

UNIVERZA V LJUBLJANI
PEDAGOŠKA FAKULTETA
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
FAKULTETA ZA KEMIJO IN KEMIJSKO TEHNOLOGIJO
NARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA

Študijska smer: Kemija in Biologija

ODBOJNI SPEKTRI LISTOV NAVADNE STRELUŠE

DIPLOMSKO DELO

REFLECTANCE SPECTRA OF THE SPECIES *Sagittaria sagittifolia*

GRADUATION THESIS

Mentorica: prof. dr. Alenka Gaberščik

Kandidatka: Marina Pančič

Ljubljana, junij 2012

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija Kemije in Biologije. Opravljeno je bilo na Katedri za ekologijo in varstvo okolja na Oddelku za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Študijska komisija Oddelka za biologijo je 13. januarja 2012 odobrila predlagano temo diplomske naloge z naslovom Odbojni spektri listov navadne streluše. Za mentorico je imenovala prof. dr. Alenko Gaberščik.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednica: doc. dr. Mateja GERM
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

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

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

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

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

Marina Pančič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dd
- DK 581.5(043.2)=163.6
- KG odbojnost/navadna streluša/lastnosti listov
- AV PANČIČ, Marina
- SA GABERŠČIK, Alenka (mentor)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Kardeljeva ploščad 16
- ZA Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta, Biotehniška fakulteta, Program Kemija in Biologija
- LI 2012
- IN ODBOJNI SPEKTRI LISTOV NAVADNE STRELUŠE
- TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
- OP X, 44 str., 3 preg., 26 sl., 29 vir.
- IJ sl
- JI sl/an
- AI Proučevali smo odbojnost listov navadne streluše (*Sagittaria sagittifolia*). Meritve smo opravljali na potopljenih, plavajočih in kopenskih listih. Izmerili smo odbojnost listov v območju od 280 do 800 nm. Določili smo tudi specifično listno površino, analizirali zgradbo lista, določili število in velikost listnih rež ter vsebnost barvil in UV absorbirajočih snovi. Želeli smo raziskati variabilnost odbojnih spektrov in ugotoviti, v kakšni meri lahko izbrane morfološke in biokemijske lastnosti lista razložijo odbojnost. Rezultati so pokazali, da so se listi navadne streluše večinoma statistično značilno razlikovali v obeh tipih lastnosti. S temi ugotovitvami je bila skladna odbojnost lista, saj so bili spektri najbolj podobni v vidnem območju, kjer odbojnost v glavnem določajo barvila, precej pa so se razlikovali v UV in NIR (700 – 800 nm) območju, kar je verjetno posledica različnih anatomskih, morfoloških in nekaterih biokemijskih lastnosti. Najbolj sta se razlikovala potopljeni in plavajoči list navadne streluše. Plavajoči listi so imeli v UV območju višjo odbojnost kot potopljeni in kopenski listi, prav tako v zelenem delu vidnega spektra. V NIR območju je bila odbojnost kopenskih listov največja, potopljenih pa najmanjša, kar pripisujemo različni zgradbi lista.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- ŠD Dd
- DK 581.5(043.2)=163.6
- KG reflectance/*Sagittaria sagittifolia*/leaf properties
- AV PANČIČ, Marina
- SA GABERŠČIK, Alenka (supervisor)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Kardeljeva ploščad 16
- ZA University of Ljubljana, Faculty of Education, Biotechnical Faculty, Academic Study Programme Chemistry and Biology
- LI 2012
- IN REFLECTANCE SPECTRA OF THE SPECIES *Sagittaria sagittifolia*
- TD Graduation thesis (University studies)
- OP X, 44 p., 3 tab., 26 fig., 29 ref.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI The measurements of reflectance were performed on submersed, natant and terrestrial leaves of species *Sagittaria sagittifolia*. Reflectance was measured within the range of 280 – 800 nm. Specific leaf area, leaf structure, stomata length and density, amount of pigments and UV-absorbing compounds were also determined. The goal was to examine variability of reflectance spectra and to investigate the impact of leaf morphological and biochemical parameters on reflectance. The results showed that *Sagittaria sagittifolia* leaves were statistically different in both types of parameters. That resulted in reflectance spectra, namely the most similar were spectra in visible region, where reflectance is primarily controlled by leaf pigments. Leaf reflectance spectra differed more in UV and NIR (700 – 800 nm) regions, which are probably the result of anatomical, morphological and some biochemical variability. The biggest difference was observed between submerged and natan leaves. Natan leaves had higher reflectance in UV region and also in the green region of the optical spectrum than submerged and terrestrial leaves. Terrestrial leaves had the highest and submerged leaves lowest reflectance in NIR region, which was probably the result of different leaf anatomy.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO PREGEDNIC	VII
KAZALO SLIK.....	VIII
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI.....	X
1 UVOD	1
1.1 HIPOTEZE	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 ZNAČILNOSTI ODBOJNIH SPEKTROV LISTOV	3
2.2 VPLIVI NA ODBOJNE SPEKTRE.....	4
2.2.1 Anatomske in morfološke značilnosti	4
2.2.2 Biokemijske značilnosti	6
2.2.2.1 Barvila.....	6
2.2.2.2 Celuloza in lignin.....	8
2.2.3 Vsebnost vode	8
3 MATERIALI IN METODE	9
3.1 OBMOČJE RAZISKAVE.....	9
3.2 PREDMET RAZISKAVE.....	10
3.3 METODE DELA	11
3.3.1 Merjenje odbojnih spektrov	11
3.3.2 Merjenje presevnosti listov	12
3.3.3 Morfološke meritve	12
3.3.3.1 Specifična lista površina	12
3.3.3.2 Zgradba lista.....	12
3.3.3.3 Število in velikost listnih rež.....	13
3.3.4 Biokemijske analize	13
3.3.5 Statistična obdelava podatkov	14
4 REZULTATI.....	15
5 RAZPRAVA	34
6 SKLEPI	37
7 POVZETEK	38
8 PRENOS PRIDOBLENEGA ZNANJA NA POUČEVANJE V OSNOVNI ŠOLI	39
8.1 ANALIZA UČNIH NAČRTOV	39
8.2 UČNA PRIPRAVA NA TEMO ODBOJNI SPEKTRI LISTOV NAVADNE STRELUŠE ZA 8. RAZRED.....	39

9	VIRI.....	42
	ZAHVALA	
	PRILOGE	

KAZALO PREGEDNIC

Preglednica 1: Značilnosti razlik med različnimi tipi listov navadne streluše (*S. sagittifolia*) 29

Preglednica 2: Povezanost med odbojnostjo in posameznimi lastnostmi listov navadne streluše (*S. sagittifolia*)..... 32

Preglednica 3: Povezanost med presevnostjo in posameznimi lastnostmi listov navadne streluše (*S. sagittifolia*)..... 33

KAZALO SLIK

Slika 1: Specifična listna površina [$\text{cm}^2\text{mg}^{-1}$] različnih tipov listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>)	15
Slika 2: Gostota listnih rež [mm^{-2}] na zgornji in spodnji povrhnjici pri plavajočem in kopenskem tipu listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>)	16
Slika 3: Spodnja povrhnjica plavajočega in zgornja povrhnjica kopenskega lista navadne streluše.....	16
Slika 4: Dolžina listnih rež [μm] na zgornji in spodnji povrhnjici pri plavajočem in kopenskem tipu listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>)	17
Slika 5: Širina listnih rež [μm] na zgornji in spodnji povrhnjici pri plavajočem in kopenskem tipu listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>)	18
Slika 6: Debelina lista [μm] različnih tipov listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>).....	19
Slika 7: Potopljeni, plavajoči in kopenski list navadne streluše v prerezu	19
Slika 8: Debelina zgornje povrhnjice [μm] različnih tipov listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>)	20
Slika 9: Debelina spodnje povrhnjice [μm] različnih tipov listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>)	20
Slika 10: Skupna debelina parenhima [μm] različnih tipov listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>)	21
Slika 11: Debelina stebričastega tkiva [μm] pri plavajočem in kopenskem tipu listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>).....	21
Slika 12: Debelina gobastega tkiva [μm] pri plavajočem in kopenskem tipu listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>).....	22
Slika 13: Skupna debelina parenhima ter stebričastega in gobastega tkiva [μm] različnih tipov listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>)	22
Slika 14: Debelina kutikule [μm] pri plavajočem in kopenskem tipu listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>)	23
Slika 15: Vsebnost klorofila <i>a</i> [mg g^{-1} ss] pri različnih tipih listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>)	24
Slika 16: Vsebnost klorofila <i>b</i> [mg g^{-1} ss] pri različnih tipih listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>)	24
Slika 17: Vsebnost klorofila <i>a</i> in <i>b</i> [mg g^{-1} ss] pri različnih tipih listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>)	25

Slika 18: Vsebnost karotenoidov [mg g^{-1} ss] pri različnih tipih listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>)	26
Slika 19: Vsebnost antocianov [relativna enota] pri različnih tipih listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>)	26
Slika 20: Vsebnost UV-A absorbirajočih snovi [relativna enota] pri različnih tipih listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>)	27
Slika 21: Vsebnost UV-B absorbirajočih snovi [relativna enota] pri različnih tipih listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>)	28
Slika 22: Vsebnost UV-A in UV-B absorbirajočih snovi [relativna enota] pri različnih tipih listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>)	28
Slika 23: Odbojni spektri potopljenega, plavajočega in kopenskega tipa listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>).....	30
Slika 24: Spektri presevnosti potopljenih, plavajočih in kopenskih listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>)	30
Slika 25: Dendrogram podobnosti potopljenega, plavajočega in kopenskega tipa listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>)	31
Slika 26: Dendrogram podobnosti potopljenega, plavajočega in kopenskega tipa listov navadne streluše (<i>S. sagittifolia</i>)	32

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ANOVA	analiza variance
Ant	antociani
CFC	klorofluorokarboni
E ₄₇₀ , E ₅₃₀ , E ₆₄₅ , E ₆₆₂	ekstinkcije pri danih valovnih dolžinah
IR	infrardeče sevanje
Kar	karotenoidi
Kl <i>a</i> , Kl <i>b</i>	klorofil <i>a</i> , klorofil <i>b</i>
kop	kopenski listi
NIR	bližnje infrardeče sevanje (700 – 1400 nm)
PAR	fotosintezno aktivno sevanje (400 – 700 nm)
pl	plavajoči listi
pot	potopljeni listi
r	Spearman-ov korelacijski koeficient
SD	standardna deviacija
SLA	specifična listna površina
ss	suha masa
<i>t</i> -test	dvosmerni Studentov <i>t</i> -test
UV	ultravijolično sevanje
UV abs	UV absorbirajoče snovi
UV-A	ultravijolični del svetlobnega spektra z valovno dolžino 320 – 400 nm
UV-B	ultravijolični del svetlobnega spektra z valovno dolžino 280 – 320 nm
UV-C	ultravijolični del svetlobnega spektra z valovno dolžino 200 – 280 nm

1 UVOD

Listi imajo svojevrstne optične lastnosti. Del sončeve svetlobe, ki pade na list, se odbije, del prehaja skozi list, del pa se absorbira. Na odbojnost svetlobe vplivajo anatomske, morfološke in biokemijske značilnosti lista (Liew in sod., 2008; Underwood in sod., 2007).

Z uvedbo in uporabo spektrometrov so se raziskave odbojne spektroskopije v ekofizioloških študijah zelo razširile in sicer zaradi preproste, hitre in nedestruktivne narave dela (Levizou in sod., 2005). Poznavanje in merjenje spektralnih lastnosti odbite, prepuščene ali absorbirane svetlobe je omogočilo temeljitejše razumevanje fizioloških odzivov rastlin na razmere, v katerih raste in prilagoditev rastlin na dane okoljske razmere. Odbojnost so raziskovali tudi v povezavi s stresom (Carter in Knapp, 2001). Odzivi listov na biotske in abiotske strese, kot so povečane emisije žveplovega dioksida in drugih plinov, visoke temperature, prisotnost težkih kovin, povečano ultravijolično sevanje, poplave ali suše, slanost, visoke ali nizke koncentracije hranil v okolju, vpliv herbicidov ter napadi insektov, so že precej raziskani. V številnih študijah so kot pokazatelje stresa raziskovali odbojnost valovnih dolžin med 400 – 2500 nm, saj neugodne rastne razmere vplivajo na anatomske, morfološke in/ali biokemijske interakcije lista s svetlobo. Na odbojne lastnosti v območju 400 – 700 nm v prvi vrsti vplivajo fotosintezna barvila (klorofili in karotenoidi) in antociani, v območju 700 – 1400 nm struktura celic in struktura mezofila ter v območju 1400 – 2000 nm vsebnost vode v tkivih (Liew in sod., 2008).

Stopnja UV-B sevanja, ki dosega Zemeljsko površje, se v zadnjih letih zaradi tanjšanja ozonske plasti v stratosferi, povečuje. Tanjšanje ozonske plasti povzročajo onesnažila kot so klorofluorogljiki (CFC), ki v zgornjih plasteh atmosfere vstopajo v ciklične reakcije z molekulami ozona in tam ostanejo tudi več kot 40 let. Zato obstaja velika verjetnost, da bodo kopenske rastline povečano stopnjo UV sevanja čutile še nekaj desetletij. Številne raziskave so pokazale, da ima trenutna stopnja UV-B sevanja škodljive učinke na kopenske rastline in da bi že manjše povečanje UV-B sevanja lahko bistveno vplivalo na številne rastlinske vrste. Eden od pomembnih odzivov rastlin je povečanje količine UV absorbirajočih snovi. Potem, ko so Robberecht, Caldwell in Billings (1980) pokazali, da se količina UV absorbirajočih snovi v epidermalnem tkivu spreminja z odmerkom sevanja in geografsko širino, je bilo veliko pozornosti namenjeno raziskavam optičnih lastnosti listov (Holmes in Keiller, 2002).

Yoshimura in sod. (2010) so z raziskavami spektralnih lastnosti listov v območju UV sevanja pojasnili pomen ohranjanja rastlin v mestih. Škodljivo UV sevanje se zmanjša za 5 % na račun odboja in se popolnoma absorbira, ko prehaja preko lista. Vegetacija tako deluje kot zaščita drugih organizmov pred UV žarki (Yoshimura in sod., 2010).

V diplomski nalogi smo proučevali odbojnost listov navadne streluše (*Sagittaria sagittifolia*). Navadna streluša je amfibijska rastlina, ki najprej požene potopljene trakaste liste, kasneje plavajoče liste kopjaste oblike, iz vode pa navadno štrlijo listi puščičaste oblike (Notranjski regijski park, 2012). Na kopnem se razvijejo le listi puščičaste oblike. Prav zaradi heterofilije je navadna streluša zanimiva za proučevanje variabilnosti odbojnih spektrov. Poleg spektrov smo merili naslednje parametre: specifična listna površina, število in velikost listnih rež, debelina zgornje in spodnje povrhnjice, debelina kutikule, debelina stebričastega in gobastega tkiva oziroma debelina enotnega mezofila pri potopljenem tipu lista ter biokemijske parametre. Izmerili smo vsebnosti klorofilov, karotenoidov, antocianov in UV absorbirajočih snovi.

V južnem delu Slovenije je območje dinarskega sveta. Sestavljajo ga kraške planote in podolja. Eno izmed njih je Notranjsko podolje, ki ga tvorijo Cerkniško, Planinsko in Logaško polje (Kranjc, 2002). Del Notranjskega podolja je tudi udorna dolina reke Rak. Reka Rak je eden od površinskih tokov reke Ljubljanice. Reko zaznamujejo obsežne spremembe vodostaja. V takšnem spremenljivem okolju se dobro znajdejo amfibijske rastline. Te lahko uspevajo tako v vodi kot na kopnem. Razvile so številne načine, ki jim omogočajo uspešno preživetje v spremenljivem in nepredvidljivem okolju (Germ, 2002). Za amfibijske rastline je značilna velika fenotipska plastičnost, ki jim omogoča prilagoditve na morfološki, biokemijski in fiziološki ravni (Gaberščik in Urbanc-Berčič, 2002).

Namen diplomskega dela je ugotoviti vpliv morfoloških in biokemijskih lastnosti listov navadne streluše (*Sagittaria sagittifolia*) na variabilnost odbojnih spektrov ter proučiti podobnosti in razlike med lastnostmi in odbojnimi spektri različnih tipov listov.

1.1 HIPOTEZE

Predvidevamo, da se različni tipi listov med seboj razlikujejo v morfoloških in biokemijskih lastnostih.

Predvidevamo tudi, da se odbojni spektri različnih tipov listov razlikujejo.

Predvidevamo, da so te razlike posledica specifičnih lastnosti listov.

2 PREGLED OBJAV

Vir sevanja za biosfero je Sonce. Več kot polovico sončevega sevanja se absorbira v atmosferi in ne doseže Zemeljskega površja. Sončevo sevanje je iz UV sevanja (okrog 10 % vsega Sončevega sevanja), iz vidne svetlobe (okrog 50 %) in IR sevanja do 3000 nm (okrog 40 %). Sevanje pri valovni dolžini 500 nm je najmočnejše (Tome, 2006).

Ultravijolična (UV) svetloba je del spektra elektromagnetnega valovanja, z valovnimi dolžinami od 200 nm do 400 nm. Najnevarnejše UV sevanje je kratkovalovno UV-C sevanje (200 – 280 nm). Tega skoraj v celoti zadrži ozonska plast v stratosferi in le neznatne količine sevanja teh valovnih dolžin dosežejo Zemeljsko površje. Za organizme na Zemlji je ravno tako nevarno UV-B sevanje (280 – 320 nm). Količina sevanja teh valovnih dolžin močno naraste, kadar se ozonska plast v stratosferi stanjša. UV sevanje lahko tako na eni strani povzroča fotodestrukcijo (UV-B 290 – 320 nm), na drugi pa fotoaktivacijo (UV-A 320 – 400 nm) (Smith in sod., 1992).

Vidna svetloba je del spektra elektromagnetnega valovanja, z valovnimi dolžinami od okrog 380 nm, kar ustreza vijolični barvi, do 700 nm, kar ustreza rdeči barvi (NASA, 2012), vmesni del spektra pa je spekter mavričnih barv (Tome, 2006). Vidna svetloba je del valovanja, katero živali večinoma zaznavajo s fotoreceptorji, rastline pa uporabljajo za fotosintezo. Del svetlobe, ki jo uporabljajo rastline, imenujemo tudi fotosintezno aktivni del svetlobe (PAR = *photosynthetically active radiation*) in je ekološko najpomembnejši del spektra elektromagnetnega valovanja. Višje rastline imajo v večini primerov dva vrhova absorpcije svetlobe in sicer, prvega v modrem delu spektra pri valovni dolžini okrog 450 nm in drugega v rdečem delu pri valovni dolžini okrog 650 nm. Preostala svetloba se, kadar jo list absorbira, spremeni v toploto ali pa se od lista odbije (Tome, 2006).

