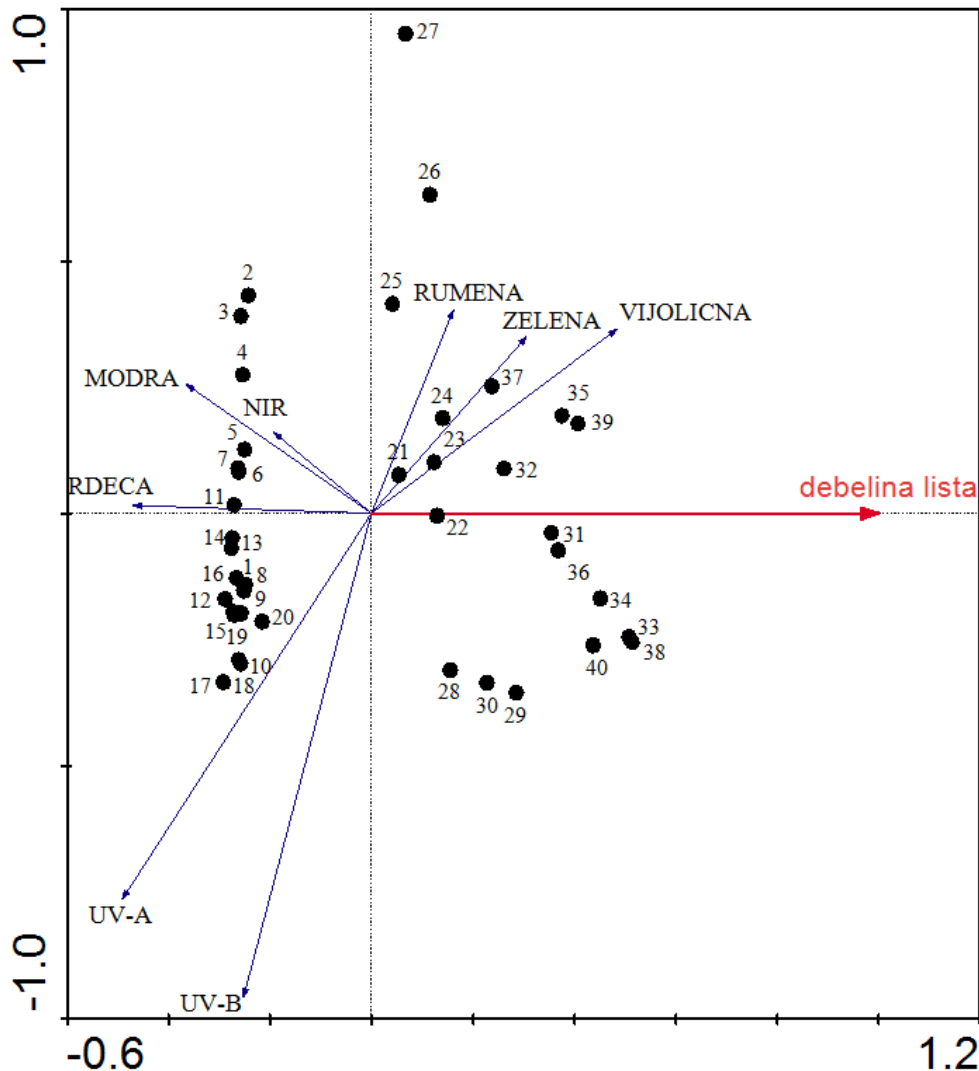
Slika 41: Ordinacijski diagram redondančne analize (RDA) prikazuje vplive morfoloških in biokemijskih parametrov na transmitanco (prepustnost), (odvisne vrednosti), merjenimi na zgornji strani listov. Rdeča puščica predstavlja pojasnjevalno spremenljivko (debelina lista), modre puščice predstavljajo odzivne spremenljivke (spektri razdeljeni v razrede glede na dolžino intenzitet; rdeča, rumena, zelena, modra, violečna in NIR). Številke predstavljajo liste različnih rastlin in različnih obdobji: 1-10 listi vrste *M.caerulea* junija, 11-20 listi vrste *M. caerulea* julija, 21-30 listi vrste *D. cespitosa* junija, 31-40 listi vrste *D. cespitosa* julija.

Redundančna analiza je pokazala, da naslednji merjeni parametri signifikantno vplivajo na izmerjeno reflektanco na zgornji strani listov:

- debelina lista (delež variabilnosti 12%).

Povezava je statistično značilna, saj je verjetnost P, da lahko testirano hipotezo zavrnemo, manjša od mejne vrednosti ($P < 0,05$) pri enem parametru. Debelina lista ($P = 0,0017$).

Debelina lista je v pozitivni korelaciji z vijoličnim, zelenim in modrim delom spektra ter v negativni korelaciji z modrim, rdečim, UV-A, UV-B in NIR in delom spektra. Na debelino lista imajo največji vpliv izmerki narejeni na listih *D. cespitosa* (julijsko obdobje).



Slika 42: Ordinacijski diagram redondančne analize (RDA) prikazuje vplive morfoloških oziroma biokemijskih parametrov na transmitanco (prepustnost), (odvisne vrednosti), merjeno na spodnji strani listov. Rdeče puščice predstavljajo pojasnjevalno spremenljivko (debelina lista), modre puščice predstavljajo odzivne spremenljivke (Spektri razdeljeni v razrede glede na dolžino intenzitet; rdeča, rumena, zelena, modra, violečna in NIR). Številke predstavljajo liste različnih rastlin in različnih obdobji: 1-10 listi vrste *M. caerulea* junija, 11-20 listi vrste *M. caerulea* julija, 21-30 listi vrste *D. cespitosa* junija, 31-40 listi vrste *D. cespitosa* julija.

4.4.2 Korelacije med biokemijskimi ter morfološkimi parametri in odbojnimi spektri listov

V spodnjih preglednicah smo prikazali korelacije med biokemijskimi ter morfološkimi lastnostmi listov in odbojnimi spektri. Korelacije smo izračunali za vsako rastlino posebej in naredili preglednice glede na opazovani spekter (reflektanco / transmitanco in meritev na zgornji /spodnji strani listov).

Preglednica 2: Pearson-ov korelacijski koeficient med morfološkiimi, biokemijskimi parametri listov in posameznim območjem odbojnega spektra lista pri vrsti *M. caerulea*, merjenimi na zgornji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$

Parameter/ Območje odbojnega spektra	UVB	UVA	VIJOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Biokemijski parametri								
KLOROFIL a [mg/g]	0,375	0,324	0,262	0,121	0,388	0,377	0,192	-0,653**
KLOROFIL_a [mg/cm ²]	0,245	0,204	0,134	0,02	0,335	0,351	0,116	-0,520*
KAROTENOIDI [mg/g]	0,530*	0,512*	0,473*	0,365	0,478*	0,462*	0,39	-0,625**
KAROTENOIDI [mg/cm ²]	0,530*	0,512*	0,473*	0,365	0,478*	0,462*	0,39	-0,625**
ANTOCIANI [rel.enota/g]	0,653**	0,607**	0,599**	0,519*	0,441	0,37	0,444*	-0,664**
ANTOCIANI [rel.enota/cm ²]	0,645**	0,600**	0,593**	0,530*	0,460*	0,398	0,462*	-0,671**
UVB [rel.enota/g]	0,683**	0,694**	0,690**	0,560*	0,471*	0,354	0,393	-0,496*
UVB[rel.enota/cm ²]	0,612**	0,633**	0,629**	0,517*	0,463*	0,354	0,347	-0,411
UVA[rel.enota/g]	0,745**	0,725**	0,739**	0,603**	0,616**	0,504*	0,506*	-0,649**
UVA[rel.enota/cm ²]	0,715**	0,699**	0,713**	0,585**	0,625**	0,516*	0,482*	-0,605**

Iz zgornje preglednice je razvidna pozitivna korelacija med karotenoidi, antociani, UV-B in UV-A absorbirajočimi snovmi (spremenljivke) ter med odbojnimi spektri v UV-B, UV-A in vijoličnem, modrem in rdečem delu odbojnega spektra (odvisne vrednosti). Negativno korelacijo imajo klorofil a, karotenoidi, antociani, UVA-A in UV-B z NIR delom spektra.

Preglednica 3: Pearson-ov korelacijski koeficient med morfološkiimi, biokemijskimi parametri listov in posameznim območjem odbojnega spektra lista pri vrsti *M. caerulea*, merjenimi na spodnji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$

Parameter/ Območje odbojnega spektra	UVB	UVA	VIJOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Biokemijski parametri								
KLOROFIL a [mg/g]	0,405	0,354	0,293	0,086	-0,06	-0,079	0,133	-0,688**
KLOROFIL_a [mg/cm ²]	0,272	0,241	0,189	-0,031	-0,162	-0,181	0,01	-0,533*
KAROTENOIDI [mg/g]	0,567**	0,592**	0,582**	0,437	0,308	0,295	0,474*	-0,605**
KAROTENOIDI [mg/cm ²]	0,567**	0,592**	0,582**	0,437	0,308	0,295	0,474*	-0,605**
ANTOCIANI [rel.enota/g]	0,599**	0,549*	0,540*	0,479*	0,311	0,313	0,514*	-0,742**
ANTOCIANI [rel.enota/cm ²]	0,577**	0,527*	0,530*	0,471*	0,312	0,315	0,522*	-0,732**
UVB [rel.enota/g]	0,589**	0,572**	0,488*	0,287	-0,167	-0,158	0,236	-0,709**
UVB[rel.enota/cm ²]	0,512*	0,511*	0,428	0,208	-0,268	-0,26	0,143	-0,617**
UVA[rel.enota/g]	0,688**	0,661**	0,600**	0,412	0,055	0,061	0,4	-0,851**
UVA[rel.enota/cm ²]	0,653**	0,636**	0,574**	0,367	-0,02	-0,017	0,34	-0,807**

Iz zgornje preglednice opazimo pozitivno korelacijo je med antociani, UV-B, UV-A absorbirajočimi snovmi in med UV-B, UV-A, vijoličnim delom spektra. Negativno korelacijo opazimo med klorofilom a, karotenoidi, antociani, UV-B, UV-A absorbirajočimi snovmi in NIR spektrom.

Preglednica 4: Pearson-ov korelacijski koeficient med morfološkiimi, biokemijskimi parametri listov in posameznim območjem presevnega spektra lista pri vrsti *M. caerulea*, merjenimi na zgornji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$

Parameter/ Območje odbojnega spektra	UVB	UVA	VIJOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Biokemijski parametri								
ANTOCIANI [rel.enota/g]	-0,397	-0,36	-0,174	0,239	0,527*	0,563**	0,319	-0,284
ANTOCIANI [rel.enota/cm ²]	-0,437	-0,395	-0,201	0,239	0,553*	0,592**	0,316	-0,371
UVB [rel.enota/g]	-0,316	-0,331	-0,297	-0,107	0,428	0,451*	0,196	-0,108
UVA[rel.enota/g]	-0,506*	-0,532*	-0,402	-0,082	0,566**	0,609**	0,196	-0,25
UVA[rel.enota/cm ²]	-0,532*	0,563**	-0,456*	-0,145	0,555*	0,601**	0,142	-0,302

V zgornji preglednici, kjer smo primerjali korelacije vrste *M. caerulea* na zgornji strani listov lahko opazimo pozitivne korelacije med karotenoidi, antociani in rumenim delom spektra ter UV-A in zelenim ter rumenim delom spektra. Negativne korelacije opazimo med UV-A absorbirajočimi snovmi in UV-B ter UV-A delom spektra.

Caserman H., Optične lastnosti listov rušnate masnice in modre stožke.

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

Preglednica 5: Pearson-ov korelacijski koeficient med morfološkimi, biokemijskimi parametri listov in posameznim območjem presevnega spektra lista pri vrsti *M. caerulea*, merjenimi na spodnji strani listov; * p ≤ 0,05, ** p ≤ 0,01

Parameter/ Območje odbojnega spektra	UVB	UVA	VIJOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Biokemijski parametri								
KLOROFIL a [mg/g]	-0,227	0,23	0,730**	0,668**	-0,406	0,528*	0,670**	-0,161
KLOROFIL_a [mg/cm ²]	-0,208	0,155	0,537*	0,507*	-0,292	0,4	0,530*	-0,172
KAROTENOIDI [mg/g]	-0,21	0,321	0,643**	0,704**	-0,612**	0,319	0,664**	-0,323
KAROTENOIDI [mg/cm ²]	-0,21	0,321	0,643**	0,704**	-0,612**	0,319	0,664**	-0,323
ANTOCIANI [rel.enota/g]	-0,294	0,05	0,721**	0,738**	-0,515*	0,567**	0,615**	-0,364
ANTOCIANI [rel.enota/cm ²]	-0,341	-0,026	0,656**	0,728**	-0,516*	0,529*	0,591**	-0,445*
UVB [rel.enota/g]	-0,31	0,084	0,658**	0,658**	-0,375	0,578**	0,615**	-0,271
UVB [rel.enota/cm ²]	-0,356	-0,003	0,508*	0,559*	-0,314	0,463*	0,523*	-0,324
UVA [rel.enota/g]	-0,483*	-0,012	0,742**	0,834**	-0,556*	0,536*	0,727**	-0,417
UVA [rel.enota/cm ²]	-0,542*	-0,097	0,634**	0,783**	-0,532*	0,444*	0,677**	-0,477*

V zgornji preglednici lahko opazimo pozitivne korelacije med klorofilom a, karotenoidi, antociani, UV-A, in UV-B absorbirajočimi snovmi ter med vijoličnim, modrim in rdečim delom spektra. Antociani imajo pozitivne korelacije tudi z rumenim delom spektra. Negativne korelacije imajo karotenoidi, antociani in UV-A absorbirajoče snovi z zelenim delom spektra.

Preglednica 6: Pearson-ov korelacijski koeficient med morfološkimi, biokemijskimi parametri listov in posameznim območjem odbojnega spektra lista pri vrsti *D. cespitosa*, merjenimi na zgornji strani listov; * p ≤ 0,05, ** p ≤ 0,01

Parameter/ Območje odbojnega spektra	UVB	UVA	VIJOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Anatomijski parametri								
Debelina zgornje kutikule [μm]	-0,424	-0,531*	-0,409	-0,342	-0,347	-0,371	0,132	
Debelina zgornje povrhnjice [μm]	0,582**	0,717**	0,239	-0,119	-0,3	-0,285	-0,188	-0,352
Debelina lista [μm]	0,419	0,521*	0,2	-0,121	-0,285	-0,261	-0,195	-0,376
Debelina mezofila [μm]	0,442	0,541*	0,193	-0,141	-0,298	-0,277	-0,216	-0,373

V peti preglednici opazimo pozitivno korelacijo med debelino zgornje povrhnjice in UV-B in UV-A delom spektra.