Infrardeča svetloba (IR) je dolgovalovno sevanje spektra, z valovnimi dolžinami od 700 nm do nekaj 1000 nm. Skupaj z vidno svetlobo sestavljata največji delež Sončevega sevanja, ki pride do Zemljinega površja. Velik del dolgovalovnega infrardečega sevanja se porabi za segrevanje planeta (Tome, 2006). Območje znotraj infrardečega spektra med 700 nm in 1400 nm je bližnje infrardeče sevanje (NIR = *near-infrared*) (Male in sod., 2010).

2.1 ZNAČILNOSTI ODBOJNIH SPEKTROV LISTOV

Sončevo sevanje, ki pade na list, se bodisi od njega odbije bodisi absorbira ali pa gre skozi njega (Levizou in sod., 2004; Male in sod., 2010). Poznavanje in razumevanje optičnih lastnosti listov nam omogoča boljše razumevanje odzivov rastlin na razmere, v katerih rastejo ter razvoj prilagoditev (Carter in Knapp, 2001). V UV (280 – 400 nm) in vidnem območju (400 – 700 nm) imajo zdravi in polno razviti listi relativno nizko odbojnost ter

relativno visoko v bližnjem infrardečem območju (NIR) (Daughtry in sod., 2000; Liew in sod., 2008). Filella in Peñuelas (1999) sta v svoji študiji pokazala, da je odbojnost v UV spektru med 5 % v območju 300 – 400 nm in 12 % v območju 280 – 300 nm, Yoshimura in sod. (2010) pa ugotavljajo, da je odbojnost listov višjih rastlin v UV spektru, ne glede na vrsto rastline in sezonske spremembe, nizka (okrog 5 %). V območju 280 – 300 nm je odbojnost značilno višja pri sončnih kot pri senčnih listih, pri nižjih nadmorskih višinah pa višja kot pri višjih nadmorskih višinah, vendar pa je odbojnost v območju 300 – 400 nm pri nižjih nadmorskih višinah najnižja (Filella in Peñuelas, 1999). Na povečano odbojnost listov, tako UV valovnih dolžin (merjeno pri 330 nm) kot daljših valovnih dolžin (merjeno pri 680 nm) vpliva plast kutikule na povrhnjici, medtem ko prisotnost trihomov v večji meri vpliva na odbojnost daljših valovnih dolžin (merjeno pri 680 nm) (Holmes in Keiller, 2002).

Rastline so razvile številne mehanizme, s katerimi se zaščitijo pred škodljivim UV-B sevanjem (Holmes in Keiller, 2002). Odboj od listne površine je prva obramba rastlin pred UV sevanjem, absorpcija škodljivih UV žarkov pa je najpomembnejši obrambni mehanizem rastline. Barvila v celicah povrhnjice (večinoma flavonoidi) delujejo selektivno in sicer tako, da zmanjšujejo prehajanje UV-B sevanja in tako zaščitijo notranja tkiva pred škodljivimi učinki, pri tem pa ne ovirajo fotosinteze (Filella in Peñuelas, 1999; Holmes in Keiller, 2002). V vidnem območju (400 – 700 nm) je odbojnost odvisna predvsem od barvil (klorofili, antociani in karotenoidi), odbojnost v NIR območju (700 – 1400 nm) od celičnih struktur in strukture mezofila, v območju daljših valovnih dolžin (1400 – 2000 nm) pa od vsebnosti vode v tkivu (Liew in sod., 2008).

2.2 VPLIVI NA ODBOJNE SPEKTRE

Na optične lastnosti lista vplivajo anatomske, morfološke in biokemijske kot tudi fiziološke in fenološke značilnosti lista (Liew in sod., 2008; Underwood in sod., 2007).

2.2.1 Anatomske in morfološke značilnosti

Na odbojnost lista vplivajo poleg konveksnih celic povrhnjice in kutikularnih voskov na zgornji in spodnji povrhnjici, še stebričasto tkivo ter gobasto tkivo, katerih celice so nepravilnih oblik, zaradi česar se med njimi pojavijo medcelični zračni prostori (Chandrasekharan, 2005). Dorziventralna oblika lista je navzven omejena z zgornjo in spodnjo povrhnjico. Celice povrhnjice so tesno ena ob drugi in med njimi ni prostora, razen pri listnih režah. Te se pojavljajo na obeh povrhnjicah, zlasti pa na spodnji. Za razliko od celic zapiralk ob listnih režah, celice povrhnjice ne vsebujejo kloroplastov (Liew in sod., 2008). Chandrasekharan (2005) ugotavlja, da gladka, konkavna povrhnjica vodi v zrcalno odbojnost, dočim hrapava oziroma bolj konveksna povrhnjica do difuzne

odbojnosti povrhnjice. Konveksnost oziroma konkavnost celic povrhnjice določa tudi zmožnost lista za usmerjanje svetlobe v notranjost lista, pri čemer ima gladka in konkavna povrhnjica slabšo sposobnost usmerjanja svetlobe do stebričastega tkiva kot pa hrapava in konveksna povrhnjica (Chandrasekharan, 2005).

Zgradba lista določa porazdelitev svetlobe v listu (Baltzer in Thomas, 2005). Mezofil je zgrajen iz stebričastega in gobastega tkiva, lahko pa je tudi iz enotnega tkiva (Yoshimura in sod., 2010). Stebričasto tkivo sestavljajo specializirane podolgovate celice, ki so postavljene pravokotno glede na listno površino. Te celice vsebujejo številne kloroplaste, ki močno absorbirajo v modrem in rdečem spektralnem območju. Svetloba, ki jo zberejo in usmerijo celice povrhnjice, prehaja do stebričastih celic. Te delujejo kot optična vlakna, ki vodijo svetlobo naprej do globljih tkiv. Pod stebričastim tkivom je gobasto tkivo, sestavljeno iz prosto razporejenih okroglih celic ali iz celic nepravilnih oblik, zaradi česar so med njimi zračni prostori. Te celice vsebujejo manj kloroplastov. Na prodiranje svetlobe skozi list in stopnjo sipanja svetlobe v listu, vplivata tako oblika kot debelina stebričastega in gobastega tkiva ter površina mezofila (Liew in sod., 2008).

Struktura mezofila vpliva na optične lastnosti lista predvsem v NIR območju (700 – 1400 nm) (Liew in sod., 2008). Zeleni listi imajo v tem območju zelo visoko odbojnost (Yoshimura in sod., 2010), kar je posledica zračnih prostorov v gobastem tkivu in različnih lomnih količnikov (zračni prostori – hidratirana celična stena). Posledica tega je sipanje svetlobe in šibka absorpcija listov v NIR območju (Liew in sod., 2008). Mladi listi imajo nižjo odbojnost v IR območju zaradi manjših sprememb v lomnih količnikovih, saj so tanjši in imajo manj, z zrakom napolnjenih prostorov v mezofilu (Chandrasekharan, 2005).

Celice povrhnjice so pogosto obdane z voskasto plastjo, kutikulo, predvsem na zgornji povrhnjici. Površina kutikule je lahko gladka ali hrapava, debelina pa je odvisna od vrste in okoljskih razmer. Spremembe v debelini kutikule močno vplivajo na odbojnost lista. Študije so pokazale, da kutikula, debelejša od 1 μm , predstavlja enega izmed ključnih dejavnikov odboja v NIR območju (Liew in sod., 2008). Voski so strukturno zelo različni in so temeljnega pomena za rastlino pri stiku z zunanjim okoljem. Njihov nastanek je odvisen od okoljskih razmer (Holmes in Keiller, 2002). Voski imajo različne kemijske in morfološke značilnosti. To se je pokazalo po odstranitvi voska z listnih površin, saj so pri vseh listih izmerili podobno odbojnost, pred odstranitvijo pa se je odbojnost med listi preiskovanih rastlin precej razlikovala. V študiji sta Holmes in Keiller (2002) pokazala, da odstranitev voska z listne površine povzroči zmanjšanje odbojnosti lista tako v UV spektru kot vidnem spektru, in sicer na podobno raven kot pri listih brez voska. Zmanjšanje odbojnosti je večje v UV delu kot v vidnem delu, vendar neselektiven odboj tako UV kot vidne svetlobe kaže na manjši prispevek voskov pri zaščiti rastlin pred škodljivim UV-B sevanjem, kot pa absorpcija povrhnjice. Kljub temu pa so mnoge raziskave pokazale, da

igrajo voski pomembno zaščitno vlogo tudi pred UV-B sevanjem (Holmes in Keiller, 2002).

Listne površine večine višjih rastlin imajo na povrhnjici razvito kutikularno voskasto plast, ki skupaj z ostalimi listnimi strukturami, kot so trihomi, zagotavljajo zunanjo zaščito pred neželenimi okoljskimi dejavniki in tudi zaščito pred predatorji in boleznimi. Pri nekaterih vrstah so voski in trihomi zmožni absorpcije UV-B sevanja (Holmes in Keiller, 2002).

Trihomi so strukture, ki močno spremenijo listno površino in tako vplivajo na odbojnost listov (Levizou in sod., 2004). Strukturno so lahko precej različni, saj so lahko eno- ali večcelični ter različnih dolžin in širin. Lahko so iz živega ali mrtvega tkiva, vsebujejo pa lahko silikate ali pa so kalcificirani (Holmes in Keiller, 2002). Trihomi so lahko prisotni na obeh povrhnjicah (Liew in sod., 2008). Tako kot pri voskih, je njihov nastanek odvisen od okolja in rastlinske vrste (Holmes in Keiller, 2002). Gostota trihomov se razlikuje med vrstami, razlike pa se pojavljajo tudi znotraj vrste, kar je odvisno od okoljskih razmer, v katerih se list razvija (Levizou in sod., 2004). V študiji so Levizou in sod. (2004) pokazali, da odstranitev trihomov pri vrsti *Olea europaea* povzroči zmanjšanje odbojnosti lista v vidnem delu spektra (predvsem na spodnji povrhnjici) in povečanje v IR območju, kar pokaže na večji vpliv odbojnosti povrhnjice kot pa trihomov pri tej vrsti. Pri dveh drugih preiskovanih vrstah (*Populus alba* in *Elaeagnus angustifolius*) pa je odstranitev trihomov povzročila zmanjšanje odbojnosti v celotnem merjenem spektru (400 – 1000 nm). Pri vrsti *Populus alba* se je odbojnost v vidnem spektru zmanjšala za 16 %, pri vrsti *Elaeagnus angustifolius* pa za kar 73 %, medtem ko se je v IR območju odbojnost zmanjšala za 8 – 13 %, pri vrsti *Olea europaea* pa celo povečala za 4 %. V svoji raziskavi sta Filella in Peñuelas (1999) pri večji gostoti trihomov izmerila nižjo odbojnost v območju od 320 nm do 400 nm, kar pomeni, da so trihomi absorbirali UV-B sevanje, čeprav so navadno dlakavi listi učinkovitejši pri odboju svetlobe daljših valovnih dolžin kot pa UV sevanja (Holmes in Keiller, 2002).

2.2.2 Biokemijske značilnosti

2.2.2.1 Barvila

Optične lastnosti lista so v vidnem območju v večji meri posledica interakcije svetlobe z barvili (Liew in sod., 2008). Najpomembnejša so fotosintezna barvila, in sicer klorofili in karotenoidi (Yoshimura in sod., 2010).

Molekula klorofila je sestavljena iz tetrapirolovega obroča, v katerem je centralno vključen magnezijev ion (Mg^{2+}), ki je preko ostanka propanojske kisline zaestren s hidrofobnim fitolom (Liew in sod., 2008). Na pirolove obročje so pripete različne stranske skupine.

Učinkovito absorpcijo vidne svetlobe omogoča obsežen sistem konjugiranih vezi v zgradbi molekule klorofila. V večini zelenih rastlin najdemo klorofil *a* in klorofil *b* (Gates in sod., 1965). Klorofila (*a/b*) se na fotosinteznih membranah pojavljata v razmerju približno 3:1 (Yoshimura in sod., 2010).

Absorpcijski spekter klorofilne molekule ima dva absorpcijska maksimuma, in sicer enega v rdeči in drugega v modri regiji ter absorpcijski minimum v zeleni regiji pri 550 nm, zaradi česar so listi videti zeleni. Prisotnost stranske metilne skupine na pirolovem obroču molekule klorofila *a* na mestu stranske aldehidne skupine v molekuli klorofila *b*, vpliva na razliko v absorpciji v rdeči in modri regiji (Liew in sod., 2008). Absorpcijski maksimum molekule klorofila *a* je v rdečem delu spektra pri 670 nm in pri 430 nm v modrem delu spektra, medtem ko je absorpcijski maksimum molekule klorofila *b* v rdečem delu pri 650 nm in pri 460 nm v modrem delu spektra (Gates in sod., 1965; Underwood in sod., 2007).

Nižje koncentracije klorofilov vplivajo na zmanjšano absorpcijo v območju absorpcije klorofilov (Male in sod., 2010). To na drugi strani vpliva na povečanje odbojnosti predvsem v vidni regiji (Baltzer in Thomas, 2005) in v NIR regiji (Liew in sod., 2008). Nasprotno pa večje vsebnosti klorofilov zmanjšujejo odbojnost (Baltzer in Thomas, 2005). Ker imajo molekule klorofila v fotosintezi ključno vlogo, se kot dober pokazatelj fiziološkega stanja rastline pokaže vsebnost klorofila (Liew in sod., 2008). Velika razlika med maksimalno klorofilno absorpcijo v rdeči regiji in minimalno v zeleni regiji kaže na vitalnost vegetacije in obratno (Male in sod., 2010).

Absorpcijski spekter fotosinteznih barvil se razteza tudi v UV-A in UV-B spektralnem območju. Tako se UV sevanje, ki ga absorbirajo molekule klorofila *a* in *b*, sprosti v obliki fluorescence in s tem fotosintezna barvila prispevajo tudi k zaščiti rastline pred škodljivim UV sevanjem (Yoshimura in sod., 2010). Fotosintezne celice vsebujejo poleg klorofilov (glavna vloga pri absorpciji svetlobe) tudi pomožna barvila, ki absorbirajo svetlobo tistih valovnih dolžin, ki jih klorofili ne absorbirajo (Boyer, 2005; Netto in sod., 2005). Najpomembnejši so karotenoidi, med katere uvrščamo karotene in ksantofile. Večina jih absorbira v modrem delu spektra (valovne dolžine med 400 in 500 nm) in s tem tudi karotenoidi prispevajo k optičnim lastnostim lista (Yoshimura in sod., 2010).

V zelenih listih so prisotne UV absorbirajoče snovi (flavonoidi in antocijani), ki absorbirajo do 95 % UV sevanja in tako zaščitijo notranja tkiva pred škodljivimi učinki (Yoshimura in sod., 2010), pri tem pa ne ovirajo fotosinteze (Filella in Peñuelas, 1999). UV absorbirajoče snovi se akumulirajo v kutikuli, v celicah povrhnjice in tudi v plasti pod povrhnjico. Nizka odbojnost lista v UV območju pa je v manjši meri posledica tudi absorpcije klorofilov in karotenoidov (Yoshimura in sod., 2010).

2.2.2.2 Celuloza in lignin

Celuloza in lignin sta povezana s tremi absorpcijskimi pasovi, s sredinami pri 1700 nm, 2100 nm (povezan s celulozo) in 2300 nm (povezan z ligninom). Absorpcijo je moč zaznati v senescenčnem materialu, suhem listju in steblih (Underwood in sod., 2007).

2.2.3 Vsebnost vode

Voda absorbira v srednjem infrardečem območju med 1400 nm in 2000 nm (Liew in sod., 2008; Chandrasekharan, 2005), z absorpcijskima vrhovoma pri 1400 nm in 1900 nm (Liew in sod., 2008). Vpliv vode na spekter v srednjem IR območju prevladuje takrat, kadar je list svež (Underwood in sod., 2007). Pomanjkanje vode v listu pa povzroči zmanjšanje absorpcije v srednjem IR območju (Chandrasekharan, 2005). Odboj suhega lista je večji od odboja svežega tudi v vidnem spektralnem območju (Liew in sod., 2008).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 OBMOČJE RAZISKAVE

Terensko delo je potekalo na območju Rakovega Škocjana (reka Rak).

Južni del Slovenije, kjer leži tudi Rakov Škocjan, sodi k dinarskemu krasu. Sestavljajo ga visoke kraške planote in podolja, med katerimi je tudi Notranjsko podolje. Podolje tvorijo Cerknjsko, Planinsko in Logaško polje, Logaški in Hotenjski ravniki ter Rakovške in Unške uvale. Planinsko polje je najnižje ležeče polje podolja (450 m). Največji izvir je reka Unica, ki priteče iz Planinske jame. Cerknjsko polje (550 m) pa je največje kraško polje na Notranjskem. Na dnu polja leži presihajoče Cerknjsko jezero, katerega napajajo kraški izviri (80 %) in manjši površinski (15 %) dotoki (Kranjc, 2002; Kraji – Slovenija, 2012). Notranjska kraška polja so nastala ob idrijski prelomnici, ki je ena najpomembnejših tektonskih črt na slovenskem ozemlju. Za preoblikovanje tektonske poglobitve v prave kraške jame so bile bistvenega pomena zunanje sile, ki preoblikujejo zemeljsko površje (razpadanje kamnin, erozija, korozija in druge). Vpliv teh sil pa je odvisen tudi od geološke podlage, predvsem od tipa kamnin. Površje med Planinskim in Cerknjskim poljem v večji meri gradijo triasni dolomiti in kredni apnenec ter dolomit (Kranjc, 2002).

Med Planinskim in Cerknjskim poljem leži ob severnem vznožju Javornikov udorna dolina, Rakov Škocjan, ki je del sistema kraške Ljubljanice. Po dolini teče reka Rak, ki izvira v Zelških jamah na vzhodni strani in prinaša vode s Cerknjskega jezera ter ponikne na zahodni strani doline v Tkalci jami, od koder se vode podzemno stekajo proti Planinskemu polju. Gre torej za dolino s kraškim dotokom in odtokom (Kraji – Slovenija, 2012; Notranjski regijski park, 2012). Udorna dolina je nastala tako, da se je zaradi vodnega raztapljanja apnenca porušil strop nekdanjega podzemnega rova. Od oboka sta tako ostala le še Mali (v udornicah Zelških jam) in Veliki naravni most. Rakov Škocjan je od leta 1949 zavarovan z republiško odločbo kot naravna znamenitost (Uradni list LRS, št. 27/49), zdaj pa je krajinski park. V parku je več naravnih znamenitosti, med katerimi so Zelške jame z do 50 m globokimi udori, skozi katere lahko opazujemo tok reke Rak, 42 m visok Mali naravni most, Veliki naravni most z 37 m visokim in 23 m debelim obokom, ki je ostanek porušenega jamskega stropa na ponorni strani reke Rak, udorna vrtača Kotel z jezerom, katerega gladina je odvisna od vodnega stanja v Kotličih, ter Tkalca jama z dvema vhodoma (Zavod RS za varstvo narave, 2012; Kraji – Slovenija, 2012).

Rakov Škocjan leži v osrednjem delu države, ki ga lahko označimo kot klimatsko območje s prepletanjem vplivov tako v smeri od morja proti Panonski nižini, kot tudi od zmanjševanja vpliva alpske klime v smeri proti jugovzhodu države. Za to območje so značilna velika nihanja letne temperature zraka, po skupni letni količini padavin pa spada območje v bolj namočen del države. Najbolj izdatne padavine so pri nas ob vremenskih

situacijah, ko nad našimi kraji prevladujejo jugozahodni vetrovi, ki nad naše kraje iznad Sredozemlja prinašajo vlažen zrak. Tako dviganje vlažnega zraka ob alpsko-dinarski pregradi povzroča njegovo ohlajanje, kondenzacijo in tako dodatno prispeva k izdatnim padavinam. Rakov Škocjan leži neposredno ob vznožju relativno visokim grebenom Javornikov, kar je glavni razlog za velike količine padavin. Letna porazdelitev padavin je ugodna, saj so te precej enakomerno porazdeljene v vseh mesecih (Zupančič, 2002).

Reka Rak je del sistema kraške Ljubljaničice s pluvio-nivalnim rečnim režimom in zmernim mediteranskim odtenkom (Kranjc, 2002 po Ilešič, 1948). Tako se v mesecu marcu pozna velik vpliv snega v visoki vodi, ko sicer ni padavinskega viška (Kranjc, 2002).

Odtok Cerknškega jezera je v celoti kraški in glede na požiralnike lahko jezero razdelimo na več enot. Ena od teh so grezi v vznožju Loškega griča, pri Podskrajniku in požiralniki v strugi Cerknšičice. V grezih niha vodna gladina v odvisnosti od nihanja jezerske gladine in od talne vode v vršaju Cerknšičice. Te vode v glavnem odtekajo proti Planinskemu polju, kjer je tudi eden od najpomembnejših izvirov, Planinska jama. Del vode ob višjih vodostajih ne odteka podzemeljsko naravnost na Planinsko polje, ampak pride na dan v Rakovem Škocjanu kot reka Rak iz Zelških jam in tudi deloma iz stranskih izvirov, ponovno pa ponikne pri Velikem naravnem mostu in v Tkalci jami, od koder teče ponovno v Malne in Planinsko jamo (Kranjc, 2002).

3.2 PREDMET RAZISKAVE

Proučevali smo rastlinsko vrsto navadna strelušica (*Sagittaria sagittifolia*).

Navadna strelušica (*Sagittaria sagittifolia* L.) je vodna rastlina in je v Sloveniji uvrščena na rdeči seznam ranljivih rastlinskih vrst (Uradni list 82/2002), saj uspeva le še na nekaj krajih v notranjosti in vzhodnem delu Slovenije (Notranjski regijski park, 2012; Martinčič in Leskovar, 2002). Raste v stoječih in počasi tekočih vodah, najdemo pa jo tudi v vodnih jarkih in bregovih voda do globine 45 cm. Spada v družino porečnikovk (*Alismataceae*). Je zelnata trajnica, ki najprej požene potopljene trakaste liste, kasneje pa še plavajoče liste kopjaste oblike. Iz vode navadno štrlijo tudi puščičasti listi in pa cvetno steblo s šestštevničnimi enospolnimi cvetovi, širokimi od 1,5 do 2,5 cm. Navadna strelušica (*S. sagittifolia*) je enodomna rastlina in cveti od junija do avgusta (tudi septembra). Zunanji trije cvetovi so zeleni in majhni, notranji trije pa snežno beli in pri dnu vijolični. Zgornji cvetovi so moški, iz spodnjih ženskih cvetov, pa se po oploditvi razvijejo kroglasti plodovi (Notranjski regijski park, 2012; Dorken in Barrett, 2003; Martinčič in sod., 2007).

Navadna strelušica (*S. sagittifolia*) je razširjena v Evropi in Aziji, najdemo pa jo tudi v Avstralsko-Pacifiški regiji, ter Severni in Južni Ameriki (Global Invasive Species Database, 2012).

V splošnem ima navadna streluša (*S. sagittifolia*) visok potencial invazivne vrste zaradi velike sposobnosti prilagajanja tako anatomskih struktur kot fizioloških lastnosti na različna okolja (Global Invasive Species Database, 2012).

3.3 METODE DELA

Delo je potekalo v naravnem okolju in laboratoriju od avgusta 2011 do januarja 2012. Na terenu smo nabrali rastline za nadaljnje raziskave. Rastline smo pripeljali v laboratorij, kjer smo opravili meritve odbojnih spektrov, atomske in morfološke analize ter biokemijske analize.

Meritev vsakega parametra smo izvedli na desetih paralelnih vzorcih določenega tipa lista.

V raziskavo smo vključili potopljene, plavajoče in kopenske liste navadne streluše (*S. sagittifolia*). Tako smo v okviru ene rastlinske vrste proučevali tri tipe listov, ki se razvijajo na gradientu voda-kopno. Listi so bili vitalni in popolnoma razviti. Pri pripravi vzorcev za meritve smo bili pozorni, da so bili listi v okviru enega tipa med seboj čim bolj podobni, ker se pojavljajo tudi različni prehodi med listnimi oblikami.

3.3.1 Merjenje odbojnih spektrov

Odbojne spektre smo merili s spektrofotometrom Jaz Modular Optical Sensing Suite (Ocean Optics, Inc., Dunedin, Florida, USA). Svetlobni vir UV-VIS-NIR (DH-2000, Ocean Optics, Inc., FL, USA) smo preko optičnega kabla QP600-1-SR-BX (Ocean Optics, Inc., Dunedin, Florida, USA) povezali s sfero ISP-30-6-R (Ocean Optics, Inc., FL, USA), ki smo jo pri merjenju postavili pravokotno na zgornjo površino lista. Sfero smo preko drugega optičnega kabla povezali s spektrofotometrom, tega pa smo priključili na računalnik. Najprej smo svetlobni žarek usmerili na bel standard (Ocean Optics, Inc., FL, USA), da smo izmerili referenčni spekter in tako umerili inštrument na 100 % odbojnost. Naredili smo še dodatno (temno) kontrolo, tako da smo izklopili vir svetlobe. Nato smo začeli z meritvami odbojnih spektrov na listih. Zgornjo stran in osrednji del vzorčnega lista (blizu glavne listne žile) smo osvetljevali s svetlobnim žarkom. Odbojni spektri so bili izračunani kot razmerje med izmerjenim in referenčnim spektrom. Spektralne zapise smo obdelali v računalniškem programu SpectraSuite (Ocean Optics, Inc., FL, USA). Odbojni spekter je zajemal valovne dolžine med 280 in 800 nm. Interval vzorčenja je bil 37 stotink nm, pri predstavitvi rezultatov pa smo natančnost zmanjšali na 5 nm, da so bili spektri preglednejši. Pri statističnih analizah smo za lažjo obdelavo in primerjavo spektre razdelili na osem različnih območij, in sicer UV-B, UV-A, vijolično, modro, zeleno, rumeno, rdeče in NIR območje.

Za vsakega od treh tipov listov navadne streluše (*S. sagittifolia*) smo izmerili odbojni spekter na desetih listih.

3.3.2 Merjenje presevnosti listov

Spektre presevnosti smo merili na podoben način kot odbojne spektre, le da smo v tem primeru vir svetlobe UV-VIS-NIR (DH-2000, Ocean Optics, Inc., FL, USA) in sfero ISP-30-6-R (Ocean Optics, Inc., FL, USA) povezali z optičnim kablom QR400-7-SR-BX. Z drugim optičnim kablom smo sfero povezali s spektrofotometrom, tega pa priključili na računalnik. Izmerili smo referenčni spekter in dodatno (temno) kontrolo, nato pa začeli z meritvami prepustnih spektrov na listih. Spektri presevnosti so bili izračunani kot razmerje med izmerjenim in referenčnim spektrom. Spektralne zapise smo obdelali v računalniškem programu SpectraSuite (Ocean Optics, Inc., FL, USA).

3.3.3 Morfološke meritve

3.3.3.1 Specifična lista površina

Iz svežih listov navadne streluše (*S. sagittifolia*) smo izrezali krogce z znano površino, ki smo jih uporabili kot vzorce za določitev suhe mase ter nadaljnje laboratorijske biokemijske meritve. Za vsak tip lista smo naredili 10 vzorcev po 5 krogcev s premerom 7 mm ali 8 mm. Suho maso vzorcev [mg ss] (po en krogec vsakega tipa lista) smo določili po 24 urah sušenja pri temperaturi 105 °C (sušilnik Streimatic ST-11, Instrumentaria, Zagreb). Vzorce smo tehtali z miligramsko tehtnico Sartorius. Specifično listno površino smo izračunali kot kvocient med površino vzorca in njegovo suho maso [cm² mg⁻¹].

3.3.3.2 Zgradba lista

Zgradbo lista smo proučevali s pomočjo prečnih prereзов svežih listov navadne streluše (*S. sagittifolia*), iz katerih smo pripravili poltrajne mikroskopske preparate. Na objektno stekelce smo kanili kapljico laktoglicerola in vanjo položili nekaj prereзов. Te smo pokrili s krovnim stekelcem in preparate pogledali pod svetlobnim mikroskopom (Olympus CX41, 100x). S pomočjo računalniškega programa Cell (CellSens, Olympus, Japan) smo izmerili debelino lista, debelino kutikule, debelino zgornje in spodnje povrhnjice ter debelino stebričastega in gobastega tkiva oziroma enotnega mezofila vseh desetih vzorcev vsakega tipa listov.

3.3.3.3 Število in velikost listnih rež

Število in velikost listnih rež smo določali na spodnji in zgornji povrhnjici lista, ponovno na vseh desetih vzorcih vsakega tipa listov. Naredili smo tudi odtise površine svežih listov. Na delček listne površine smo nanесли brezbarvni lak za nohte, počakali, da se posuši, nato pa ga previdno odstranili in položili na objektno stekelce. Preparat smo pokrili s krovnim stekelcem in ga pogledali pod svetlobnim mikroskopom (Olympus CX41, 400x). Z računalniškim programom Cell (CellSens, Olympus, Japan) smo prešteli število rež na enoto površine (mm^2) ter izmerili dolžino in širino listnih rež.

3.3.4 Biokemijske analize

Vsebnosti klorofilov *a* in *b* ter karotenoidov smo določali po metodi, ki sta jo opisala Lichtenthaler in Buschmann (2001a, 2001b). Vzorce smo strli v terilnici, ekstrahirali v 5 ml acetona (100 % (v/v)), centrifugirali (4 min, 4 °C, 4000 obratov) (Sigma 2-16 PK, Germany), ter odčitali dejanske volumne ekstraktov. Ekstinkcije smo izmerili z UV/VIS spektrometrom (Lambda 25, Perkin-Elmer, Norwalk, CT, USA) pri valovnih dolžinah 470, 645 in 662 nm. Vsebnosti klorofilov (Kl *a+b*) in karotenoidov (Kar) smo izrazili na suho maso in površino vzorca (Formula 1).

Vsebnost antocianov smo določali po Khare-ju in Guruprasad-u (1993). Vzorce smo strli v terilnici, ekstrahirali v 5 ml ekstrakcijskega medija (metanol : HCl (37 %) = 99:1 (v/v)), centrifugirali (4 min, 4 °C, 4000 obratov) (Sigma 2-16 PK, Germany), ter odčitali dejanske volumne ekstraktov. Vzorce smo shranili v temi (3-5 °C, 24 ur). Ekstinkcije pri 530 nm smo izmerili z UV/VIS spektrometrom (Lambda 25, Perkin-Elmer, Norwalk, CT, USA). Vsebnost antocianov (Ant) smo izrazili v relativnih enotah (Formula 2).

Vsebnosti UV-B in UV-A absorbirajočih snovi smo določali po Caldwell-u (1968). Vzorce smo strli v terilnici, ekstrahirali v 5 ml ekstrakcijskega medija (metanol : destilirana voda : HCl (37 %) = 79:20:1 (v/v/v)), centrifugirali (10 min, 10 °C, 4000 obratov) (Sigma 2-16 PK, Germany), ter odčitali dejanske volumne ekstraktov. Ekstinkcije smo izmerili z UV/VIS spektrometrom (Lambda 12, Perkin-Elmer, Norwalk, CT, USA) pri valovnih dolžinah od 280 do 400 nm. Vsebnosti UV-B in UV-A absorbirajočih snovi smo izračunali kot integral ekstinkcijskih vrednosti in jih nato izrazili v relativnih enotah na maso oziroma površino vzorca (Formula 3).

Formula 1:

$$\text{Kl } a \text{ [mg g}^{-1} \text{ ss; mg cm}^{-2}] = c_a * V * 10^{-3} * \text{ss}^{-1}; c_a * V * 10^{-3} * \text{P}^{-1}$$

$$\text{Kl } b \text{ [mg g}^{-1} \text{ ss; mg cm}^{-2}] = c_b * V * 10^{-3} * \text{ss}^{-1}; c_b * V * 10^{-3} * \text{P}^{-1}$$

$$\text{Kar [mg g}^{-1} \text{ ss; mg cm}^{-2}] = c_{(x+c)} * V * 10^{-3} * \text{ss}^{-1}; c_{(x+c)} * V * 10^{-3} * \text{P}^{-1}$$

$$c_a = 11,24 E_{662} - 2,04 E_{645}$$

$$c_b = 20,13 E_{645} - 4,19 E_{662}$$

$$c_{(x+c)} = (1000 E_{470} - 1,9 c_a - 63,14 c_b) / 214$$

Formula 2:

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

$c_{a,b}$ – koncentracija klorofila *a* oziroma klorofila *b*; *E* – ekstinkcija pri izbrani valovni dolžini; *V* – prostornina ekstrakta [ml]; *ss* – suha masa [g]; *P* – površina vzorca [cm²]

Formula 3:

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

I – integral ekstinkcijskih vrednosti v intervalu 280 – 320 nm (UV-B abs) in 320 – 400 nm (UV-A abs); *V* – prostornina ekstrakta [ml]; *ss* – suha masa [g]; *P* – površina vzorca [cm²]

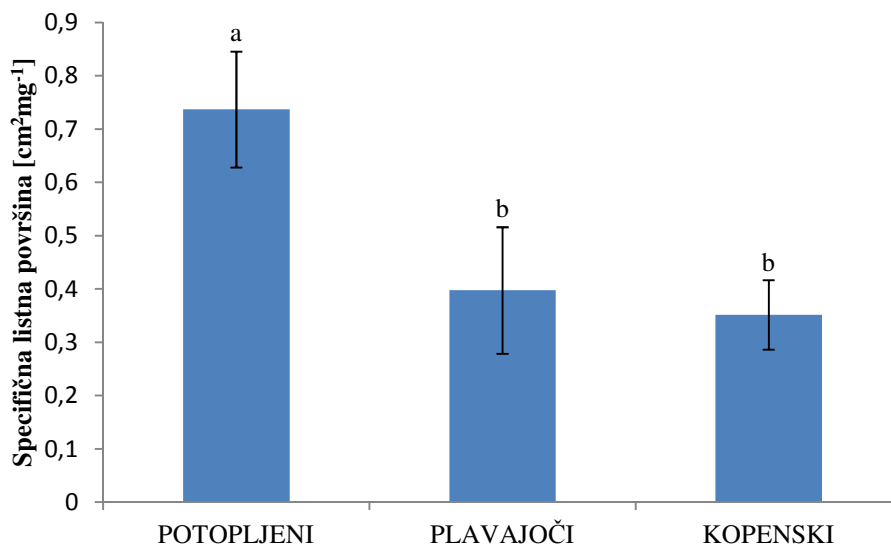
3.3.5 Statistična obdelava podatkov

Iz pridobljenih in urejenih podatkov smo izračunali povprečja in standardne deviacije ter rezultate predstavili v grafih. Na podatkih smo opravili analizo variance (test ANOVA). Liste navadne streluše (*S. sagittifolia*) smo, kadar so bili podatki normalno porazdeljeni, primerjali z enosmerno analizo variance (one-way ANOVA) oziroma s Kruskal-Wallis testom, kadar podatki niso bili normalno porazdeljeni. Nekatere značilnosti razlik med plavajočimi in kopenskimi listi navadne streluše (*S. sagittifolia*) smo določali s Studentovim *t*-testom (podatki so bili normalno porazdeljeni) oziroma Mann-Whitney testom, kadar porazdelitev podatkov ni bila normalna. Normalnost podatkov smo testirali s Shapiro-Wilk testom. Stopnjo povezanosti med posameznimi lastnostmi in odbojnostjo oziroma presevnostjo listov, smo izrazili s Spearman-ovim korelacijskim koeficientom (*r*). Testi so bili narejeni v statističnem programu SPSS Statistics 19.0. Klustersko analizo smo naredili v Excelu z Bray-Curtis-ovim indeksom podobnosti. V preglednicah so statistične razlike prikazane z zvezdicami. Verjetnost značilnih razlik smo označili s $p \leq 0,05$ in $p \leq 0,01$.