Preglednica 7: Pearson-ov korelacijski koeficient med morfološkimi, biokemijskimi parametri listov in posameznim območjem presevnega spektra lista pri vrsti *D. cespitosa*, merjenimi na spodnji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$

Parameter/ Območje odbojnega spektra	UVB	UVA	VIJOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Anatomski parametri								
Debelina zgornje povrhnjice[μm]	0,429	0,423	-0,454	-0,538*	-0,566*	-0,591*	-0,526*	-0,409
Debelina spodnje povrhnjice [μm]	0,481	0,592*	-0,223	-0,293	-0,335	-0,365	-0,305	-0,411
Debelina lista[μm]	0,552*	0,654**	-0,205	-0,275	-0,323	-0,355	-0,269	-0,314
Debelina mezofila [μm]	0,537*	0,640**	-0,252	-0,313	-0,345	-0,375	-0,297	-0,359

V zgornji preglednici opazimo pozitivne korelacije med debelino lista in debelino mezofila (gobastega tkiva) ter med UV-A delom spektra. Negativne korelacije opazimo med debelino zgornje povrhnjice ter med modrim, zelenim, rumenim in rdečim delom spektra.

Caserman H., Optične lastnosti listov rušnate masnice in modre stožke.

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

Preglednica 8: Pearson-ov korelacijski koeficient odvisnosti med gostoto rež in trihomov ter med posameznimi odbojnimi spektri pri vrsti *M. caerulea* merjenem na zgornji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$

Parameter/ odbojnega spektra	Območje							
	UVB	UVA	VIJOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Gostota rež	0,793**	0,710**	0,658**	0,540*	0,26	0,203	0,378	-0,929**
Dolžina rež	0,749**	0,732**	0,737**	0,641**	0,456*	0,43	0,568**	-0,791**

Korelacije obstajajo med gostoto rež in dolžino rež ter med UV-B, UV-A, violičnim, modrim, rdečim in NIR delom spektra.

Preglednica 9: Pearson-ov korelacijski koeficient odvisnosti med gostoto rež in trihomov ter med posameznimi odbojnimi spektri pri vrsti *M. caerulea* merjenem na spodnji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$

Parameter/ odbojnega spektra	Območje							
	UVB	UVA	VIJOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Gostota rež	0,749**	0,732**	0,737**	0,641**	0,456*	0,43	0,568**	-0,791**
Gostota trihomov	0,362	0,423	0,453*	0,348	0,257	0,291	0,413	-0,342

Močne korelacije obstajajo med gostoto rež in med odbojnim spektrom na spodnji strani lista v vseh frekvenčnih razredih razen v rumenem območju.

Preglednica 10: Pearson-ov korelacijski koeficient odvisnosti med gostoto rež in trihomov ter med posameznimi presevnimi spektri pri vrsti *D. cespitosa* merjenem na zgornji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$

Parameter/ odbojnega spektra	Območje							
	UVB	UVA	VIJOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Gostota rež	-0,597**	-0,608**	-0,481*	-0,129	0,492*	0,523*	0,015	-0,275
Dolžina rež	-0,437	-0,479*	-0,231	-0,003	0,323	0,346	0,017	-0,396
Gostota trihomov	0,571**	0,556*	0,207	-0,132	-0,467*	-0,474*	-0,078	0,385

Pozitivne korelacije obstajajo med gostoto trihomov ter med UV-B in UV-A delom spektra in med gostoto rež ter med zelenim in rumenim delo spektra. Negativne korelacije obstajajo med gostoto rež ter med ter med UV-B in UV-A in violičnim delom spektra.

Preglednica 11: Pearson-ov korelacijski koeficient odvisnosti med gostoto rež in trihomov ter med posameznimi presevnimi spektri pri vrsti *D. cespitosa* merjenem na spodnji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$

Parameter/ odbojnega spektra	Območje							
	UVB	UVA	VIJOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Gostota rež	-0,415	0,192	0,754**	0,829**	-0,769**	0,252	0,739**	-0,345
Gostota trihomov	0,103	0,526	0,808**	0,464	-0,214	0,777**	0,586*	0,016

Pozitivne korelacije obstajajo med gostoto rež in trihomov in modrim ter rdečim delom spektra, in med gostoto trihomov ter med violičnim in rumenim delom spektra. Negativno korelacijo opazimo med gostoto rež in zelenim delom spektra.

Caserman H., Optične lastnosti listov rušnate masnice in modre stožke.

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

Preglednica 12: Povprečja vsebnosti silicija pri vrstah *M. caerulea* in *D. cespitosa*, v obeh obdobjih (junij, julij), n= 3.

Rastlina	Obdobje	Silicij (%)+/- SE
M.caeruela	Junij	8,89+/- 0,46
M.caeruela	Julij	9,32+/- 0,28
D.cespitosa	Junij	7,90+/- 0,97
D.cespitosa	Julij	7,53+/- 0,49

Največjo vsebnost silicija smo izmerili pri vrsti *M. caerulea* v julijskem obdobju. Vrsta *D. cespitosa* je v obeh obdobjih imela manjše vsebnosti fitolitov kot vrsta *M. caerulea*.

Preglednica 13: Student t test primerjava vsebnosti silicija

Vrsta/obdobje	Vrednosti	p vrednosti
<i>M.caerulea</i> med obdobjema	1,37	0,241
<i>D. cespitosa</i> med obdobjema	0,57	0,599
<i>M. caerulea</i> & <i>D. cespitosa</i>	4,27	0,002

Vrednosti testa pri medsebojni primerjavi obdobji niso padle v kritično območje izven mejnih vrednosti, zato ničte hipoteze o enakosti povprečij ne moremo zavrnilo.

Pri primerjavi vzorcev med obema rastlinama smo primerjali dve skupini s po šestimi vzorci, z neznanimi povprečji in variancami. Vrednost testne statistike je padla v kritično območje, izven mejne vrednosti. Tako lahko ničto hipotezo o enakosti vzorcev zavrnilo.

Rastlinam se tako vsebnosti silicijevih fitolitov v razmaku enega meseca bistveno ne spreminjajo. Opazimo pa statistično signifikantno razliko med vsebnostmi silicijevih fitolitov med vrstama *M. caerulea* in *D. cespitosa*.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

Diplomsko delo je nastalo ob proučevanju Cerknškega jezera in z njim povezanimi posebnostmi tam živečih vrst rastlin. Osredotočili smo se na dve travi, *M. caerulea* in *D. cespitosa*.

Preučevali smo optične lastnosti teh dveh trav in vpliv biokemijskih in morfoloških dejavnikov na optične lastnosti. Meritve smo opravili v dveh ciklih - na rastlinah, ki smo jih nabrali v juniju in nato še v mesecu juliju. Želeli smo proučiti, ali se optične lastnosti med obema obdobjema razlikujejo in ali imata travi med obdobji različne biokemijske in

morfološke parametre. Travi smo primerjali tudi med seboj in s tem analizirali, kako se posamezni parametri in optične lastnosti razlikujejo med vrstama.

Izmerili smo odbojne in presevne spektre na zgornji in spodnji strani listov trav. Šele nato smo liste rastlin morfološko in biokemijsko preučili, saj so ti postopki destruktivni.

Primerjati smo tudi enakost oziroma različnost vplivov morfoloških in biokemijskih parametrov na optične lastnosti med obema travama in ali med temi vplivi obstajajo statistično signifikantne razlike.

5.1.1 Primerjava odbojnih in presevnih spektrov

Pri obeh vrstah so odbojni in prepustni spektri podobni. V območjih UV in vidne svetlobe sta odbojnost in prepustnost nizki, v območju NIR pa sta višji. Odstopanja so v delu vidne in NIR svetlobe. Vsi spektri imajo visoke vrednosti intenzitet v NIR delu spektra, saj tam barvila v listih ne absorbirajo svetlobe, in v zelenem delu svetlobe, kjer barvila svetlobe ne absorbirajo (Yoshimura, 2009; De Yong, 2006; Slaton in sod., 2001). V območju modre in rdeče svetlobe sta odbojnost in presevnost najnižji, saj v tem delu klorofili in karotenoidi absorbirajo večino vpadne svetlobe (Vogelmann, 1993).