4 REZULTATI

SPECIFIČNA LISTNA POVRŠINA (SLA)

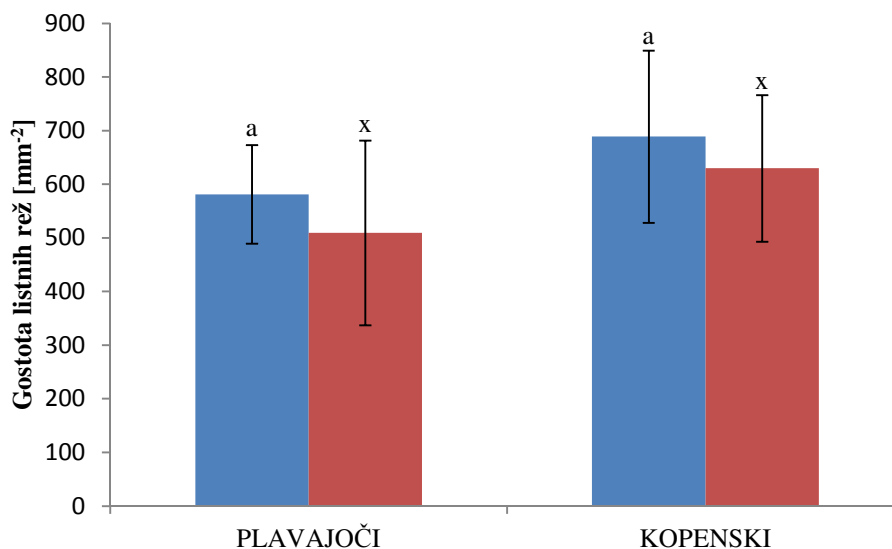
Največjo specifično listno površino imajo potopljeni listi navadne streluše. Tem sledijo plavajoči in kopenski listi. Najmanjšo specifično listno površino smo izmerili pri kopenskem tipu lista (Slika 1). Posamezni tipi listov se v specifični listni površini statistično značilno razlikujejo ($p \leq 0,05$), le plavajoči in kopenski tip listov sta statistično podobna (Preglednica 1).



Slika 1: Specifična listna površina [cm²·mg⁻¹] različnih tipov listov navadne streluše (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti \pm SD; n = 10; črki a, b nad stolpci označujeta statistično značilne razlike v specifični listni površini med posameznimi tipi listov (rezultati Kruskal – Wallis testa)

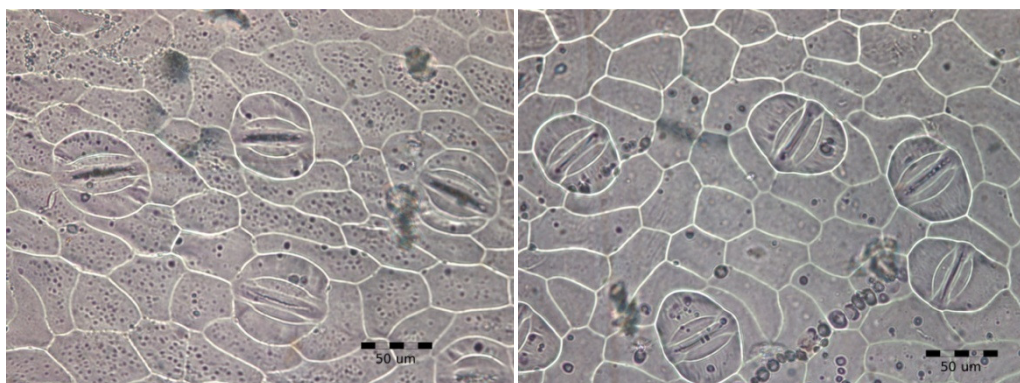
LISTNE REŽE

Listne reže se pojavljajo pri plavajočem in kopenskem tipu listov na zgornji in spodnji povrhnjici. Gostota listnih rež na zgornji povrhnjici je večja pri kopenskem kot pri plavajočem tipu listov (Slika 2), vendar med njima ni statistično značilnih razlik (Preglednica 1). Večjo gostoto listnih rež na spodnji povrhnjici ima v povprečju kopenski tip listov (Slika 2), vendar pa v primerjavi s plavajočimi listi, ni statistično značilnih razlik (Preglednica 1).



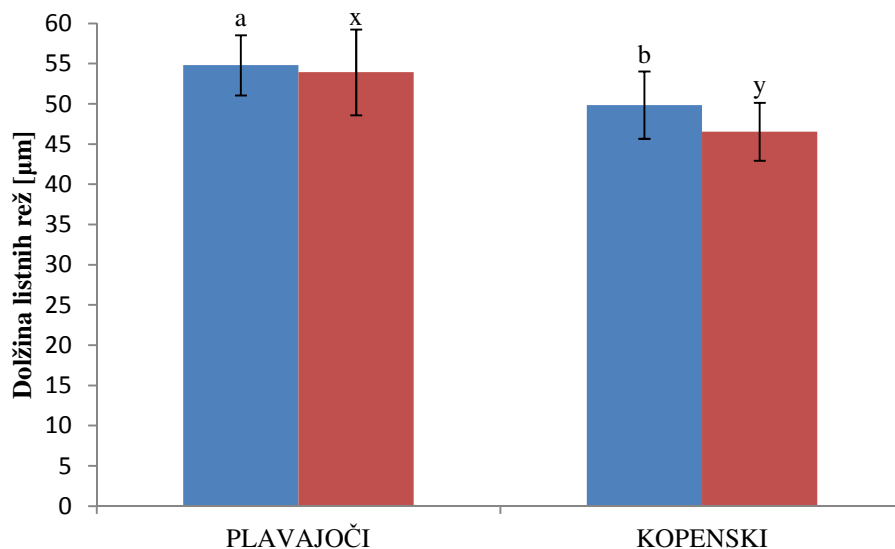
Slika 2: Gostota listnih rež [mm⁻²] na zgornji (modra) in spodnji (rdeča) povrhnjici pri plavajočem in kopenskem tipu listov navadne streluše (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti \pm SD; n = 10; črka a nad stolpcema označuje razliko v gostoti listnih rež na zgornji povrhnjici med plavajočim in kopenskim tipom listov, črka x nad stolpcema označuje razliko v gostoti listnih rež na spodnji povrhnjici med plavajočim in kopenskim tipom listov (rezultati *t*-testa)

Skupno število rež, torej tako na zgornji kot spodnji povrhnjici, je večje pri kopenskem tipu kot pri plavajočem tipu lista. Manjša razlika med gostoto listnih rež na zgornji in spodnji povrhnjici je pri kopenskem tipu lista (Slika 2).



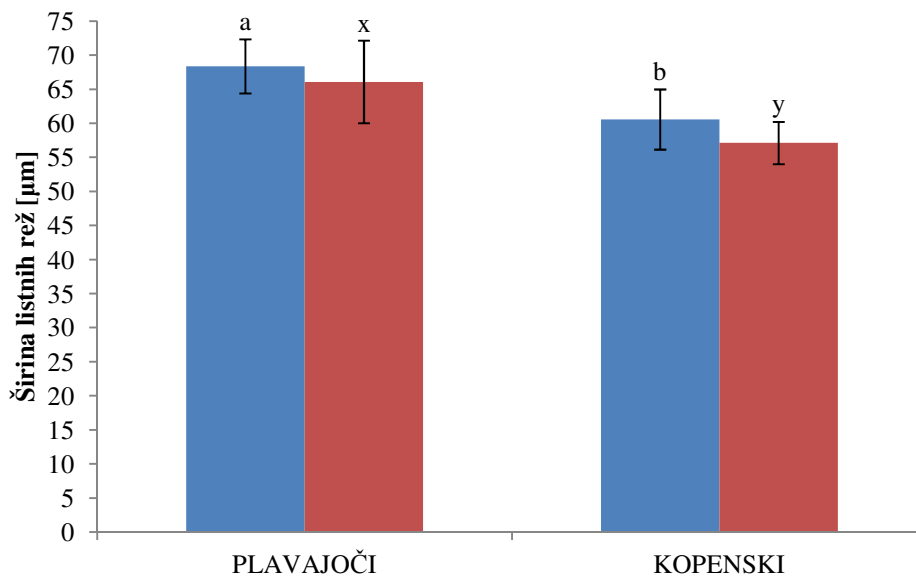
Slika 3: Spodnja povrhnjica plavajočega in zgornja povrhnjica kopenskega lista navadne streluše

Oba tipa listov imata v povprečju daljše listne reže na zgornji kot na spodnji povrhnjici. Dolžina listnih rež na zgornji povrhnjici je pri plavajočem tipu lista večja kot pri kopenskem tipu. Tudi dolžina listnih rež na spodnji povrhnjici je večja pri plavajočem tipu lista (Slika 4). V dolžini listnih rež na zgornji povrhnjici se plavajoči in kopenski tip listov statistično razlikujeta. Tudi dolžina listnih rež na spodnji povrhnjici je pri plavajočem in kopenskem tipu listov statistično različna (Preglednica 1).



Slika 4: Dolžina listnih rež [µm] na zgornji (modra) in spodnji (rdeča) povrhnjici pri plavajočem in kopenskem tipu listov navadne strelušice (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti \pm SD; $n = 10$; črki a, b nad stolpcema označujeta statistično značilno razliko v dolžini listnih rež na zgornji povrhnjici med plavajočim in kopenskim tipom listov, črki x, y nad stolpcema označujeta statistično značilno razliko v dolžini listnih rež na spodnji povrhnjici med plavajočim in kopenskim tipom listov (rezultati *t*-testa)

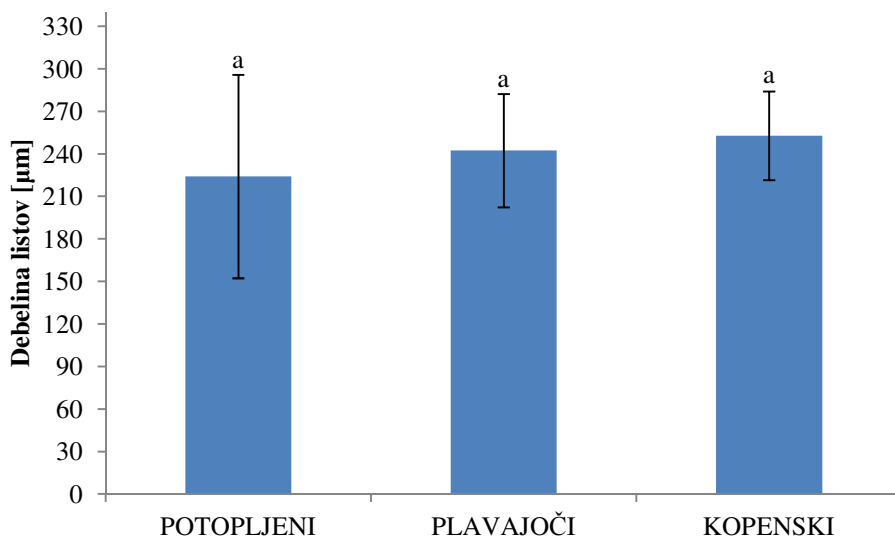
Oba tipa listov imata v povprečju širše listne reže na zgornji kot na spodnji povrhnjici. Širina listnih rež na zgornji povrhnjici je pri plavajočem tipu lista večja kot pri kopenskem tipu. Tudi širina listnih rež na spodnji povrhnjici je večja pri plavajočem tipu lista (Slika 5). V širini listnih rež na zgornji povrhnjici se plavajoči in kopenski tip listov statistično razlikujeta. Tudi širina listnih rež na spodnji povrhnjici je pri plavajočem in kopenskem tipu listov statistično različna (Preglednica 1).



Slika 5: Širina listnih rež [µm] na zgornji (modra) in spodnji (rdeča) povrhnjici pri plavajočem in kopenskem tipu listov navadne strelušce (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti \pm SD; n = 10; črki a, b nad stolpcema označujeta statistično značilno razliko v širini listnih rež na zgornji povrhnjici med plavajočim in kopenskim tipom listov, črki x, y nad stolpcema označujeta statistično značilno razliko v širini listnih rež na spodnji povrhnjici med plavajočim in kopenskim tipom listov (rezultati *t*-testa)

DEBELINA LISTA

Debelina lista se med različnimi tipi listov zelo malo razlikuje. Najdebelejši so v povprečju kopenski listi, tem sledijo plavajoči, najtanjši pa so potopljeni listi (Slika 6). Med posameznimi tipi listov ni statistično značilnih razlik v debelini listov (Preglednica 1).



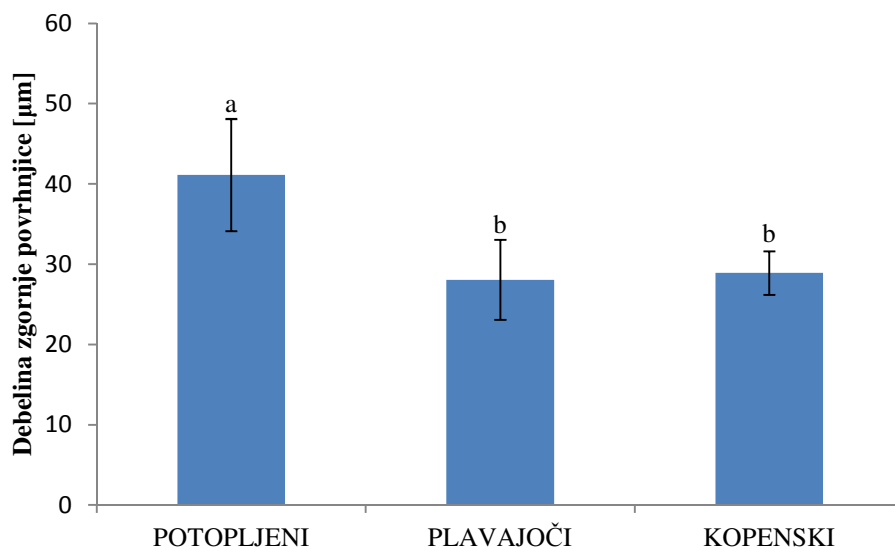
Slika 6: Debelina lista [µm] različnih tipov listov navadne streluše (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti \pm SD; $n = 10$; črka a nad stolpci označuje razlike v debelini listov med posameznimi tipi listov (rezultati testa ANOVA)



Slika 7: Potopljeni, plavajoči in kopenski list navadne streluše v prerezu

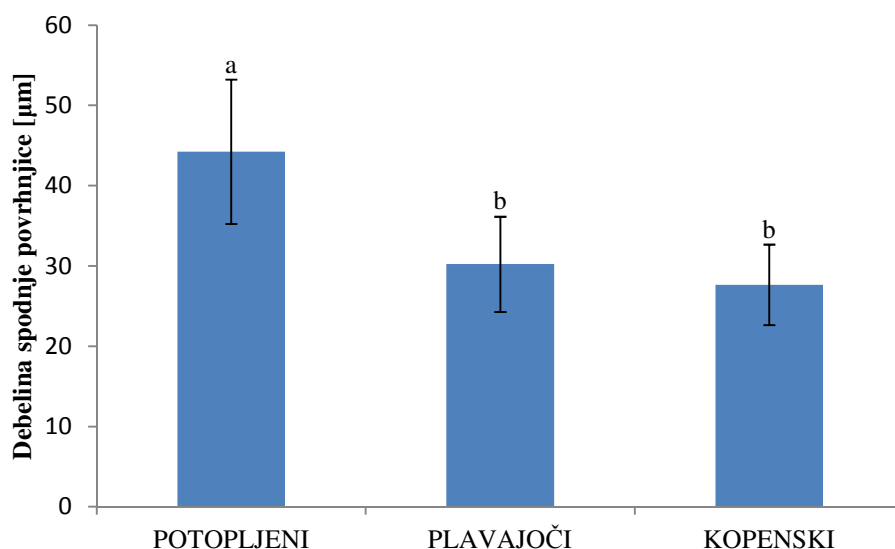
DEBELINA ZGORNJE IN SPODNJE POVRHNJICE

Najdebelejšo zgornjo povrhnjico imajo v povprečju potopljeni tip listov (Slika 8), ki se tudi statistično razlikuje od ostalih dveh tipov (Preglednica 1). Sledita mu kopenski in plavajoči tip listov (Slika 8), med katerima ni statistično značilnih razlik (Preglednica 1).



Slika 8: Debelina zgornje povrhnjice [µm] različnih tipov listov navadne streluše (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti \pm SD; n = 10; črki a, b nad stolpci označujeta statistično značilne razlike v debelini zgornje povrhnjice med posameznimi tipi listov (rezultati Kruskal – Wallis testa)

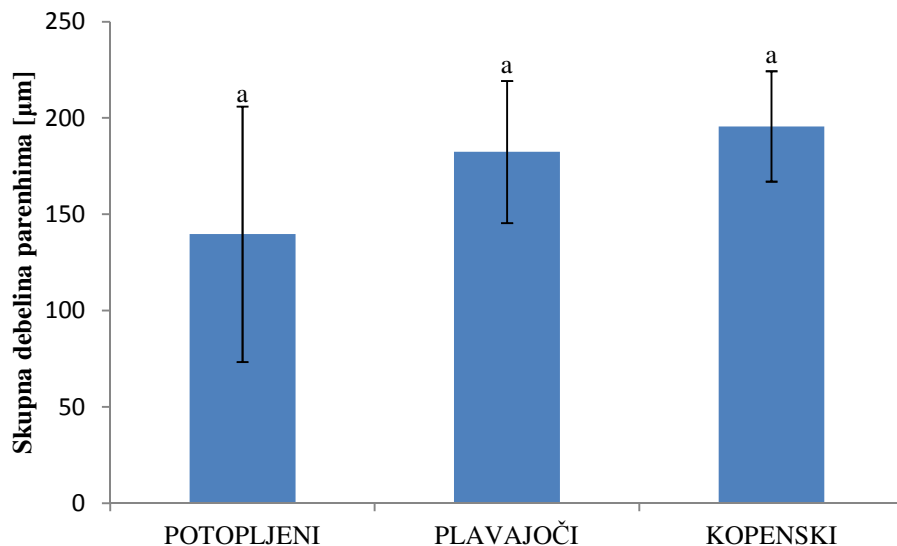
Najdebelejšo spodnjo povrhnjico imajo v povprečju potopljeni listi. Sledita mu plavajoči in kopenski tip listov (Slika 9). Statistično značilne razlike so pri potopljenem tipu listov, med plavajočim in kopenskim tipom pa jih ni (Preglednica 1).



Slika 9: Debelina spodnje povrhnjice [µm] različnih tipov listov navadne streluše (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti \pm SD; n = 10; črki a, b nad stolpci označujeta statistično značilne razlike v debelini spodnje povrhnjice med posameznimi tipi listov (rezultati testa ANOVA)

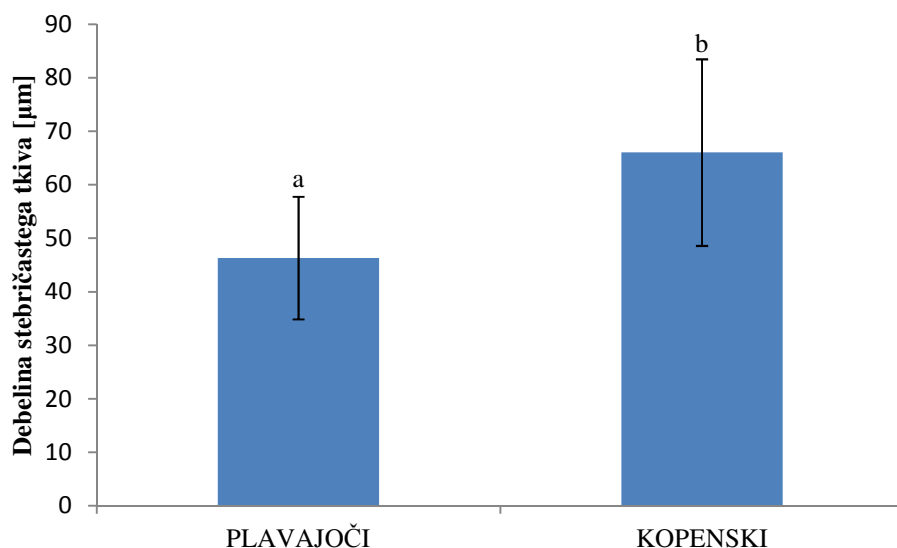
SKUPNA DEBELINA PARENHIMA TER STEBRIČASTEGA IN GOBASTEGA TKIVA

Največjo skupno debelino parenhima imajo kopenski listi, tem sledijo plavajoči in potopljeni listi (Slika 10), vendar pa statistično značilnih razlik med različnimi tipi listov ni.



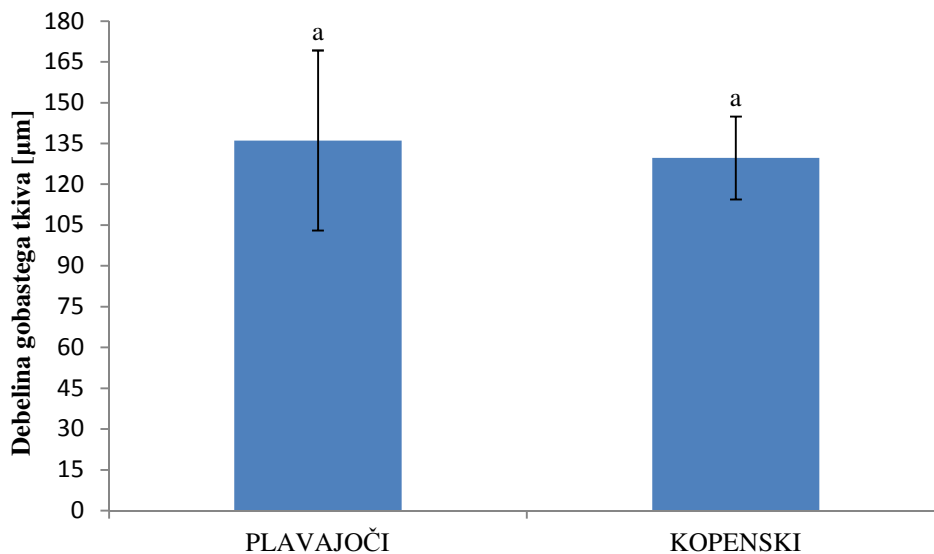
Slika 10: Skupna debelina parenhima [µm] različnih tipov listov navadne streluše (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti \pm SD; $n = 10$; črka a nad stolpci označuje razlike v skupni debelini parenhima med posameznimi tipi listov (rezultati Kruskal – Wallis testa)

Kopenski tip listov ima večjo debelino stebričastega tkiva kot pa plavajoči tip (Slika 11). Med njima so statistično značilne razlike (Preglednica 1).



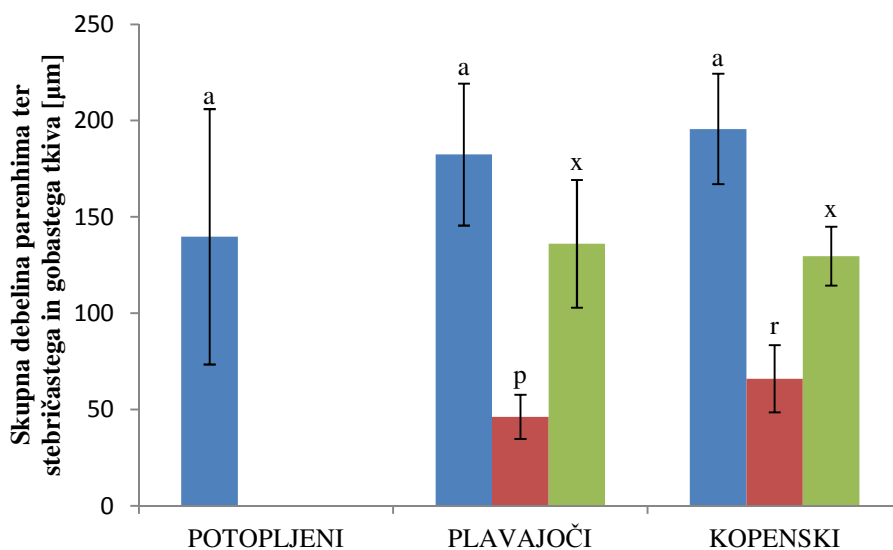
Slika 11: Debelina stebričastega tkiva [µm] pri plavajočem in kopenskem tipu listov navadne streluše (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti \pm SD; $n = 10$; črki a, b nad stolpcema označujeta statistično značilno razliko v debelini stebričastega tkiva med plavajočim in kopenskim tipom listov (rezultati *t*-testa)

Plavajoči tip listov ima večjo debelino gobastega tkiva kot pa kopenski tip (Slika 12). Med njima ni statistično značilnih razlik (Preglednica 1).



Slika 12: Debelina gobastega tkiva [µm] pri plavajočem in kopenskem tipu listov navadne streluše (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti \pm SD; n = 10; črka a nad stolpcema označuje razliko v debelini gobastega tkiva med plavajočim in kopenskim tipom listov (rezultati *t*-testa)

Potopljene liste v celoti sestavlja enotni parenhim, plavajoče liste pa v povprečju okrog 25 % stebričastega tkiva in okrog 75 % gobastega tkiva. Pri kopenskih listih pa je delež stebričastega tkiva okrog 35 % in gobastega okrog 65 % (Slika 13).

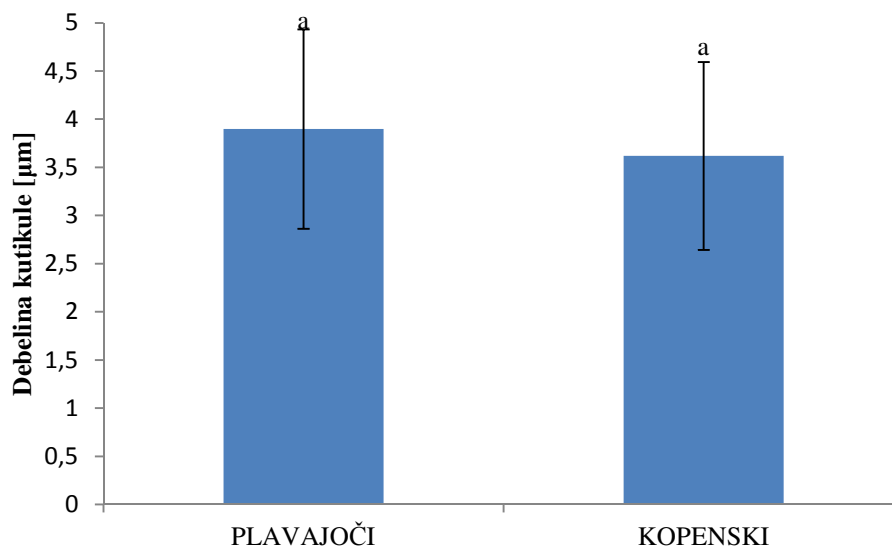


Slika 13: Skupna debelina parenhima (modra) ter stebričastega (rdeča) in gobastega (zelena) tkiva [µm] različnih tipov listov navadne streluše (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti \pm SD; povprečne vrednosti so preračunane v odstotke; n = 10; črka a nad stolpci označuje razlike v skupni debelini parenhima,

črki p, r nad stolpcema označujeta statistično značilno razliko v debelini stebričastega tkiva, črka x nad stolpcema označuje razliko v debelini gobastega tkiva, med posameznimi tipi listov (rezultati Kruskal – Wallis testa in t -testa)

DEBELINA KUTIKULE

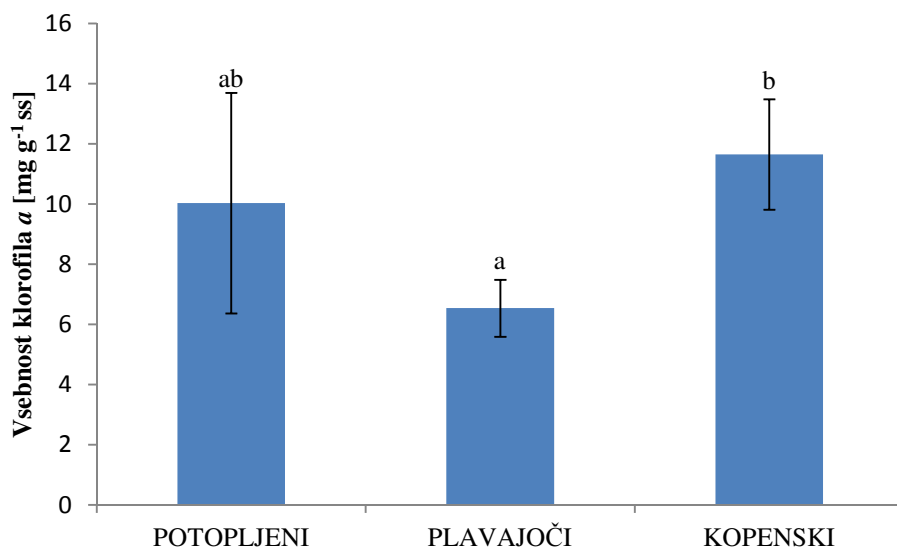
Debelina kutikule je v povprečju večja pri plavajočih listih kot pri kopenskih (Slika 14), vendar statistično značilnih razlik med obema tipoma listov ni (Preglednica 1). Potopljeni listi so brez kutikule.



Slika 14: Debelina kutikule [µm] pri plavajočem in kopenskem tipu listov navadne strelušice (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti \pm SD; n = 10; črka a nad stolpcema označuje razliko v debelini kutikule med plavajočim in kopenskim tipom listov (rezultati t -testa)

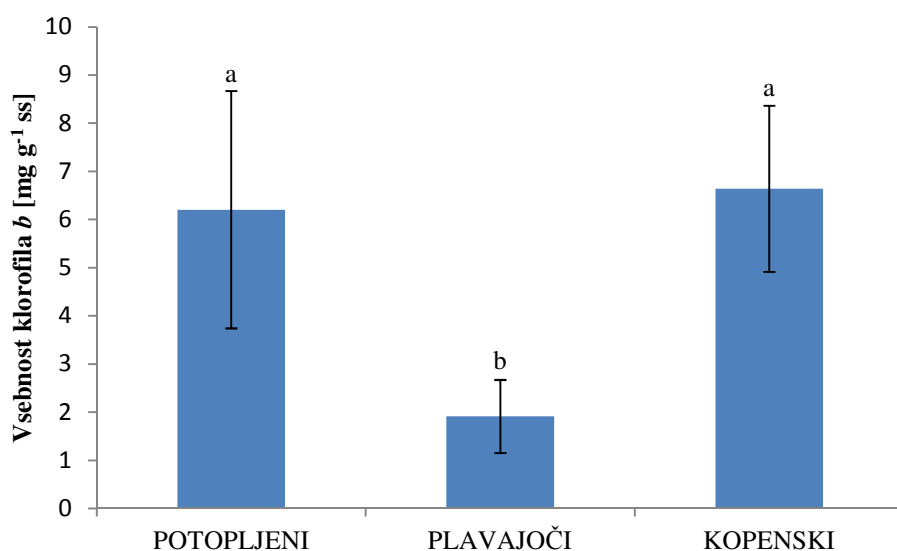
VSEBNOST KLOOROFILOV

Vsebnost klorofila *a* je največja pri kopenskih listih, sledijo jim potopljeni, tem pa plavajoči listi. Vsebnost klorofila *a* v kopenskih listih doseže vrednost več kot 11 mg g⁻¹ ss. Najmanj klorofila *a* imajo plavajoči listi, kjer je njegova vrednost nekoliko več kot 6 mg g⁻¹ ss (Slika 15), zato se statistično značilno razlikujejo od ostalih dveh tipov listov (Preglednica 1). Med potopljenimi in kopenskimi listi ni statistično značilnih razlik (Preglednica 1).



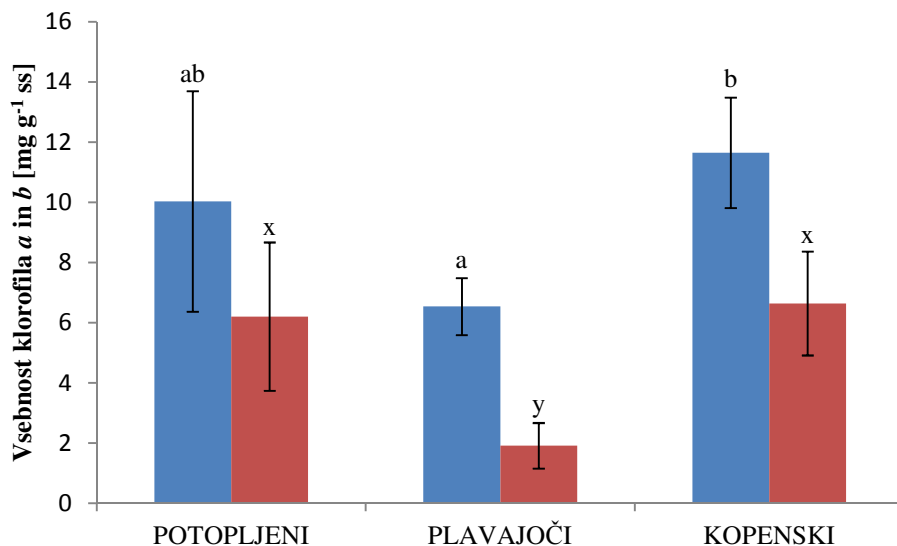
Slika 15: Vsebnost klorofila a [mg g⁻¹ ss] pri različnih tipih listov navadne streluške (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti ± SD; n = 10; črki a, b označujeta statistično značilne razlike v vsebnosti klorofila a med posameznimi tipi listov (rezultati Kruskal – Wallis testa)

Vsebnost klorofila b je največja pri kopenskih listih, kjer doseže vrednost dobrih 6 mg g⁻¹ ss. Sledi jim potopljeni tip listov, tem pa plavajoči listi. Najmanj klorofila b imajo plavajoči listi, kjer je njegova vrednost nekoliko manj kot 2 mg g⁻¹ ss (Slika 16), zato se statistično značilno razlikujejo (Preglednica 1). Med potopljenimi in kopenskimi listi ni statistično značilnih razlik (Preglednica 1).



Slika 16: Vsebnost klorofila b [mg g⁻¹ ss] pri različnih tipih listov navadne streluške (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti ± SD; n = 10; črki a, b označujeta statistično značilne razlike v vsebnosti klorofila b med posameznimi tipi listov (rezultati Kruskal – Wallis testa)

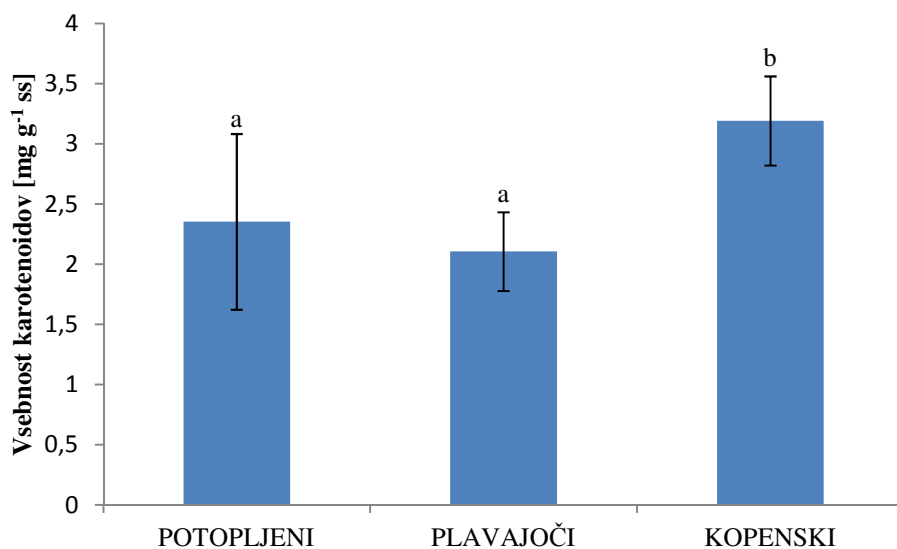
Klorofil *a* dosega pri vseh treh tipih listov višje vrednosti kot klorofil *b*. Pri potopljenem in kopenskem tipu listov dosega klorofil *a* za 40 % višje vrednosti kot klorofil *b*, pri plavajočem tipu listov pa kar za 70 % višje vrednosti (Slika 17).