Odbojni in presevni spektri se med vrstama razlikujejo v vidnem in NIR delu spektra. To lahko povežemo z različnimi vsebnostmi barvil, predvsem klorofilov in z različnimi morfološkimi lastnostmi obeh vrst (Slaton, 2001).

V NIR delu spektra imajo večji vpliv morfološke značilnosti rastlin (Belie, 2003), pri naših raziskavah so to debelina lista in debelina kutikule.

Nizko odbojnost v UV delu spektra lahko pripišemo veliki količini UV-absorbirajočih snovi (Larcher, 2003), to potrjujejo tudi naši rezultati.

5.1.2 Povezava med odbojnimi spektri in morfološkimi ter biokemijskimi lastnostmi

Predhodne raziskave so pokazale, da imajo listi največji odboj vidne svetlobe v zelenem delu spektra (Baltzer in Thomas, 2005) in v naših raziskavah smo prili do podobnih zaključkov. V tem delu spektra namreč klorofili svetlobe ne absorbirajo (Larcher, 2003). Najmanjši odboj smo pričakovali v vidnem delu spektra z minimumom v modrem in rdečem delu spektra ter maksimumom v zelenem delu spektra, kar smo tudi dokazali v naših raziskavah. V modrem in rdečem delu spektra imajo klorofili največjo absorpcijo svetlobe (Liew, 2008; De Yong, 2006).

Korelacije, ki smo jih izračunali med morfološkimi in biokemijskimi parametri ter med odbojnimi spektri pri travi *D. cespitosa* so nam pokazale, da imajo največji vpliv na odbojnost morfološke lastnosti listov, kar so v svojih raziskavah potrdili tudi Slaton in sod. (2001). Največji vpliv na odbojnost imajo debelina lista, debelina zgornje povrhnjice in

debelina mezofila, torej morfološke lastnosti listov (Slaton, Hunt in Smith, 2001), kar se zelo lepo vidi pri vrsti *D. cespitosa* saj ima zelo debele liste in debelo plast mezofila v primerjavi z vrsto *M. caerulea*. Močan vpliv na odbojnostjo v NIR delu spektra na zgornji strani listov ima tudi debelina zgornje kutikule. Debelejša kutikula povečuje odbojnost v NIR delu spektra (Liew in sod. 2008). Močno povezavo smo opazili med odbojnost listov in bodičkami pri vrsti *M. caerulea*, kot ugotavljajo številni drugi avtorji (Grant, 2008; in Mooney, 1976, Klančnik in sod., 2014).

Pri vrsti *M. caerulea* smo pri korelacijah med odbojnostjo in biokemijskimi lastnostmi listov opazili veliko več povezav kot pri vrsti *D. cespitosa*. Slaton in sodelavci (2001) trdijo, da imajo na odbojnost in presevnost največji vpliv biokemijske lastnosti listov. Pri naši raziskavi smo ugotovili, da imajo največji vpliv na odbojnost karotenoidi, antociani, UV-B ter UV-A absorbirajoče snovi (Asner in Martin, 2008). Povezave med koncentracijami barvil in odbojnostjo so opisale in dokazale mnoge druge raziskave (Asner in Martin, 2008; Harborne, 1967).

Klančnik in sod. (2014), so v svoji raziskavi ugotovili povezavo med debelino kutikule, gostoto bodičk in odbojnostjo listov, do enakih rezultatov smo prišli tudi v tej nalogi pri vrsti *M. caerulea*.

RDA analiza je pokazala, da ima na odbojnost močan vpliv debelina listov, kar se sklada z rezultati avtorjev Slaton in sod. (2001). Pri naši raziskavi imajo vpliv na odbojnost še nekateri biokemijski parametri kot so UV-A absorbirajoče snovi, karotenoidi in antociani. Analiza je pokazala, da imajo karotenoidi in antociani povezavo z NIR delom svetlobnega spektra ter da ima debelina lista povezavo z zelenim, modrim, violičnim, UV-B in UV-A delom spektra.

Korelacijo opazimo tudi med dolžino bodičk (trihomov) in rdečim, rumenim delom spektra. Kar pomeni, da bodičke vplivajo na odboj te valovnih dolžin svetlobe, kar so v svojih raziskavah tudi dokazali Grant (2008) in Levizou, (2007).

Morfološka podobnost med zgornjo in spodnjo stranjo listov kaže na to, da listi trave rastejo navpično in sta obe strani lista lahko enako izpostavljeni sončni svetlobi (Sheehy, 1973).

Med obema obdobjema merjenja ne opazimo statistično značilnih razlik, sta si oba obdobja časovno zelo blizu skupaj in trave niso uspele razviti občutnejših razlik v morfoloških in biokemijskih koncentracijah parametrov.

5.1.3 Primerjava med presevnimi spektri in morfološkimi ter biokemijskimi lastnostmi

Tako kot pri odbojnih spektrih, imajo listi tudi pri presevnih spektrih najvišje odboje v NIR in vidnem delu spektra. Tudi tukaj so prehodne raziskave pokazale, da imajo največji vpliv na presevnost v tem delu spektra biokemijske lastnosti listov (Slaton in sod., 2001). Prepustnost listov v UV delu sevanja je zelo nizka, kar pomeni, da v tem delu spektra svetloba zelo slabo prehaja skozi list in se najverjetneje v listih absorbira. O absorpciji svetlobe v UV delu spektra govorijo v svojih raziskavah tudi Yoshimura in sod. (2009). Potrdili so, da imajo tipično višje rastline nizko listno reflektanco (okoli 5%) in skoraj nič transmittance, če gledamo le UV del spektra, ne glede na tip rastline oziroma na letne čase. Zato stratificirane strukture vegetacije delujejo, kot nekakšen dodatni zaščitni sloj pred UV žarki in s tem zaščitijo celoten ekosistem.

Korelacije, ki smo jih naredili med presevnimi deli elektromagnetnega spektra in morfološkimi ter biokemijskimi lastnostmi listov pri travi *D. cespitosa* so nam pokazale, da na presevnost najbolj vplivajo debelina listov in debelina kutikule, kar v svojem delu ugotavlja tudi Wooley (1970).

Pri vrsti *M. caerulea* imajo največji vpliv na presevnost svetlobe na zgornji strani listov antociani ter UV-B in UV-A absorbirajoče snovi (Slaton in sod., 2001). V naši raziskavi opazimo zelo nizko prepustnost svetlobe na tem območju, saj se tu absorbira največ svetlobe (De Yong, 2006). Vsebnost UV-B in UV-A absorbirajočih snovi je pri obeh vrstah zelo velika. Na spodnji strani listov imajo na prepustnost velik vpliv klorofil *a*, karotenoidi, antociani, UV-B in UV-A absorbirajoče snovi.

RDA analiza je pokazala, da ima na prepustnost svetlobe vpliv debelina listov 12%. Opazili smo tudi, da se prepustnost za svetlobo razlikuje na zgornji in spodnji strani lista, prav tako, pa se razlikuje prepustnost svetlobe med obema obdobjema meritev. V juliju je prepustnost za svetlobo manjša kot v juniju. To povezujemo z večjo debelino listov in debelino gobastega tkiva, ki je v julijskem obdobju večja. Tudi debelina povrhnjice je v tem obdobju debelejša. Prav tako je zelo visoka vsebnost UV absorbirajočih snovi, še posebno UV-B absorbirajočih snovi. Raziskave drugih avtorjev, kot sta Knapp in Carter (1998), so pokazale, da je presevnost listov odvisna od debeline lista. Primerjala sta presevnost skozi različno debele liste in ugotovila, da tanjši, kot so listi večja je presevnost listov. Pri naši raziskavi se je pokazalo da ima vrsta *D. cespitosa* višjo presevnost listov kot vrsta *M. caerulea*. To lahko pripišemo dejstvu, da ima vrsta *D. cespitosa* v svoji strukturi listov dele, ki so zelo tanki in so sestavljeni izključno iz sklerenhimskega tkiva, zato se svetloba na teh mestih ne absorbira ampak preseva skozi. Pri primerjavi debeline listov smo ugotovili da ima vrsta *D. cespitosa* debelejša liste kot vrsta *M. caerulea*, zaradi česar moramo biti pri pomenu debeline lista nekoliko previdni, saj je do največje spremembe v debelini prišlo pri prehodu med vrstama – slednje pa lahko za seboj potegne še številne

druge spremembe v morfologiji in biokemiji lista. Kljub temu pa smo med vrstama opazili le malo razlik pri merjenih parametrih. Največje razlike so tako med debelinami listov, gobatega tkiva in povrhnjice, kjer ima vrsta *D. cespitosa* statistično višje vrednosti debelin. Vendar pa so vsi parametri med seboj zelo povezani in vplivajo en na drugega.