Slika 17: Vsebnost klorofila *a* (modra) in *b* (rdeča) [mg g⁻¹ ss] pri različnih tipih listov navadne streluše (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti ± SD; n = 10; črki a, b nad stolpci označujeta statistično značilne razlike v vsebnosti klorofila *a*, črki x, y nad stolpci označujeta statistično značilne razlike v vsebnosti klorofila *b* med posameznimi tipi listov (rezultati Kruskal – Wallis testa)

VSEBNOST KAROTENOIDOV

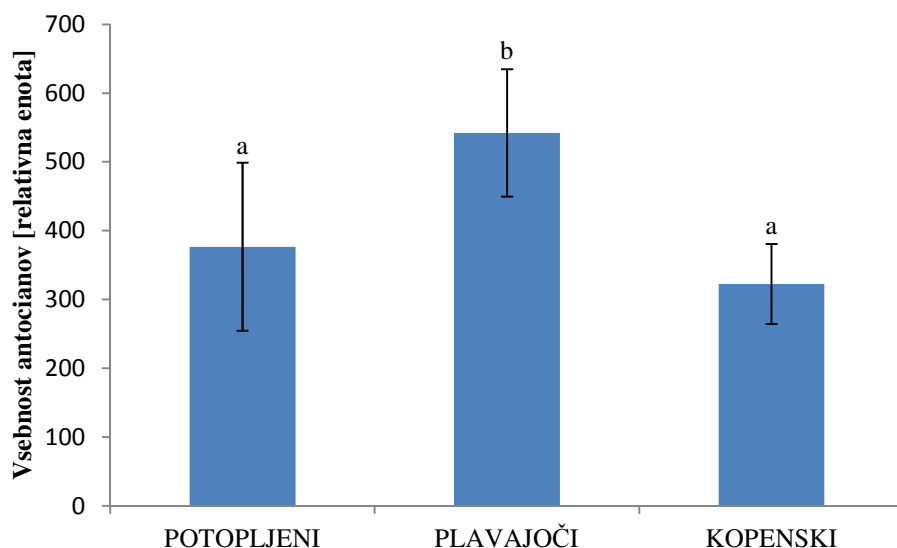
Vsebnost karotenoidov najbolj izstopa pri kopenskem tipu listov, kjer doseže vrednost dobrih 3 mg g⁻¹ ss, najmanjša pa je pri plavajočem tipu z nekoliko več kot 2 mg g⁻¹ ss (Slika 18). Kopenski listi se po vsebnosti karotenoidov statistično značilno razlikujejo od preostalih dveh tipov. Med potopljenimi in plavajočimi listi ni statistično značilnih razlik (Preglednica 1).



Slika 18: Vsebnost karotenoidov [mg g⁻¹ ss] pri različnih tipih listov navadne strelušice (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti ± SD; n = 10; črki a, b označujeta statistično značilne razlike v vsebnosti karotenoidov med posameznimi tipi listov (rezultati Kruskal – Wallis testa)

VSEBNOST ANTOCIANOV

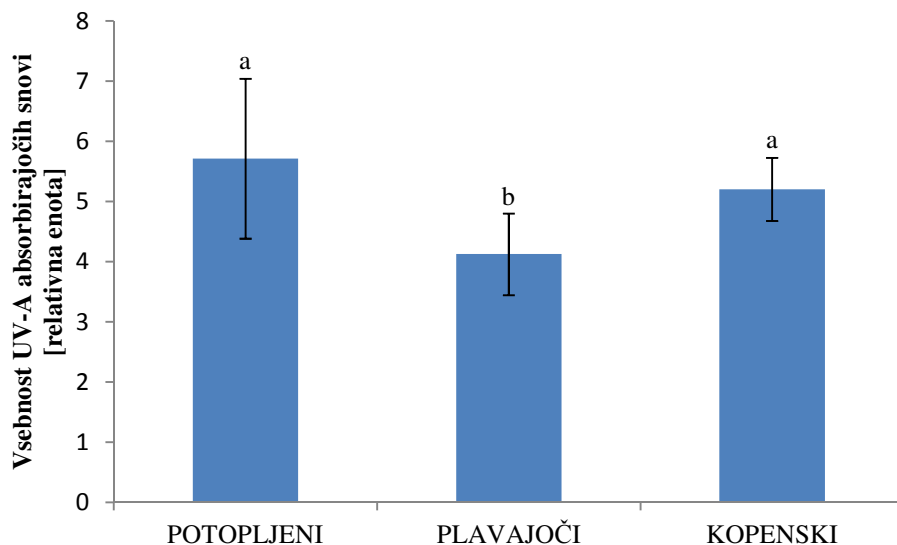
Vsebnost antocianov, izraženo na suho maso (ss) v relativnih enotah, je največja pri plavajočem tipu listov. Tem sledita potopljeni in kopenski tip (Slika 19). Vsebnost antocianov v plavajočem tipu listov se statistično značilno razlikuje od vsebnosti v preostalih dveh tipih listov, med katerima ni statistično značilnih razlik (Preglednica 1).



Slika 19: Vsebnost antocianov [relativna enota] pri različnih tipih listov navadne strelušice (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti ± SD; n = 10; črki a, b označujeta statistično značilne razlike v vsebnosti antocianov med posameznimi tipi listov (rezultati testa ANOVA)

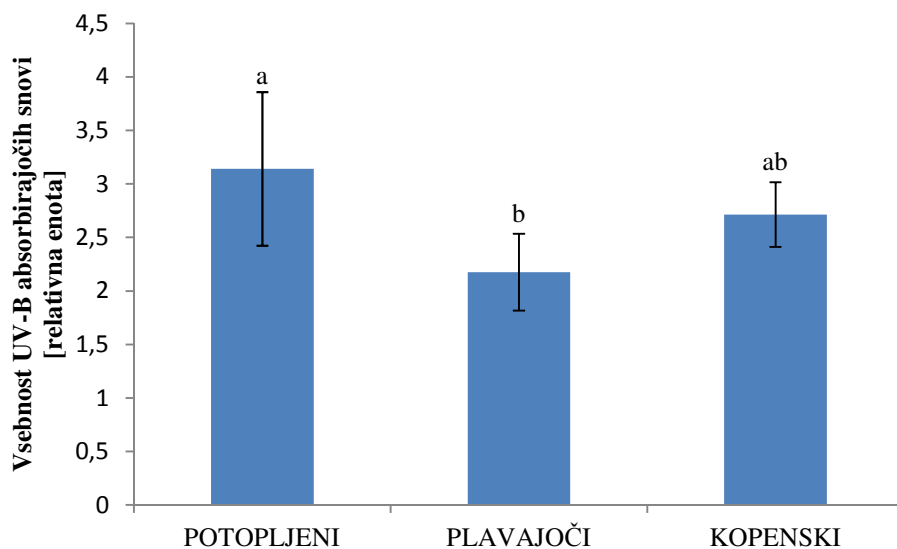
VSEBNOST UV ABSORBIRAJOČIH SNOVI

Vsebnost UV-A absorbirajočih snovi je največja pri potopljenem tipu lista, sledita pa mu kopenski in plavajoči tip (Slika 20). Statistično pomembne razlike v vsebnosti UV-A absorbirajočih snovi so med potopljenimi in plavajočimi listi ter med plavajočimi in kopenskimi. Med potopljenimi in kopenskimi listi ni statistično značilnih razlik (Preglednica 1).



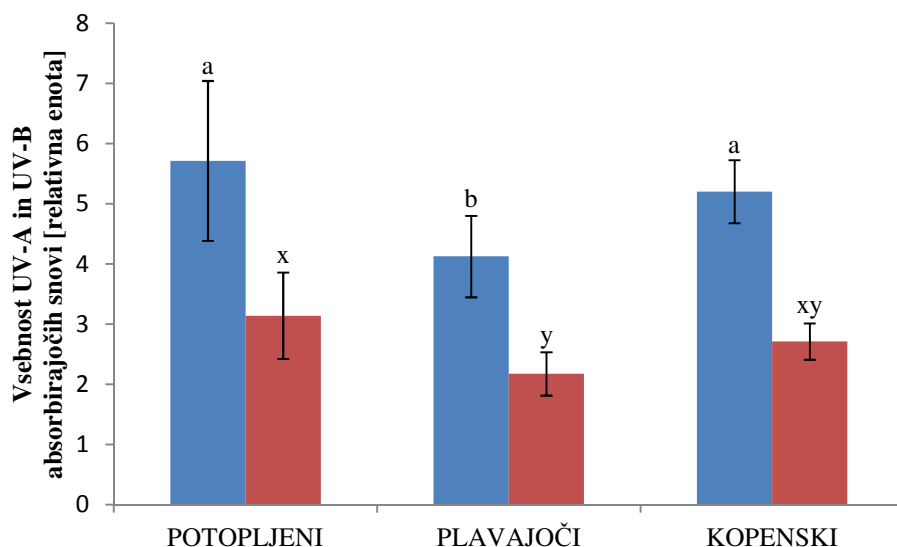
Slika 20: Vsebnost UV-A absorbirajočih snovi [relativna enota] pri različnih tipih listov navadne streluše (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti \pm SD; n = 10; črki a, b označujeta statistično značilne razlike v vsebnosti UV-A absorbirajočih snovi med posameznimi tipi listov (rezultati testa ANOVA)

Vsebnost UV-B absorbirajočih snovi je največja pri potopljenem listu, sledita mu kopenski in plavajoči tip (Slika 21). Statistično značilne razlike so le med potopljenimi in plavajočimi listi (Preglednica 1).



Slika 21: Vsebnost UV-B absorbirajočih snovi [relativna enota] pri različnih tipih listov navadne strelušce (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti \pm SD; n = 10; črki a, b označujeta statistično značilne razlike v vsebnosti UV-B absorbirajočih snovi med posameznimi tipi listov (rezultati testa ANOVA)

Vsi trije tipi listov vsebujejo za več kot 45 % UV-A kot UV-B absorbirajočih snovi. Največ UV-A kot tudi UV-B absorbirajočih snovi imajo potopljeni listi, najmanjšo vsebnost obeh pa plavajoči listi (Slika 22).



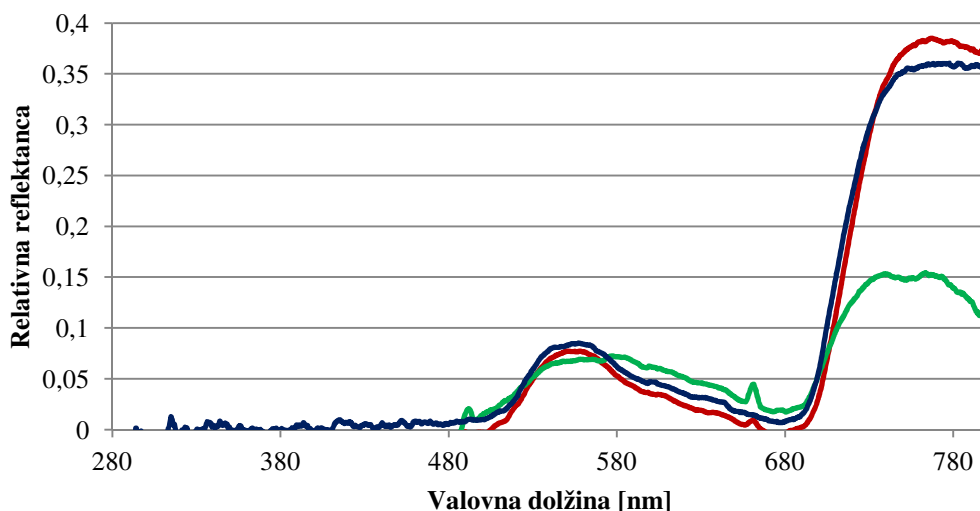
Slika 22: Vsebnost UV-A (modra) in UV-B (rdeča) absorbirajočih snovi [relativna enota] pri različnih tipih listov navadne strelušce (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti \pm SD; n = 10; črki a, b nad stolpci označujeta statistično značilne razlike v vsebnosti UV-A absorbirajočih snovi, črki x, y nad stolpci označujeta statistično značilne razlike v vsebnosti UV-B absorbirajočih snovi med posameznimi tipi listov (rezultati testa ANOVA)

Preglednica 1: Značilnosti razlik med različnimi tipi listov navadne streluše (*S. sagittifolia*), podane s pomočjo enosmerne analize variance testa ANOVA (one-way) ali neparametričnega Kruskal – Wallis testa oziroma *t*-testa ali neparametričnega Mann – Whitney testa; * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; ns – ni značilno

parameter	potopljeni - plavajoči	potopljeni – kopenski	plavajoči - kopenski
Specifična listna površina [$\text{cm}^2\text{mg}^{-1}$]	**	**	ns
Debelina lista [μm]	ns	ns	ns
Debelina zgornje povrhnjice [μm]	**	**	ns
Debelina spodnje povrhnjice [μm]	**	**	ns
Debelina stebričastega tkiva [μm]	-	-	**
Debelina gobastega tkiva [μm]	-	-	ns
Debelina kutikule [μm]	-	-	ns
Zgornja povrhnjica			
Gostota listnih rež [mm^{-2}]	-	-	ns
Dolžina listnih rež [μm]	-	-	*
Širina listnih rež [μm]	-	-	**
Spodnja povrhnjica			
Gostota listnih rež [mm^{-2}]	-	-	ns
Dolžina listnih rež [μm]	-	-	**
Širina listnih rež [μm]	-	-	**
Biokemijski parametri			
Klorofil <i>a</i> [mg g^{-1} ss]	ns	ns	**
Klorofil <i>b</i> [mg g^{-1} ss]	**	ns	**
Karotenoidi [mg g^{-1} ss]	ns	*	**
Antociani [relativna enota]	**	ns	**
UV-A absorbirajoče snovi [relativna enota]	**	ns	*
UV-B absorbirajoče snovi [relativna enota]	**	ns	ns

ODBOJNI SPEKTRI LISTOV

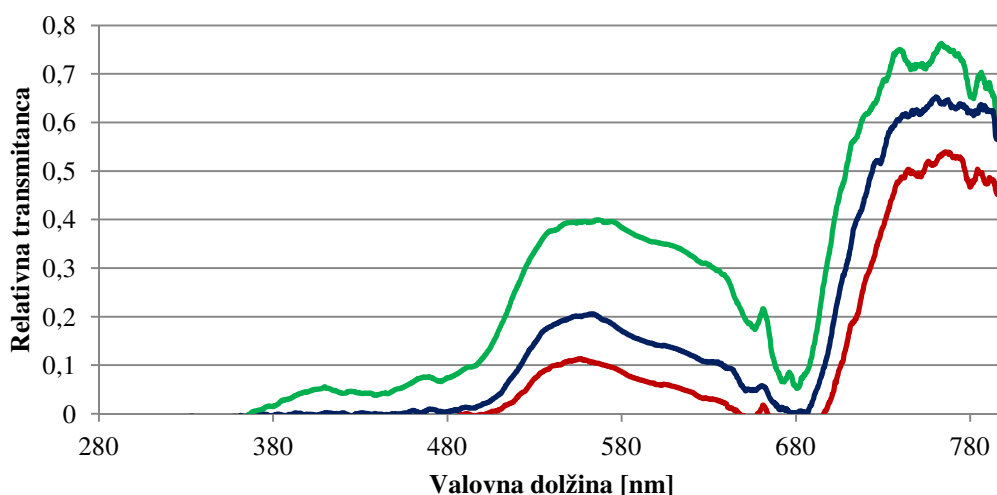
Listi imajo relativno nizko odbojnost v UV območju (280 – 400 nm) in vidnem območju (400 – 700 nm), z vrhom v zelenem delu spektra (550 nm) ter relativno visoko odbojnost v NIR območju (700 – 800 nm). Odbojni spektri so si najbolj podobni v začetnem delu zelenega spektra in na prehodu iz rdečega območja v NIR območje. V vidnem delu spektra imajo v zelenem delu najvišjo odbojnost plavajoči listi, nato pa v rumenem delu potopljeni listi. V celotnem vidnem spektru imajo najnižjo odbojnost kopenski listi, imajo pa najvišjo odbojnost v NIR območju. Najnižjo odbojnost v NIR območju imajo potopljeni listi.



Slika 23: Odbojni spektri potopljenega (—), plavajočega (—) in kopenskega (—) tipa listov navadne strelušce (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti; n = 10

PRESEVNOST LISTOV

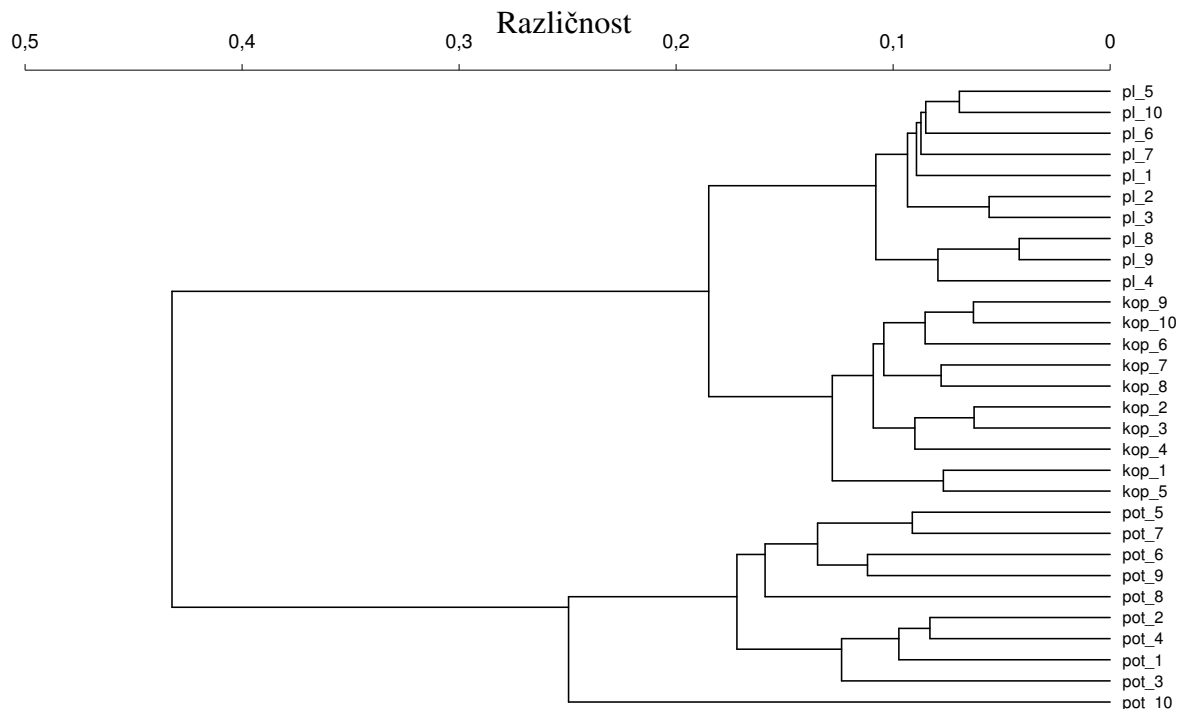
Listi imajo v UV območju (280 – 400 nm) relativno nizko presevnost. Ta naraste v vidnem delu območja, z vrhom v zelenem delu, potem pa v zadnjem delu rdečega upade in močno naraste na prehodu v NIR območje. Relativno najvišjo presevnost v celotnem spektru (280 – 800 nm) imajo potopljeni listi, tem pa sledijo plavajoči. Najnižjo presevnost smo izmerili pri kopenskem tipu listov.



Slika 24: Spektri presevnosti potopljenih (—), plavajočih (—) in kopenskih (—) listov navadne strelušce (*S. sagittifolia*); prikazane so povprečne vrednosti; n = 10

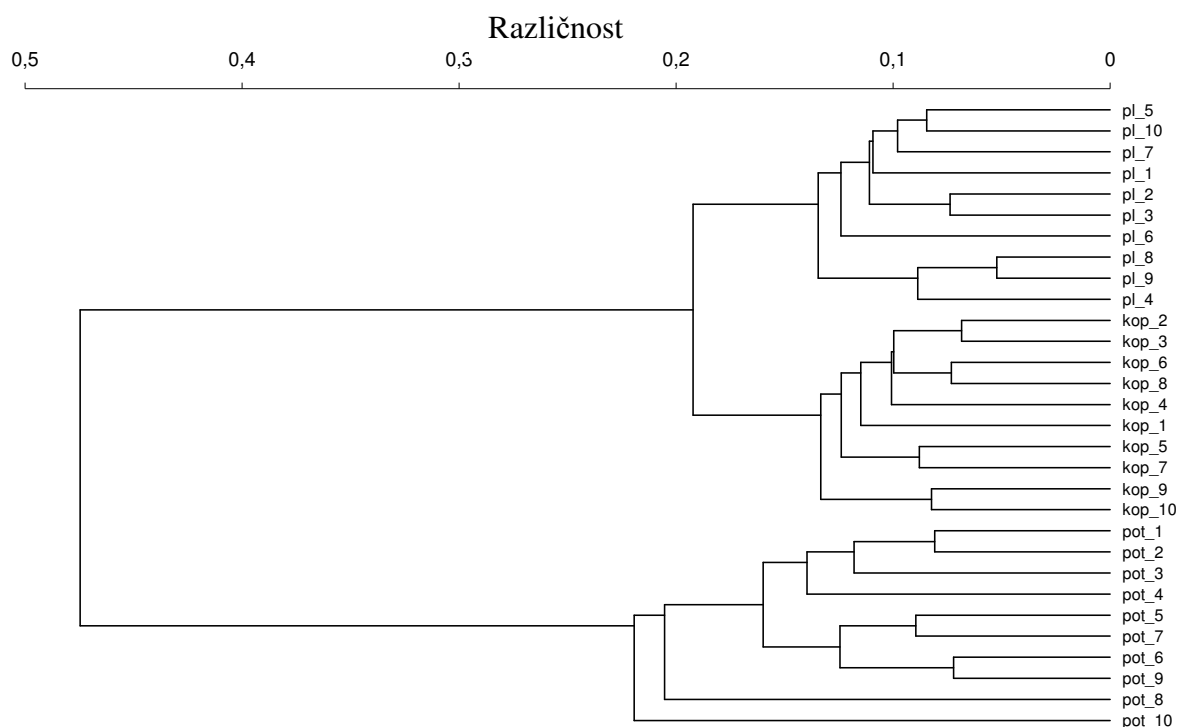
ANALIZA PODOBNOSTI RAZLIČNIH TIPOV LISTOV

Dendrogram podobnosti, v katerem so vključeni vsi merjeni parametri vključno z odbojnostjo, prikazuje združevanje listov navadne streluše (*S. sagittifolia*), ki pripadajo istemu tipu lista. Listi so si tako najbolj podobni v okviru istega tipa v vseh merjenih parametrih skupaj. Podobnost med plavajočim in kopenskim tipom je večja kot podobnost med plavajočim in potopljenim ter med kopenskim in potopljenim tipom.



Slika 25: Dendrogram podobnosti potopljenega (pot_1-10), plavajočega (pl_1-10) in kopenskega (kop_1-10) tipa listov navadne streluše (*S. sagittifolia*); vključeni so vsi merjeni parametri, tudi odbojnost; graf je podan s klastersko analizo z Bray-Curtis-ovim indeksom podobnosti

Dendrogram podobnosti, v katerem so vključeni vsi merjeni parametri vključno s presevnostjo, prikazuje združevanje listov navadne streluše (*S. sagittifolia*), ki pripadajo istemu tipu lista. Listi so si tako najbolj podobni v okviru istega tipa v vseh merjenih parametrih skupaj. Podobnost med plavajočim in kopenskim tipom listov je večja kot med plavajočim in potopljenim ter kopenskim in potopljenim tipom.



Slika 26: Dendrogram podobnosti potopljenega (pot_1-10), plavajočega (pl_1-10) in kopenskega (kop_1-10) tipa listov navadne streluše (*S. sagittifolia*); vključeni so vsi merjeni parametri, tudi presevnost; graf je podan s klastersko analizo z Bray-Curtis-ovim indeksom podobnosti

ANALIZA SOODVISNOSTI MERJENIH PARAMETROV

Rezultati korelacijske analize odbojnosti in posameznih lastnosti listov navadne streluše (*S. sagittifolia*) kažejo, da sta debelina zgornje povrhnjice in vsebnost antocianov v povezavi z večino proučevanega spektra (razen z zelenim in NIR). Z zelenim spektralnim območjem ni značilno povezan noben merjen parameter, z NIR pa sta značilno povezani vsebnosti UV-A in UV-B absorbirajočih snovi. Z UV-B, UV-A, vijoličnim, rumenim in rdečim spektralnim območjem so značilno povezani debelina zgornje povrhnjice in stebričastega tkiva, SLA, vsebnosti karotenoidov, antocianov, UV-A in UV-B absorbirajočih snovi. Vsebnost klorofila *a* je značilno povezana z rumenim in rdečim spektralnim območjem. Z modrim spektralnim območjem pa so značilno povezani debelina zgornje povrhnjice, vsebnosti antocianov ter UV-A in UV-B absorbirajočih snovi.

Preglednica 2: Povezanost med odbojnostjo in posameznimi lastnostmi listov navadne streluše (*S. sagittifolia*) (Spearman-ov korelacijski koeficient (r)); prikazani so le parametri s statistično značilno stopnjo povezanosti z odbojnostjo; $n = 30$; * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$

	UV-B	UV-A	VIJOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Povrhnjica_zg	** -0,68	** -0,63	** -0,63	** -0,49		* 0,42	* 0,41	
Stebričasto								
tkivo	** 0,50	* 0,41	* 0,37			** -0,61	** -0,64	
SLA	** -0,60	** -0,52	** -0,50			** 0,57	** 0,59	
Kl a_cm²						** -0,52	** -0,48	
Kar_cm²	** 0,48	* 0,38	* 0,36			** -0,64	** -0,62	
Ant_cm²	** 0,77	** 0,75	** 0,71	** 0,49		** -0,51	** -0,44	
UV-A_abs_mg	** -0,59	** -0,62	** -0,59	** -0,48				** -0,50
UV-A_abs_cm²	* 0,41					** -0,60	** -0,60	
UV-B_abs_mg	** -0,63	** -0,64	** -0,62	** -0,51				** -0,51
UV-B_abs_cm²						** -0,59	** -0,61	

Rezultati korelacijskih analiz presevnosti in posameznih lastnosti listov navadne streluše (*S. sagittifolia*) kažejo, da so z vijoličnim, modrim, zelenim, rumenim in rdečim spektralnim območjem značilno povezani debelina zgornje in spodnje povrhnjice ter stebričastega tkiva, SLA ter vsebnosti klorofila *a*, karotenoidov, antocianov in UV-A ter UV-B absorbirajočih snovi. Z NIR ni značilno povezan noben merjen parameter. Z UV-B so značilno povezani debelini zgornje in spodnje povrhnjice ter vsebnost antocianov, z UV-A pa debelina stebričastega tkiva in SLA ter vsebnosti UV-A in UV-B absorbirajočih snovi.

Preglednica 3: Povezanost med presevnostjo in posameznimi lastnostmi listov navadne streluše (*S. sagittifolia*) (Spearman-ov korelacijski koeficient (r)); prikazani so le parametri s statistično značilno stopnjo povezanosti s presevnostjo; $n = 30$; * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$

	UV-B	UV-A	VIJOLIČNA	MODRA	ZELENA	RUMENA	RDEČA	NIR
Povrhnjica_zg	** -0,57		** 0,57	** 0,55	** 0,59	** 0,58	** 0,57	
Povrhnjica_sp	** -0,46		** 0,63	** 0,61	** 0,63	** 0,62	** 0,64	
Stebričasto								
tkivo		** -0,47	** -0,79	** -0,78	** -0,82	** -0,82	** -0,81	
SLA		* 0,42	** 0,73	** 0,72	** 0,72	** 0,73	** 0,71	
Kl a_cm²			** -0,63	** -0,64	** -0,74	** -0,73	** -0,67	
Kar_cm²			** -0,76	** -0,75	** -0,82	** -0,82	** -0,78	
Ant_cm²	** 0,61		** -0,49	** -0,49	* -0,45	* -0,44	* -0,45	
UV-A_abs_cm²		** -0,50	** -0,69	** -0,69	** -0,72	** -0,73	** -0,70	
UV-B_abs_cm²		** -0,54	** -0,68	** -0,68	** -0,69	** -0,71	** -0,69	

5 RAZPRAVA

Listi imajo svojevrstne optične lastnosti. Del sončeve svetlobe, ki pade na list, se odbije, del prehaja skozi list, del pa se absorbira. V diplomskem delu smo proučevali odbojnost listov navadne streluše (*Sagittaria sagittifolia*). Zanimala nas je povezanost odbojnosti in presevnosti z morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi ter variabilnost odbojnih spektrov različnih tipov listov.

MORFOLOŠKE IN BIOKEMIJSKE LASTNOSTI LISTOV

Pri navadni streluši (*S. sagittifolia*) se značilne razlike pojavljajo tako med morfološkimi kot tudi med biokemijskimi parametri. Najbolj variabilni morfološki parametri so specifična listna površina, debelina zgornje in spodnje povrhnjice kot tudi debelina stebričastega tkiva, dolžina in širina listnih rež na zgornji in spodnji povrhnjici. Nekaterih lastnosti nismo mogli primerjati, saj so se pojavljale zgolj pri enem ali dvema tipoma listov. Med variabilne biokemijske parametre pa lahko štejemo vse merjene biokemijske parametre, torej vsebnosti klorofila *a* in *b*, karotenoidov, antocianov ter UV-A in UV-B absorbirajočih snovi.

Med vsemi tremi primerjanimi pari listov navadne streluše, se v izmerjenih parametrih najbolj razlikujeta potopljeni in plavajoči tip lista, sledita jima plavajoči in kopenski ter potopljeni in kopenski tip lista. Statistično sta si potopljeni in plavajoči list različna tako v morfoloških kot v biokemijskih parametrih, in sicer v vsebnosti klorofila *b*, antocianov ter UV-A in UV-B absorbirajočih snoveh. V morfoloških parametrih sta si statistično različna v specifični listni površini ter debelini zgornje in spodnje povrhnjice. Tudi v zgradbi lista se potopljeni in plavajoči tip močno razlikujeta. Plavajoči tip lista ima stebričasto in gobasto tkivo, listne reže in kutikulo, medtem ko ima potopljeni tip enotni mezofil in nima listnih rež in kutikule.

ODBOJNOST IN PRESEVNOST

Odbojni spektri listov kažejo na nekatere skupne značilnosti (Underwood in sod., 2007) in sicer relativno nizko odbojnost v vidnem območju (400 – 700 nm) z vrhom v zelenem delu, pri valovni dolžini 550 nm, saj so v tem delu optične lastnosti zelenega lista podrejene absorpcijskim lastnostim klorofilnih molekul (Daughtry in sod., 2000; Male in sod., 2010) ter relativno visoko odbojnost v bližnjem infrardečem območju (700 – 800 nm). Visoko odbojnost v NIR območju pojasnujemo z manjšo absorpcijo, saj fotosintezna barvila višjih rastlin v tem delu spektra ne absorbirajo ter z zgradbo lista. V naši raziskavi opazimo pri vseh tipih listov nizko odbojnost v UV delu spektra (280 – 400 nm), predvsem zaradi absorpcije flavonoidov in v manjši meri absorpcije klorofilov in karotenoidov (Yoshimura in sod., 2010). Odbojnost je bila v raziskavi podobna v celotnem UV območju,

tako kot v raziskavi, ki jo je opravil Yoshimura s sodelavci (2010). Pri potopljenem in kopenskem tipu lista smo izmerili večje vsebnosti UV-A in UV-B absorbirajočih snovi ter vsebnosti klorofila *a* in *b* ter karotenoidov na suho maso kot pri plavajočem tipu, kar se kaže na nižji odbojnosti obeh tipov v UV spektru. Odbojnost je narastla v vidnem delu območja, z vrhom v zelenem delu (550 nm), kjer so si odbojni spektri vseh treh tipov listov najbolj podobni (največja odbojnost plavajočega tipa lista). V zadnjem delu rdečega spektra je upadla in močno narastla na prehodu v NIR območje (690 – 700 nm), kjer so si ponovno odbojni spektri vseh treh tipov listov zelo podobni. Najnižjo odbojnost smo v NIR območju izmerili pri potopljenem tipu lista, najvišjo pa pri kopenskem. To pripisujemo manjši absorpciji barvil in zgradbi lista. Mezofil kopenskih listov je iz stebričastega in gobastega tkiva. Posledica tega so zračni prostori v gobastem tkivu in s tem različni lomni količniki (zračni prostori – hidratirana celična stena) (Yoshimura in sod., 2010) ter tako večje sipanje svetlobe in šibka absorpcija listov v NIR območju (Liew in sod., 2008).

V raziskavi smo opazili relativno nizko presevnost v UV območju (280 – 400 nm). Ta je narastla v vidnem delu območja (z vrhom v zelenem delu). V zadnjem delu rdečega spektra je presevnost upadla in močno narasla na prehodu v NIR območje (690 – 700 nm). Relativno najvišjo prepustnost v celotnem spektru (280 – 800 nm) smo izmerili pri potopljenem tipu listov, najnižjo pa pri kopenskem tipu.

POVEZANOST MED LASTNOSTMI LISTOV IN NJIHOVO ODBOJNOSTJO IN PRESEVNOSTJO

Rezultati korelacijske analize odbojnosti in posameznih lastnosti listov navadne strelušice (*S. sagittifolia*) so pokazale, da sta debelina zgornje povrhnjice in vsebnost antocianov v povezavi z večino proučevanega spektra (razen z zelenim in NIR). Z zelenim spektralnim območjem ni značilno povezan noben merjen parameter, z NIR pa sta značilno povezani vsebnosti UV-A in UV-B absorbirajočih snovi. Z UV-B, UV-A, vijoličnim, rumenim in rdečim spektrom so značilno povezani debelina zgornje povrhnjice in stebričastega tkiva, SLA, vsebnosti karotenoidov, antocianov, UV-A in UV-B absorbirajočih snovi. Vsebnost klorofila *a* je značilno povezana z rumenim in rdečim spektralnim območjem. Z modrim spektrom pa so značilno povezani debelina zgornje povrhnjice, vsebnosti antocianov ter UV-A in UV-B absorbirajočih snovi.

Plavajoči listi imajo v NIR območju večjo odbojnost kot potopljeni listi, kar pripisujemo strukturi stebričastega in gobastega tkiva. Zaradi različnih lomnih količnikov vode (hidratirana celična stena) in zraka (medcelični zračni prostori) je večje sipanje svetlobe in posledično šibkejša absorpcija. Sipanje svetlobe je odvisno predvsem od oblike celic mezofila in debeline parenhima (Liew in sod., 2008). Potopljeni listi navadne strelušice imajo večjo vsebnost klorofila na suho maso kot plavajoči listi, kar se kaže tudi na nižji

odbojnosti v pretežno celotnem delu vidnega spektra. Rezultati kažejo, da imajo potopljeni listi navadne streluše večje vsebnosti tako UV-A kot UV-B absorbirajočih snovi v primerjavi s plavajočimi listi, kljub temu, da so pred sevanjem zaščiteni z vodnim stolpcem (Germ, 2002).

Rezultati korelacijskih analiz presevnosti in posameznih lastnosti listov navadne streluše (*S. sagittifolia*) so pokazale, da so z vijoličnim, modrim, zelenim, rumenim in rdečim spektralnim območjem značilno povezani debelina zgornje in spodnje povrhnjice ter stebričastega tkiva, SLA ter vsebnosti klorofila *a*, karotenoidov, antocianov in UV-A ter UV-B absorbirajočih snovi. Z NIR ni značilno povezan noben merjen parameter. Z UV-B so značilno povezani debelini zgornje in spodnje povrhnjice ter vsebnost antocianov, z UV-A pa debelina stebričastega tkiva in SLA ter vsebnosti UV-A in UV-B absorbirajočih snovi.

6 SKLEPI

Različni tipi listov se med seboj razlikujejo v morfoloških in biokemijskih lastnostih. Med vsemi tremi primerjanimi pari listov navadne streluše, se v izmerjenih parametrih najbolj razlikujeta potopljeni in plavajoči tip lista, sledita jima plavajoči in kopenski ter potopljeni in kopenski tip lista. Potopljeni in plavajoči tip lista se razlikujeta tako v morfoloških kot biokemijskih parametrih, medtem ko se plavajoči in kopenski predvsem v biokemijskih, potopljeni in kopenski pa v morfoloških parametrih.

Listi so imeli nekatere skupne spektralne lastnosti. To so relativno nizka odbojnost v vidnem delu spektra (400 – 700 nm) z vrhom v zelenem delu (550 nm) ter relativno visoka odbojnost v NIR območju (700 – 800 nm) in nizka odbojnost v UV območju (280 – 400 nm). Za liste je značilna tudi relativno nizka presevnost v UV območju (280 – 400 nm) in vidnem delu spektra (400 – 700 nm) z vrhom v zelenem delu (550 nm) ter relativno visoka presevnost v NIR območju (700 – 800 nm).

Vendar pa se odbojni spektri različnih tipov listov med seboj nekoliko razlikujejo, te razlike pa so posledica specifičnih lastnosti listov. Pri potopljenem in kopenskem tipu lista smo izmerili večje vsebnosti UV-A in UV-B absorbirajočih snovi ter vsebnosti klorofila *a* in *b* ter karotenoidov kot pri plavajočem tipu, kar se kaže na nižji odbojnosti obeh tipov v UV spektru. Odbojnost je narastla v vidnem delu območja, z vrhom v zelenem delu, kjer so si odbojni spektri vseh treh tipov listov najbolj podobni (najvišja odbojnost plavajočega tipa lista), potem pa v zadnjem delu rdečega upadla in nato močno narastla na prehodu v NIR območje, kjer so si ponovno odbojni spektri vseh treh tipov listov zelo podobni. Najnižjo odbojnost v NIR območju so imeli potopljeni, najvišjo pa kopenski listi in ker so statistično različne predvsem anatomske in morfološke lastnosti obeh tipov listov, sklepamo, da te lastnosti vplivajo na različno odbojnost v NIR območju. Relativno najnižjo presevnost v celotnem spektru (280 – 800 nm) je imel kopenski tip lista, najvišjo pa potopljeni tip.