Vrsta *M. caerulea* ima v vsem delu spektra svetlobe nižjo presevnost listov, kar lahko pripišemo višjim vsebnostim biokemijskih parametrov predvsem vsebnosti klorofilov.

5.1.4 Vsebnosti silicijevih fitolitov

Raziskave so pokazale, da imajo trave zelo visoke vsebnosti silicija v primerjavi z drugimi semenkami (Takeoka, 1984). Vsebnost silicijevih fitolitov pri naših vrstah je manjša v julijskem obdobju.

T test nam je pokazal, da se med obdobjema vsebnost silicija pri eni vrsti ne razlikuje, statistično značilna je vsebnost silicija med obema rastlinama. Klančnik in sod. (2014), so dokazali, da se silicij nahaja v zgornjih in spodnjih plasteh epidermisa. Koncentracija fitolitov na zgornji povrhnjici naj bi signifikantno vplivala na presevnost listov.

6 SKLEP

Hipoteza 1: Vsote intenzitet v izbranih intervalih valovnih dolžin elektromagnetnega sevanja se razlikujejo glede na izbrano vrsto trave, glede na obdobje merjenja in glede na opazovano stran listov (obsevanje iz zgornje ali spodnje strani).

Ugotovili smo, da so vsote intenzitet med seboj podobne. Največje razlike med travama smo opazili, ko smo primerjali presevnost svetlobe skozi liste. Pri odbojnosti nismo opazili statističnih razlik, prav tako tudi nismo opazili razlik med obdobji in med stranmi listov.

Rezultate smo prikazali na grafih. Vsi spektri imajo minimume in maksimume pri enakih valovnih dolžinah. Minimumi odbojne in preseвне svetlobe se pojavljalo pri valovnih dolžinah od 450 do 500 nm in pri valovnih dolžinah od 650 do 700 nm. Maksimumi so vidni pri valovnih dolžinah okoli 500 nm in nato od 750 nm naprej. Hipoteze ne moremo potrditi saj so razlike med spektri premajhne, da bi bile lahko statistično značilno različne.

Hipoteza 2: Največji vpliv na optične lastnosti lista v vidnem delu spektra imajo vsebnosti fotosinteznih barvil. V modrem in rdečem delu spektra bosta odbojnost in prepustnost listov nižji glede na preostale dele spektra. Na prepustnost in odbojnosti v območju NIR spektra imajo največji vpliv anatomske značilnosti listov, ker barvila svetlobo v tem delu spektra slabše absorbirajo.

Rezultati so pokazali, da imajo največji vpliv na odbojnost in presevnost pri vrsti *M. caerulea* vsebnosti fotosinteznih barvil, UV absorbitrajočih snovi ter gostota in dolžina rež. Pri *D. cespitosa* pa morfološki parametri predvsem debelina listov in gobatega tkiva.

Najnižje vrednosti vsot intenzitet odbojnosti in prepustnosti smo opazili pri obeh travah v modrem in rdečem delu spektra, saj v tem pasu klorofili absorbirajo največ svetlobe. Najvišje vrednosti vsot intenzitet odbojnosti in prepustnosti pa dosegajo listi pri obeh travah v NIR delu spektra. Našo hipotezo lahko potrdimo.

S korelacijami smo uspeli dokazati, da imajo na vsoto intenzitet odbojnega spektra pri *D. cespitosa* na zgornji strani listov največji vpliv debelina zgornje povrhnjice, debelina lista in debelina mezofila.

Korelacije so pokazale tudi, da imajo na vsote intenzitet presevnega spektra listov *D. cespitosa* največji vpliv debelina povrhnjice, debelina mezofila in debelina listov.

Nismo pa uspeli dokazati korelacijskih vplivov morfoloških parametrov na presevnost in odbojnost pri *M. caerulea* razen za bodičke.

Pri *M. caerulea* smo s korelacijami dokazali, da imajo na vsote intenzitet odbojnosti in presevnosti največji vpliv barvila v območju vidne svetlobe.

Hipoteza 3: *Vsebnosti fitolitov se pri isti vrsti trave med obdobji bistveno ne spreminjajo. Vsebnosti silicija so statistično značilno različne med obema vrstama trav.*

Vsebnosti silicijevi fitolitov so višje v obdobju julija kot v obdobju junija. Rezultati t testov so pokazali, da se vsebnosti fitolitov znotraj posamezne rastline glede na obdobje ne razlikujejo, se pa značilno razlikujejo vsebnosti fitolitov med obema rastlinama.

Hipotezo lahko potrdimo.

7 POVZETEK

Diplomska naloga se je osredotočila na preučevanje optičnih lastnosti dveh trav iz področja Cerknjškega jezera. Preučevali smo morfološke in biokemijske lastnosti, ter kako posamezni parametri teh dveh področji vplivajo na optične lastnosti listov. Meritve smo opravil na listih nabranih v dveh obdobjih in primerjali tudi kako se optične lastnosti razlikujejo med obema obdobjema. Zanimalo nas je tudi, kako se optične lastnosti razlikujejo, če merimo odboj oziroma prepustnost listov na zgornji oziroma na spodnji strani listov. Predvidevali smo, da bodo imeli velik vpliv na optične lastnosti v področju vidne svetlobe predvsem biokemijski parametri, kar smo pri vrsti *M. caerulea* tudi potrdili, pri vrsti *D. cespitosa* pa so nam rezultati pokazali, da imajo na optične lastnosti vpliv predvsem morfološki parametri. Naši rezultati se skladajo z mnogimi predhodnimi raziskavami. V območju vidne svetlobe sta obojnost in prepustnost zelo nizki, zelo visoko odbojnost in prepustnost imajo listi v območju NIR svetlobnega spektra. K odbojnosti pripomorejo tudi reže in trihomi, kar smo potrdili tudi v naši raziskavi. Primerjali smo tudi kakšne vsebnosti fitolitov vsebuje posamezna trava in kakšne so razlike med obdobji in med obema travama. Opazili smo, da ima vrsta *M. caerulea* višje vsebnosti silicijevih fitolitov kot vrsti *D. cespitosa*.

Caserman H., Optične lastnosti listov rušnate masnice in modre stožke.

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

VIRI

Adams M.L., Philpot W.D., Norvell W.A. 1999. Yellowness index: An application of spectral second derivatives to estimate chlorosis of leaves in stressed vegetation. *Internacional journal of remote sensing*, 20: 3663-3675

Allen W.A., Gausman H.G., Richardson A.J., Thomas J.R. 1969. Interaction of isotropic light with a compact plant leaf. *Journal of the Optical Society of America*, 59: 1376-1379

Baltzer J. L., Thomas S. C. 2005. Leaf optical responses to light and soil nutrient availability in temperate deciduous trees. *American Journal of Botany*, 92: 214-223

Barnes J.D., Cardoso-Vilhena J. 1996. Interactions between electromagnetic radiation and the plant cuticle. In *Plant cuticles, an integrated functional approach*, Kerstiens G., (ed). Oxford, BIOS Scientific Publishers: 157-170

Biswall, B. 1995. Carotenoid catabolism during leaf senescence and its control by light. *Journal of Photochemical Photobiology*, B 30: 3-14

Brand J.C.D. 1995. *Lines of Light, The Sources of Dispersive Spectroscopy, 1800-1930*. 1st ed. Boca Raton Florida: London, CRC Press: 30-32

Bremont L. 2005. A phytolith index as a proxy of tree cover density in tropical areas: Calibration with Leaf Area Index along a forest-savannah transect in southeastern Cameroon. *Global Planet Change*, 45: 277-293

Bremont L. 2005. Grass water stress estimated from phytoliths in West Africa. *Journal of Biogeography*, 32, 311-327

Breznik M. 1961. Akumulacija na Cerkniskem in Planinskem polju. *Geologija*, 15: 121-122

Boeger M.R.T., Poulson M.E. 2003. Influence of substratum and water velocity on growth of *Ranunculus aquatilis* L. (Ranunculaceae). *Aquatic Botany*, 42: 351-359

Bone R.A., Lee D.W., Norman J.M. 1985. Epidermal cells functioning as lenses in leaves of tropical rain-forest shade plants. *Applied Optics*, 24: 1408-1412

Casey W.H., Kinrade S.D., Knight C.T.G., Rains D.W., Epstein E. 2004. Aqueous silicate complexes in wheat, *Triticum aestivum* L. *Plant Cell Environment*, 27: 51-54

Caserman H., Optične lastnosti listov rušnate masnice in modre stožke.

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

Ehleringer J., Björkman O., Mooney H.A. 1976. Leaf pubescence: effects on absorptance and photosynthesis in a desert shrub. *Science*, 192: 376-377

Gaberščik A., Martinčič A. 1992. Spreminjanje lastnosti listov vodne dresni (*Polygonum amphibium* L.) v gradientu kopno/voda. *Biološki vestnik*, 40, 1: 1 – 11

Grant L., Daughtry C.S.T., Vanderbilt V.C. 1993. Polarized and specular reflectance variation with leaf surface features. *Physiology Plantarum*, 88: 1-9

Grant L. 2008. Diffuse and specular characteristics of leaf reflectance. *Remote Sensing Environment*, 22: 8-15

Grace J., Van Gardingen P. R. 1996. Plant cuticles under challenge. V: *Plant cuticles an integrated functional approach*. Kerstiens G. (ed). Oxford, Bios Scientific: 319-329

De Belie N., Pedersen D.K., Martens M., Munck L., De Baerdemaeker J. 2003. The Use of Visible and Near-Infrared Reflectance Measurements to assess Sensory Changes in Carrot Texture and Sweetness during Heat Treatment. *Biosystem Engineering*, 85, 2: 213–225

DeLucia E.H., Nelson K., Vogelmann T.C., Smith W.K. 1996. Contribution of intercellular reflectance to photosynthesis in shade leaves. *Plant Cell Environment*, 19: 159-170

Epstein E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91: 11–17

Epstein E. 1999. Silicon. *Annual Review of Plant Physiology. Plant Molecular Biology*, 50: 641–664

Fourty T., Baret F., Jacquemoud S., Schmuck G., Verdebout J. 1996. Leaf optical properties with explicit description of its biochemical composition: direct and inverse problems. *Remote Sensing of Environment*, 56: 104-117

Gaberščik A., Urbanc-Berčič O. 2003. Ekosistem, ki ga ustvarja igra vode. V: *Jezero, ki izginja: Monografija o Cerkniskem jezeru*. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 51–57

Hodson M.J. 2005. Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. *Annual Botany*, 96: 1027–1046

Hunt M. R., Smith E. R. 2001. Estimating near-infrared leaf reflectance from leaf structural characteristics. *American Journal of Botany*, 88: 278-284

Caserman H., Optične lastnosti listov rušnate masnice in modre stožke.

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

Jogan N., Bačič M., Eler K., Fraiman B., Martinčič A., Podobnik A., Ravnik A., Strgulc Krajšek S., Surina B., Trčak B., Turk B., Vreš B., Wraber T. 2007. Mala Flora Slovenije - Ključ za določanje praprotnic in semenk. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 886 - 915

Klančnik K., Vogel-Mikuš K., Kelemen M., Vavpetič P., Pelicon P., Kump P., Jezeršek D., Gianoncelli A., Gaberščik A. 2014. Leaf optical properties are affected by the location and type of deposited biominerals. *Journal of Photochemical Photobiology*, 140: 276-85

Klančnik K., Mlinar M., Gaberščik A. 2012. Heterophylly results in a variety of "spectral signatures" in aquatic plant species. *Aquatic Botany*, 98: 20– 26

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: 940-946

Kranjc A. 1996. Raziskovanje vodnih jam na Slovenskem. *Kronika*, 32, 1: 35 - 43

Larcher W. 2003. *Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups*, 4th edition. Berlin, Springer: 513-520

Myers D.A., Vogelmann T.C., Bornman J.F. 1994. Epidermal focussing and effects on light utilization in *Oxalis acetosella*. *Physiology Plantarum*, 91: 651-656

Neill S., Gould K.S. 1999. Optical properties of leaves in relation to anthocyanin concentration and distribution. *Canadian Journal of Botany*, 77: 1777-1782

Pallet K. I., Young A. J. 1993 *Carotenoids. V: Antioxidants in Higher Plants*. Alscher R.G., Hess J.L. (eds.). Boca Raton, CRC Press: 59-8960–89

Piperno D.R. 2006. *Phytoliths. V: A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists*. Lanham, AltaMira Rowman & Littlefield Publisher Incorporated: 5 - 81

Porra R.J. 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynthesis Research*, 73: 149-156

Sheehy J. E., Cooper J. P. 1973. Light Interception, Photosynthetic Activity, and Crop Growth Rate in Canopies of Six Temperate Forage Grasses. *Journal of Applied Ecology*, 10, 1: 239-250

Slaton M.R., Hunt E.R. Jr., Smith W.K. 2001. Estimating near-infrared leaf reflectance from leaf structural characteristics. *American Journal of Botany*, 88: 278-284

Caserman H., Optične lastnosti listov rušnate masnice in modre stožke.

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

Taiz L., Zeiger E. 2006. *Plant Physiology* (4th izd.). Sunderland, Massachusetts, Sinauer Associates Incorporated: 126 - 130

Tome D. 2006. *Ekologija: organizmi v prostoru in času*. Ljubljana: Tehniška založba slovenije: 50 -67

Vogelmann T.C. 1993. Plant tissue optics. *Annual Review of Plant Physiology*, 44: 231-251

Vogelmann T.C., Martin G. 1993. The functional significance of palisade tissue: penetration of directional versus diffuse light. *Plant Cell Environment*, 16: 65-72

Vogelmann T.C., Knapp A.K., McClean T.M., Smith W.K. 1988. Measurement of light within thin plant tissues with fibre optic microprobes. *Physiologia Plantarum*, 72: 623-630

Wooley J. T. 1971. Reflectance and Transmittance of Light by Leaves. *Plant Physiology*, 47: 656-662

Woolley J.T. 1975. Refractive index of soybean leaf cell walls. *Plant Physiology*, 55: 172-174

ZAHVALA

Zahvalila bi se rada moji mentorici prof. dr. Alenki Gaberščik, ki me je spodbujala in me usmerjala, da sem dokončala diplomsko delo. Zahvala gre tudi Katji Klančnik, za vse tehnične in praktične nasvete skozi praktični del diplome prav tako pa tudi za potrpežljivo odgovarjanje na vsa vprašanja in zaplete.