Morfološke in biokemijske lastnosti listov sovpadajo z odbojnostjo in presevnostjo listov.

7 POVZETEK

V diplomski nalogi smo proučevali odbojnost navadne streluše (*Sagittaria sagittifolia*). Meritve smo opravljali na potopljenih, plavajočih in kopenskih listih. Vzorčni listi so bili vitalni in popolnoma razviti. Zanimala nas je variabilnost odbojnih spektrov. Odbojnost smo želeli razložiti z izbranimi morfološkimi in biokemijskimi lastnostmi listov.

Delo je potekalo na območju Rakovega Škocjana (reka Rak) in v laboratoriju od avgusta 2011 do januarja 2012. Na terenu smo nabrali rastline za nadaljnje raziskave. Te smo pripeljali v laboratorij, kjer smo opravili meritve odbojnih spektrov, analizirali zgradbo lista, določili specifično listno površino, število in velikost listnih rež ter določili vsebnosti klorofilov, katotenoidov, antocianov in UV absorbirajočih snovi. Odbojnost smo merili na zgornji površini listov, v območju od 280 do 800 nm.

Listi so imeli nekatere skupne optične lastnosti, in sicer nizko odbojnost in presevnost v UV spektru (280 – 400 nm), relativno nizko odbojnost in presevnost v vidnem spektru (400 – 700 nm) z vrhom v zelenem delu (550 nm) ter relativno visoko odbojnost in presevnost v NIR območju (700 – 800 nm). V vidnem delu spektra so optične lastnosti zelenega lista podrejene procesu fotosinteze, visoko odbojnost v NIR območju pa pojasnjujemo s pomanjkanjem absorpcijskega faktorja in s strukturo lista.

Rezultati so pokazali, da se listi navadne streluše statistično precej razlikujejo tako v morfoloških kot biokemijskih lastnostih. Same razlike v debelini lista med različnimi tipi niso bile bistvene, so pa bile bistvene razlike v zgradbi mezofila. Pri plavajočem in kopenskem tipu lista je bilo razvito stebričasto in gobasto tkivo, medtem ko so potopljeni listi imeli enotni mezofil.

Plavajoči listi so imeli v UV območju višjo odbojnost kot potopljeni in kopenski listi, prav tako v zelenem delu vidnega spektra. Najvišjo presevnost v celotnem spektru (280 – 800 nm) so imeli potopljeni listi. V NIR območju je bila odbojnost kopenskih listov najvišja (presevnost najnižja), odbojnost potopljenih pa najnižja (presevnost najvišja), kar pripisujemo različni strukturi lista.

8 PRENOS PRIDOBLENEGA ZNANJA NA POUČEVANJE V OSNOVNI ŠOLI

8.1 ANALIZA UČNIH NAČRTOV

Z analizo učnih načrtov sem želela ugotoviti, kako bi temo svojega diplomskega dela uporabili pri pouku naravoslovja in biologije v osnovni šoli. V iztekajočem šolskem letu 2011/2012 so uvajali posodobljene učne načrte, del teh posodobitev pa sta bila tudi učna načrta iz naravoslovja in biologije. Tako sem natančno pregledala oba, stara in posodobljena učna načrta ter preučila, kako bi lahko temo odbojnih spektrov listov navadne streluše, razvijali od 6. razreda naprej.

V 6. razredu bi v vsebinskem sklopu teme »Živa narava« spoznali pomen raznolikosti žive narave in da so za obstoj živih bitij, potrebne določene življenjske razmere.

Temo bi naprej razvijali v 7. razredu, kjer bi z učenci v vsebinskem sklopu »Celinske vode« spoznavali vodne rastline ter jih določali in prepoznavali s pomočjo preprostih slikovnih ključev.

S tematiko odbojnih spektrov listov navadne streluše bi se podrobneje seznanili v 8. razredu, kjer bi v vsebinskem sklopu »Življenjska pestrost« spoznali osnovne vrstne pestrosti živih bitij ter se seznanili z dejavniki okolja, ki pogojujejo pestrost rastlinskih vrst. Spoznali bi se tudi z ogroženimi in ranljivimi rastlinskimi vrstami pri nas, med katere uvrščamo tudi navadno strelušo.

8.2 UČNA PRIPRAVA NA TEMO ODBOJNI SPEKTRI LISTOV NAVADNE STRELUŠE ZA 8. RAZRED

PRIPRAVA na vzgojno - izobraževalno delo	Predmet	Razred	Ura
	BIOLOGIJA	8. razred	
UČNA TEMA	ŽIVLJENJSKA PESTROST		
UČNA ENOTA	<i>ZAVAROVANA OBMOČJA IN RANLJIVE RASTLINSKE VRSTE V SLOVENIJI</i>		
Osnovni podatki o učni uri:			

Operativni cilji	<ul style="list-style-type: none"> • učenci razumejo pojme, dejstva in zakonitosti v živi naravi, organizacijske tipe živih bitij in ekologijo, • učenci razvijejo sposobnosti za preučevanje življenjskih procesov in pojavov, • učenci z lastnim iskanjem in preučevanjem pridejo do nekaterih spoznanj in oblikujejo odgovoren odnos do narave in okolja, • učenci razvijejo sposobnosti za zaznavanje in razumevanje ekoloških problemov, • učenci razvijejo sposobnosti za posploševanje in uporabo pridobljenih spoznanj, • učenci spoznajo, da je človek odvisen od narave in je njen sestavni del, • učenci razumejo različne, popravljive in nepopravljive spremembe ob človekovem posegu v naravo in okolje ter probleme, ki pri tem nastanejo ter naravne načine njihovega reševanja.
Splošni cilji	<ul style="list-style-type: none"> • razumejo pojme: organizem, okolje, dejavniki okolja, ekološka niša in populacija, • spoznajo načine vzdrževanja ravnovesja v ekosistemi, • spoznajo ekosistem in njegove zakonitosti kot skupnost nežive in žive narave, ki delujeta povezano, • poznajo najznačilnejše naravne in antropogene ekosisteme pri nas in v svetu, • znajo opisati življenjske razmere v posameznem ekosistemu, • spoznajo nekatere vplive človekovih posegov v ekosisteme.
UČNE METODE	<ul style="list-style-type: none"> • razlaga • razgovor • opazovanje • reševanje delovnih listov • praktični del
UČNE OBLIKE	<ul style="list-style-type: none"> • frontalna • individualno delo • skupinsko delo
UČNI PRIPOMOČKI	<ul style="list-style-type: none"> • power point • tabla
POTEK UČNE URE:	

1. URA: KJE SO ZAVAROVANA OBMOČJA IN PRIMERI RANLJIVIH RASTLINSKIH VRST V SLOVENIJI

Učenci spoznajo pojem zavarovano območje ter pojma ogrožene in ranljive rastlinske vrste. Predstavim jim njihove značilnosti ter s pomočjo literature preučimo dejavnike, ki ogrožajo življenjsko pestrost in ugotavljamo prisotnost ogroženih ali ranljivih rastlinskih vrst v Sloveniji.

S pomočjo slikovnega gradiva si ogledamo nekatere ogrožene in ranljive rastlinske vrste v Sloveniji.

Pogovorimo se o naravoslovnem dnevu, ki bo potekal naslednji dan v dolini Rakovega Škocjana in bo sestavljen iz geografskega in biološkega dela.

2. NARAVOSLOVNI DAN

Naravoslovni dan bo potekal med 9.00 in 14.00 uro. V tem času si bodo učenci ogledali značilnosti dinarskega kraškega območja v dolini Rakovega Škocjana. V geografskem delu bodo spoznavali kraške pojave in kamnine ter se sprehodili po kraškem podzemlju, v biološkem delu pa vegetacijo tega območja – gozd ter nekatere značilne zelnate rastline, med katerimi je tudi navadna streluška, ki je na rdečem seznamu ranljivih vrst v Sloveniji.

Pot bomo začeli pri Malem naravnem mostu, kjer se bodo učenci seznanili z značilnostmi in lego Rakovega Škocjana. Ob eksperimentalnem prikazu bodo spoznali, kako nastane kras in z njim povezani kraški pojavi. Spoznali bodo nekatere površinske kraške pojave (žlebiči, uvale, vrtače,...) in kraško podzemlje (ogled suhih delov Zelških jam). Ko bomo prišli nazaj na površje, si bodo učenci ogledali še značilnosti doline Rakovega Škocjana, od kraškega izvira reke Rak na zgornjem delu doline, do Velikega naravnega mostu in ponorne Tkalce jame v spodnjem delu doline. Vmes bodo spoznavali rastline, ki so značilne za področje notranjsko – dinarskega kraškega sveta in življenjske razmere, v katerih rastejo.

Kaj potrebujejo? Učenci naj bodo primerno oblečeni in obuti za delo na terenu. Za izpolnjevanje delovnih listov potrebujejo trdo podlago in svinčnik (za skiciranje listov dreves ter značilnih zelnatih rastlin). S seboj naj prinesejo malico in dežnik.

9 VIRI

1. 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, 2: 214 – 223
2. Boyer R.F. 2005. Temelji biokemije. Ljubljana, Študentska založba: 634 str.
3. Carter G.A., Knapp A.K. 2001. Leaf optical properties in higher plants: Linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *American Journal of Botany*, 88, 4: 677 – 684
4. Chandrasekharan R. 2005. Optical properties of leaves. 13.12.2005
5. Daughtry C.S.T., Walthall C.L., Kim M.S., Brown de Colstoun E., McMurtrey III J.E. 2000. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote Sensing Environment*, 74: 229 – 239
6. Dorken M.E., Barrett S.C.H. 2003. Gender plasticity in *Sagittaria sagittifolia* (Alismataceae), a monoecious aquatic species. *Plant Systematics and Evolution*, 237: 99 – 106
7. Filella I., Peñuelas J. 1999. Altitudinal differences in UV absorbance, UV reflectance and related morphological traits of *Quercus ilex* and *Rhododendron ferrugineum* in the Mediterranean region. *Plant Ecology*, 145, 1: 157 – 165
8. Gaberščik A., Urbanc-Berčič O. 2002. Kakovost vode v jezeru in njenih pritokih. V: Jezero, ki izginja – Monografija o Cerkniškem jezeru. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 44 – 49
9. Gates D.M., Keegan H.J., Schleter J.C., Weidner V.R. 1965. *Applied Optics*, 4, 1: 11 – 20
10. Germ M. 2002. Močvirska spominčica in lasastolista vodna zlatca v spremenljivem okolju. V: Jezero, ki izginja – Monografija o Cerkniškem jezeru. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 106 – 115
11. Global invasive species database. (b.l.). *Sagittaria sagittifolia*. Najdeno 15. aprila 2012 na spletnem naslovu:
<http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=858&fr=1&sts=sss&lang=EN>

12. Holmes M.G., Keiller D.R. 2002. Effects of pubescence and waxes on the reflectance of leaves in the ultraviolet and photosynthetic wavebands: a comparison of a range of species. *Plant, Cell and Environment*, 25, 1: 85 – 93
13. Kraji – Slovenija. (b.l.). Cerknica z okolico. Najdeno 10. aprila 2012 na spletnem naslovu: http://kraji.eu/slovenija/rakov_skocjan/slo
14. Kranjc A. 2002. Geologija in morfologija. V: Jezero, ki izginja – Monografija o Cerkniskem jezeru. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 18 – 25
15. Levizou E., Drilias P., Psaras G.K., Maneta Y. 2005. Nondestructive assessment of leaf chemistry and physiology through spectral reflectance measurements may be misleading when changes in trichome density co-occur. *New Phytologist*, 165, 2: 463 – 472
16. Liew O.W., Chong P.C.J., Li B., Asundi A.K. 2008. Signature optical cues: Emerging technologies for monitoring plant health. *Sensors*, 8: 3205 – 3239
17. Male E.J., Pickles W.L., Silver E.A., Hoffmann G.D., Lewicki J., Apple M., Repasky K., Burton E.A. 2010. Using hyperspectral plant signatures for CO₂ leak detection during the 2008 ZERT CO₂ sequestration field experiment in Bozeman, Montana. *Environmental Earth Sciences*, 60: 251 – 261
18. Martinčič A., Leskovar I. 2002. Vegetacija. V: Jezero, ki izginja – Monografija o Cerkniskem jezeru. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 80 – 95
19. Martinčič A., Wraber T., Ravnik V., Jogan N., Podobnik A., Turk B., Vreš B., Frajman B., Strgulc-Krajšek S., Trčak B., Bačič T., Fischer M.A., Eler K., Surina B. 2007. Mala flora Slovenije. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 967 str.
20. NASA, Mission: Science. (b.l.). Visible light. Najdeno 13. februarja 2012 na spletnem naslovu: http://missionscience.nasa.gov/ems/09_visiblelight.html
21. Netto A.T., Campostrini E., Gonçalves de Olivera J., Bressan-Smith R.E. 2005. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll *a* fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, 104: 199 – 209
22. Notranjski regijski park. (b.l.). Geografske značilnosti. Najdeno 20. februarja 2012 na spletnem naslovu: <http://www.notranjski-park.si/index.php?catid=266&lang=slo>

23. Notranjski regijski park. (b.l.). Rastlinski svet. Najdeno 12. februarja 2012 na spletnem naslovu: <http://www.notranjski-park.si/index.php?catid=193&lang=slo>
24. Smith R.C., Prezelin B.B., Baker K.S., Bidigare R.R., Boucher N.P., Coley T., Karentz D., MacIntyre S., Matlick H.A., Menzies D., Ondrusek M., Wan Z., Waters K.J. 1992. Ozone depletion: Ultraviolet radiation and phytoplankton biology in Antarctic waters. *Science, New Series*, 255, 5047: 952 – 959
25. Tome D. 2006. *Ekologija: organizmi v prostoru in času*. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 344 str.
26. Underwood E.C., Ustin S.L., Ramirez C.M. 2007. A comparison of spatial and spectral image resolution for mapping invasive plants in coastal California. *Environmental management*, 39, 1: 63 – 83
27. Yoshimura H., Zhu H., Wu Y., Ma R. 2010. Spectral properties of plant leaves pertaining to urban landscape design of broad-spectrum solar ultraviolet radiation reduction. *International Journal of Biometeorology*, 54, 2: 179 – 191
28. Zavod RS za varstvo narave. (b.l.). Rakov Škocjan. Najdeno 10. aprila 2012 na spletnem naslovu: http://www.zrsvn.si/sl/informacija.asp?id_informacija=487&id_meta_type=63
29. Zupančič B. 2002. *Klima. V: Jezero, ki izginja – Monografija o Cerknškem jezeru*. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 4 – 17

ZAHVALA

Zahvaljujem se prof. dr. Alenki Gaberščik za mentorstvo, strokovno pomoč ter prijazen odnos. Najlepša hvala za vso podporo in pozitivno energijo, ki Vam je nikoli ne zmanjka.

Zahvaljujem se univ.dipl. Katji Klančnik za strpnost, nasvete in pomoč pri raziskovalnem delu in statistični obdelavi podatkov.

Hvala recenzentki doc. dr. Katarini Vogel Mikuš in predsednici komisije doc. dr. Mateji Germ za hiter pregled diplomske naloge in prijazno komunikacijo.

Hvala Ivanki Mirtič za lektoriranje ter Mihi Tauferju za oblikovanje diplomske naloge. Miha, hvala ti za vso podporo in pomoč tekom celotnega študija.

Hvala mami Branki in očetu Zlatku Pančič ter sestri Žani za vso podporo, motivacijo, potrpljenje in pomoč ter ljubezen, ki mi jo ves čas izkazujete.

PRILOGE

Priloga A

Morfološki in biokemijski parametri listov navadne streluše (*S. sagittifolia*). Prikazane so povprečne vrednosti \pm SD; n = 10.

parameter	potopljeni	plavajoči	kopenski
Specifična listna površina [cm ² mg ⁻¹]	0,7 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	0,35 \pm 0,07
Debelina lista [μ m]	224,0 \pm 71,7	242,3 \pm 39,9	252,8 \pm 31,3
Debelina zgornje povrhnjice [μ m]	41,1 \pm 7,0	28,1 \pm 5,0	28,9 \pm 2,7
Debelina spodnje povrhnjice [μ m]	44,2 \pm 9,0	30,2 \pm 5,9	27,7 \pm 5,0
Debelina stebričastega tkiva [μ m]	0	46,3 \pm 11,4	66,0 \pm 17,4
Debelina gobastega tkiva [μ m]	0	136,1 \pm 33,1	129,7 \pm 15,3
Debelina kutikule [μ m]	0	3,9 \pm 1,0	3,6 \pm 1,0
Zgornja povrhnjica			
Gostota listnih rež [mm ⁻²]	0	581 \pm 92	689 \pm 160
Dolžina listnih rež [μ m]	0	54,8 \pm 3,7	49,8 \pm 4,2
Širina listnih rež [μ m]	0	68,4 \pm 4,0	60,6 \pm 4,4
Spodnja povrhnjica			
Gostota listnih rež [mm ⁻²]	0	510 \pm 172	630 \pm 137
Dolžina listnih rež [μ m]	0	53,9 \pm 5,3	46,5 \pm 3,6
Širina listnih rež [μ m]	0	66,1 \pm 6,1	57,1 \pm 3,1
Biokemijski parametri			
Klorofil <i>a</i> [mg g ⁻¹ ss]	10,03 \pm 3,66	6,54 \pm 0,95	11,65 \pm 1,84
Klorofil <i>b</i> [mg g ⁻¹ ss]	6,21 \pm 2,46	1,91 \pm 0,76	6,64 \pm 1,72
Karotenoidi [mg g ⁻¹ ss]	2,35 \pm 0,73	2,11 \pm 0,33	3,19 \pm 0,37
Antociani [relativna enota]	377 \pm 122	542 \pm 93	323 \pm 58
UV-A absorbirajoče snovi [relativna enota]	5,71 \pm 1,33	4,13 \pm 0,68	5,20 \pm 0,52
UV-B absorbirajoče snovi [relativna enota]	3,14 \pm 0,72	2,18 \pm 0,36	2,71 \pm 0,30