Zahvalila bi se rada obojim staršem, ki so omogočili prosti čas za pisanje diplomskega dela. Hvala za vso spodbudo in oporo.

Zahvala pa gre tudi tebi Matevž, ki si ves čas budno bedel nad mojim delom, mi pomagal v razmislekih in odpravil nešteto tehničnih zapletov. Predvsem pa si ves čas verjel vame.

Hvala vsem, brez vas bi težko prišla do zaključka tega dela moje poti.

PRILOGE

A Preglednica testov normalnosti

Preglednica 14: Testiranje normalnosti podatkov

	Test Normalnosti					
	Kolmogorov-Smirnova ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	st	Sig.	Statistic	st	Sig.
KUTIKULA sp	0,207	10	,200*	0,888	10	0,159
KUTIKULA zg	0,178	10	,200*	0,91	10	0,284
POVRHNJICA sp	0,228	10	0,15	0,886	10	0,152
POVRHNJICA zg	0,16	10	,200*	0,947	10	0,636
LIST	0,201	10	,200*	0,918	10	0,343
GOBASTO TKIVO	0,223	10	0,171	0,917	10	0,336
KLOROFIL A	0,306	10	0,009	0,822	10	0,027
KLOROFIL A	0,298	10	0,012	0,835	10	0,038
KLOROFIL B	0,282	10	0,023	0,85	10	0,057
KLOROFIL B	0,268	10	0,04	0,849	10	0,056
KAROTENOIDI	0,251	10	0,074	0,912	10	0,295
KAROTENOIDI	0,207	10	,200*	0,909	10	0,274
ANTOCIANI	0,208	10	,200*	0,882	10	0,137
ANTOCIANI	0,249	10	0,079	0,84	10	0,044
SLA	0,181	10	,200*	0,895	10	0,191
H2O	0,178	10	,200*	0,925	10	0,404
UVB	0,155	10	,200*	0,884	10	0,145
UVB	0,155	10	,200*	0,884	10	0,145
UVA	0,181	10	,200*	0,88	10	0,13
UVA	0,182	10	,200*	0,88	10	0,13

* Spodnja meja prave signifikantnosti
a Lillieforn-ov signifikantni popravek

B Preglednica studentovih t-testov razlike povprečji

Preglednica 15: Preglednica studentovih t-testov. Črke a, b, c, d, e in f označujejo statistično značilne razlike v vsebnosti morfoloških in biokemijskih parametrov.

Student t test	M. caerulea		D.cespitosa		M. caerulea&D .cespitosa	
	junij	julij	junij	julij	junij	julij
Lastnosti						
debelina lista	a	a	c	c	e	f
debelina kutikule	a	a	c	d	e	f
debelina povrhnjice	a	a	c	d	e	f
debelina gobastega tkiva	a	a	c	d	e	f
gostota bodičk	a	a	c	c	e	e
gostota listnih rež	a	b	c	c	e	f
vsebnost vode	a	a	c	c	e	e
SLA	a	a	c	d	e	f
vsebnost klorofilov a	a	b	c	c	e	f
vsebnost klorofilov a	a	b	c	d	e	f
vsebnost klorofilov b	a	a	c	c	e	f
vsebnost klorofilov b	a	a	c	c	e	f
vsebnost karotenoidov	a	b	c	c	e	f
vsebnost karotenoidov	a	b	c	d	e	e
vsebnost antocianov	a	b	c	c	e	f
vsebnost antocianov	a	b	c	c	e	e
vsebnost UV A abs	a	b	c	d	e	e
vsebnost UV A abs	a	b	c	d	e	d
vsebnost UV B abs	a	b	c	d	e	e
vsebnost UV B abs	a	b	c	d	e	e

C Korelacije med odbojnimi spektri in biokemiskimi oziroma morfološkimi parametri

Pearson-ov korelacijski koeficient med morfološkimi, biokemijskimi parametri listov in posameznim območjem odbojnega spektra lista pri vrsti *D. cespitosa*, merjenimi na spodnji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$

Parameter/ Območje odbojnega spektra	UVB	UVA	VIJOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Biokemijski parametri								
KLOROFIL a [mg/g]	0,264	0,314	0,358	0,322	0,021	0,011	0,059	0,071
KLOROFIL_a [mg/cm ²]	0,426	0,443	0,553*	0,530*	0,243	0,22	0,315	0,482*
KLOROFIL b [mg/g]	0,056	0,106	0,01	-0,038	-0,138	-0,121	-0,118	-0,381
KLOROFIL b [mg/cm ²]	0,283	0,308	0,224	0,153	-0,005	0,012	0,075	-0,006
KAROTENOIDI [mg/g]	0,264	0,269	0,374	0,366	0,095	0,079	0,128	0,318
KAROTENOIDI [mg/cm ²]	0,264	0,269	0,374	0,366	0,095	0,079	0,128	0,318
ANTOCIANI [rel.enota/g]	0,156	0,252	0,131	0,071	-0,052	-0,049	-0,012	-0,195
ANTOCIANI [rel.enota/cm ²]	0,334	0,39	0,306	0,224	0,068	0,052	0,136	0,27
SLA [cm ² /mg]	-0,153	-0,111	-0,181	-0,191	-0,207	-0,195	-0,236	0,563**
UVB [rel.enota/g]	-0,406	-0,395	-0,34	-0,29	-0,139	-0,149	-0,249	-0,482*
UVB [rel.enota/cm ²]	-0,407	-0,413	-0,311	-0,241	-0,056	-0,072	-0,168	-0,281
UVA [rel.enota/g]	-0,42	-0,409	-0,35	-0,295	-0,156	-0,163	-0,257	-0,513*
UVA [rel.enota/cm ²]	-0,418	-0,424	-0,316	-0,241	-0,073	-0,085	-0,173	-0,294

Pearson-ov korelacijski koeficient med morfološkimi, biokemijskimi parametri listov in posameznim območjem odbojnega spektra lista pri vrsti *M. caerulea*, merjenimi na zgornji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$

Parameter/ Območje odbojnega spektra	UVB	UVA	VIJOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
KLOROFIL b [mg/g]	-0,073	-0,112	-0,154	-0,258	0,112	0,133	-0,101	-0,332
KLOROFIL b [mg/cm²]	-0,158	-0,189	-0,233	-0,316	0,069	0,102	-0,164	-0,221
SLA [cm²/mg]	0,314	0,278	0,275	0,211	0,145	0,096	0,213	-0,33

Pearson-ov korelacijski koeficient med morfološkimi, biokemijskimi parametri listov in posameznim območjem odbojnega spektra lista pri vrsti *M. caerulea*, merjenimi na spodnji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$

Parameter/ Območje odbojnega spektra	UVB	UVA	VIJOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
KLOROFIL b [mg/g]	-0,029	-0,07	-0,147	-0,311	-0,339	-0,332	-0,168	-0,342
KLOROFIL b [mg/cm ²]	-0,122	-0,149	-0,221	-0,393	-0,429	-0,423	-0,27	-0,222
SLA [cm ² /mg]	0,326	0,273	0,24	0,233	0,197	0,208	0,294	-0,401

Pearson-ov korelacijski koeficient med morfološkimi, biokemijskimi parametri listov in posameznim območjem presevnega spektra lista pri vrsti *M. caerulea*, merjenimi na zgornji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$

Parameter/ Območje odbojnega spektra	UVB	UVA	VIJOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Biokemijski parametri								
KLOROFIL a [mg/g]	-0,257	-0,298	-0,175	-0,079	0,239	0,27	0,091	-0,071
KLOROFIL_a [mg/cm ²]	-0,193	-0,242	-0,134	-0,1	0,186	0,214	0,065	-0,051
KLOROFIL b [mg/g]	0,007	-0,057	-0,1	-0,25	-0,153	-0,138	-0,133	0,082
KLOROFIL b [mg/cm ²]	0,066	0	-0,063	-0,248	-0,199	-0,185	-0,153	0,096
KAROTENOIDI [mg/g]	-0,312	-0,362	-0,198	0,023	0,394	0,43	0,189	-0,262
KAROTENOIDI [mg/cm ²]	-0,312	-0,362	-0,198	0,023	0,394	0,43	0,189	-0,262

Pearson-ov korelacijski koeficient med morfološkimi, biokemijskimi parametri listov in posameznim območjem presevnega spektra lista pri vrsti *M. caerulea*, merjenimi na zgornji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$

Parameter/ Območje odbojnega spektra	UVB	UVA	VIJOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
SLA [cm ² /mg]	-0,119	-0,091	-0,005	0,095	0,154	0,158	0,167	0,13
UVB[rel.enota/cm ²]	-0,314	-0,334	-0,336	-0,169	0,391	0,417	0,133	-0,16

Pearson-ov korelacijski koeficient med morfološkimi, biokemijskimi parametri listov in posameznim območjem presevnega spektra lista pri vrsti *M. caerulea*, merjenimi na spodnji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$

Parameter/ Območje odbojnega spektra	UVB	UVA	VIJOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
KLOROFIL b [mg/g]	-0,044	0,254	0,375	0,302	-0,093	0,344	0,39	0,059
KLOROFIL b [mg/cm ²]	-0,018	0,216	0,232	0,175	-0,003	0,26	0,28	0,05
SLA [cm ² /mg]	0,03	0,203	0,541*	0,405	-0,223	0,407	0,374	0,148

Preglednica: Pearson-ov korelacijski koeficient med morfološkimi, biokemijskimi parametri listov in posameznim območjem odbojnega spektra lista pri vrsti *D. cespitosa*, merjenimi na zgornji strani listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$

Parameter/ Območje odbojnega spektra	UVB	UVA	VIJOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Debelina zgornje kutikule [μm]	0,212	-0,05	-0,089	-0,019	0,094	0,077	0,077	0,044
Debelina spodnje kutikule [μm]	0,063	-0,05	0,113	0,128	0,096	0,08	0,098	-0,033
Debelina spodnje povrhnjice [μm]	0,222	0,348	0,164	-0,085	-0,157	-0,136	-0,077	-0,415

Pearson-ov koeficient odvisnosti med posameznim območjem presevnega spektra lista pri *D. cespitosa* merjenem na zgornji strani lista in anatomskimi ter biokemijskimi parametri listov; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$

Parameter/ Območje odbojnega spektra	UV_B	UV_A	VIOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Biokemijski parametri								
KLOROFIL a [mg/g]	0,171	0,298	0,117	-0,055	-0,119	-0,115	-0,137	-0,059
KLOROFIL_a [mg/cm ²]	-0,257	-0,144	-0,062	-0,095	-0,008	0,015	-0,116	-0,011
KLOROFIL b [mg/g]	0,36	0,477	0,389	0,239	0,126	0,126	0,187	0,044
KLOROFIL b [mg/cm ²]	-0,083	0,079	0,297	0,28	0,324	0,348	0,31	0,09
KAROTENOIDI [mg/g]	-0,176	-0,075	-0,189	-0,252	-0,178	-0,163	-0,282	-0,057
KAROTENOIDI [mg/cm ²]	-0,176	-0,075	-0,189	-0,252	-0,178	-0,163	-0,282	-0,057
ANTOCIANI [rel.enota/g]	0,512*	0,476	0,347	0,148	-0,053	-0,078	0,089	0,021
ANTOCIANI [rel.enota/cm ²]	0,137	0,08	0,192	0,103	0,022	0,009	0,107	0,084
SLA [cm ² /mg]	0,514*	0,532*	0,251	0,067	-0,09	-0,11	-0,008	-0,019
UVB [rel.enota/g]	0,307	0,245	0,017	-0,106	-0,256	-0,278	-0,156	-0,244
UVB [rel.enota/cm ²]	0,127	0,05	-0,068	-0,123	-0,234	-0,251	-0,155	-0,256
UVA [rel.enota/g]	0,223	0,158	-0,059	-0,168	-0,283	-0,301	-0,208	-0,214
UVA [rel.enota/cm ²]	0,044	-0,031	-0,139	-0,181	-0,259	-0,271	-0,204	-0,216
Anatomski parametri								
Debelina zgornje kutikule [μm]	-0,269	-0,342	-0,231	-0,093	0,127	0,096	0,066	-0,048
Debelina spodnje kutikule [μm]	-0,237	-0,317	-0,24	-0,226	-0,182	-0,187	-0,216	-0,083
Debelina zgornje povrhnjice [μm]	-0,081	-0,118	-0,433	-0,482*	-0,482	-0,477	-0,434	-0,44
Debelina spodnje povrhnjice [μm]	0,357	0,349	-0,075	-0,174	-0,441	-0,43	-0,256	-0,339
Debelina lista [μm]	0,121	0,09	-0,214	-0,25	-0,398	-0,388	-0,265	-0,268
Debelina gobatega tkiva [μm]	0,112	0,095	-0,216	-0,235	-0,38	-0,367	-0,247	-0,27

C1 Korelacije med odbojnimi spektri in režami oziroma trihomi

Pearson-ov koeficient odvisnosti med posameznim območjem odbojnega spektra lista pri *D. cespitosa* merjenem na zgornji strani lista in režami ter trihomi; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$

Parameter/ Območje odbojnega spektra	UV_B	UV_A	VIOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Gostota rež	0,449*	0,397	0,041	-0,213	-0,243	-0,283	-0,268	-0,15
Dolžina rež	-0,067	0,236	0,032	-0,17	-0,217	-0,194	-0,12	-0,490*
Gostota trihomov	0,172	0,028	-0,038	-0,218	-0,088	-0,132	-0,216	0,212

Pearson-ov koeficient odvisnosti med posameznim območjem presevnega spektra lista pri *D. cespitosa* merjenem na zgornji strani lista in režami ter trihomi; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$

Parameter/ Območje odbojnega spektra	UV_B	UV_A	VIOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Gostota rež	-0,142	-0,187	-0,078	0,014		0,004	0,064	0,048
Dolžina rež	-0,495*	-0,514*	-0,178	-0,042	0,198	0,193	0,057	0,019
Gostota trihomov	-0,225	-0,272	0,062	0,225	0,365	0,344	0,298	-0,011

Pearson-ov koeficient odvisnosti med posameznim območjem odbojnega spektra lista pri *D. cespitosa* merjenem na spodnji strani lista in režami ter trihomi; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$

Parameter/ Območje odbojnega spektra	UV_B	UV_A	VIOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Gostota rež	0,004	0,069	0,035	-0,016	-0,065	-0,077	-0,089	-0,193
Dolžina rež	0,17	0,135	0,192	0,265	0,246	0,263	0,317	0,346
Gostota trihomov	0,075	0,116	0,14	0,094	-0,142	-0,109	-0,007	0,154

Pearson-ov koeficient odvisnosti med posameznim območjem presevnega spektra lista pri *D. cespitosa* merjenem na zgornji strani lista in režami ter trihomi; * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$

Parameter/ Območje odbojnega spektra	UV_B	UV_A	VIOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Gostota rež	0,131	0,138	-0,009	0,021	-0,094	-0,085	0,028	0,018
Dolžina rež	-0,317	-0,377	-0,103	-0,101	0,083	0,087	-0,067	-0,123
Gostota trihomov	0,163	0,094	0,204	0,247	0,233	0,208	0,254	0,069