

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Aleksandra VALENČAK LIKAR

**AKTIVNOST IN RAZVOJ RASTLIN NA OBMOČJU
UMETNO ZASNEŽENEGA SMUČIŠČA**

MAGISTRSKO DELO

Ljubljana, 2006

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Aleksandra VALENČAK LIKAR (VALENČAK)

**AKTIVNOST IN RAZVOJ RASTLIN NA OBMOČJU UMETNO
ZASNEŽENEGA SMUČIŠČA**

MAGISTRSKO DELO

**ACTIVITY AND DEVELOPMENT OF PLANTS ON THE
ARTIFICIALLY SNOWED SKI AREAS**

M.SC. THESIS

Ljubljana, 2006

Magistrsko delo je zaključek podiplomskega študija biologije na Oddelku za biologijo BF ULJ. Praktično delo je bilo opravljeno v laboratorijih Katedre za ekologijo in varstvo okolja Oddelka za biologijo.

Senat Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani je 30.9.2004 odobril temo magistrskega dela z naslovom: Aktivnost in razvoj rastlin na območju umetno zasneženega smučišča, in za mentorico imenoval prof.dr. Alenko Gaberščik.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednica: prof.dr. Marjana Regvar
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Članica: prof.dr. Alenka Gaberščik
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Članica: prof.dr. Lučka Kajfež Bogataj
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora: 11.06.2007

Izjava: Magistrska naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Aleksandra Valenčak Likar

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Md
DK	504.05:581.5:796.9(043.2)=863
KG	smučišče/umetni sneg/teptanje/aktivnost rastlin/fenologija
AV	VALENČAK LIKAR, Aleksandra, univ. dipl. biologinja
SA	GABERŠČIK, Alenka (mentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
LI	2006
IN	AKTIVNOST IN RAZVOJ RASTLIN NA OBMOČJU UMETNO ZASNEŽENEGA SMUČIŠČA
TD	Magistrsko delo
OP	XI, 90 str., 2 pregl., 41 sl., 1 pril., 59 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Posegi v habitate na smučiščih in spremenjene lastnosti snežne odeje, zaradi smučanja in teptanja, vplivajo na vrstno sestavo, aktivnost oziroma produktivnost in razvoj rastlin. Na območju smučišča na mariborskem Pohorju smo izbrali tri ploskve, ki se med seboj razlikujejo po tem, da so v zimski sezoni različno zasnežene in pripravljene. Meritve in vzorčenje so potekali na šentjaževki (<i>Hypericum perforatum</i>), ripeči zlati (<i>Ranunculus acris</i>) in navadnem rmanu (<i>Achillea millefolium</i>). Na izbranih vrstah rastlin smo izvedli analize fotosintezne aktivnosti, transpiracije, učinkovitosti izrabe vode, potencialne fotokemične učinkovitosti PS2, fotosinteznih pigmentov, fenološkega razvoja, velikosti rastlin in uspešnosti reprodukcije. Analize vplivov zasneževanja in/ali teptanja na preiskovane parametre so pokazale, da se pri šentjanževki in navadnem rmanu pojavlja podoben vzorec. Pri obeh rastlinah je bilo zasneževanje kot samostojni dejavnik ali v kombinaciji s teptanjem tisto, kar je povzročilo značilno razliko pri preiskovanih parametrih. Pri večini preiskovanih parametrov se je na račun zasneževanja pokazalo značilno znižanje vrednosti parametra. Le vrednosti klorofila <i>b</i> so se pod vplivom zasneževanja zvišale pri vseh treh preiskovanih vrstah rastlin. Pri ripeči zlati vplivov zasneževanja v kombinaciji s teptanjem nismo opazili pri nobenem preiskovanem parametru. Na potencialno fotokemično učinkovitost PS2 in vsebnost klorofila <i>a</i> pri nobeni od preiskovanih rastlin ni imelo vpliva niti zasneževanje niti teptanje.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Md
DC 504.05:581.5:796.9(043.2)=863
CX ski area/artificial snow/snow grooming/plant activity/phenology/
AU VALENČAK LIKAR, Aleksandra, univ. dipl. biologinja
AA GABERŠČIK, Alenka (mentor)
PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology
PY 2006
TI ACTIVITY AND DEVELOPMENT OF PLANTS ON THE ARTIFICIALLY
SNOWED SKI AREAS
DT M.Sc. Thesis
NO XI, 90 p., 2 tab., 41 fig., 1 ann., 59 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Interventions in ski areas and changes in characteristics of snow cover, as a consequence of skiing and snow grooming, influence plant diversity, productivity and development. We have chosen three experimental plots in a ski area of Pohorje that differ in snow preparations during the winter season. Measurements and sampling were performed on three representative species: *Hypericum perforatum*, *Achillea millefolium* and *Ranunculus acris*. We analyzed physiological and biochemical characteristics (net photosynthesis, transpiration, water use efficiency, PSII photochemical efficiency, photosynthetic pigments content) of the chosen plant species. We also followed phenological development and reproduction success of the plants. Analysis of impact of artificial snowing and/or snow grooming on the examined parameters showed a similar pattern in *H. perforatum* and *A. millefolium*. Both plant species showed negative effects of artificial snowing or in combination with snow grooming on the examined parameters. Only chlorophyll *b* content was increased under the impact of the artificial snow. Artificial snowing in combination with snow grooming showed no effect on examined parameters in *R. acris*. As PSII photoefficiency and chlorophyll *a* content showed no impact of the artificial snowing and snow grooming in any of the examined species, we can conclude that PSII photoefficiency and chlorophyll *a* content are probably mainly influenced by other environmental factors.

KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key words documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VIII
Kazalo slik	IX
Kazalo prilog	XI
1. UVOD	1
2. PREGLED OBJAV	3
2.1. NARAVNI IN UMETNI SNEG	3
2.1.1. Naravni sneg	3
2.1.2. Umetni sneg	5
2.2. LASTNOSTI NARAVNEGA IN UMETNEGA SNEGA	7
2.2.1. Gostota snega	8
2.2.2. Temperaturne lastnosti snega	9
2.2.3. Prepustnost za pline	11
2.2.4. Vsebnost proste vode	15
2.3. VPLIVI NA RASTLINE	17
2.3.1. Mehanske poškodbe	17
2.3.2. Temperaturne razmere tal	19
2.3.2.1. Zmrzovanje in odtajanje	21
2.3.3. Koncentracije plinov	21
2.3.3.1. Hipoksija in anoksija	23
2.3.4. Vnos hranil in drugih snovi v tla in rastline	24
2.3.4.1. Vnos hranil	24
2.3.4.2. Vnos dodatkov za nukleacijo snega	26
2.3.5. Vplivi na aktivnost in razvoj rastlin	27
2.3.6. Povzetek vplivov na rastline	29
3. MATERIAL IN METODE	30
3.1. OPIS LOKACIJE	30
3.1.1. Opis širšega območja	30
3.1.2. Geološka sestava Pohorja	30

3.1.3.	Sestava tal	31
3.1.4.	Hidrologija	31
3.1.5.	Klimatske razmere	32
3.1.6.	Vegetacija	33
3.2.	VZORČEVANJE	34
3.2.1.	Vzorčevalna mesta in vzorčne rastline	34
3.3.	MERITVE IN ANALIZE	35
3.3.1.	Meritve fotosinteze in transpiracije	35
3.3.2.	Učinkovitost izrabe vode (UIV)	36
3.3.3.	Potencialna fotokemična učinkovitost fotosistema II	36
3.3.4.	Analiza fotosinteznih pigmentov	37
3.3.4.1.	Priprava vzorcev	38
3.3.4.2.	Analiza vzorcev	38
3.3.5.	Analiza rasti in razvoja	39
3.3.6.	Statistična analiza	39
4.	REZULTATI	40
4.1.	FLORISTIČNA SLIKA PLOSKEV	40
4.2.	FOTOSINTEZA	42
4.3.	TRANSPIRACIJA	45
4.4.	UČINKOVITOST IZRABE VODE (UIV)	48
4.5.	POTENCIALNA FOTOKEMIČNA UČINKOVITOST PS2	51
4.6.	FOTOSINTEZNI PIGMENTI	54
4.7.	RAST IN RAZVOJ RASTLIN	60
4.7.1.	Fenološke faze	60
4.7.2.	Velikost rastlin	65
4.7.3.	Uspešnost reprodukcije	67
4.8.	VPLIV POSAMEZNIH DEJAVNIKOV	69
5.	RAZPRAVA	71
5.1.	FIZIOLOŠKI ODZIV PREISKOVANIH VRST	71
5.1.1.	Fotosinteza	71
5.1.2.	Transpiracija	72
5.1.3.	Učinkovitost izrabe vode (UIV)	72
5.1.4.	Potencialna fotokemična učinkovitost PS2	73

5.2.	FOTOSINTEZNI PIGMENTI	75
5.3.	RAST IN RAZVOJ RASTLIN	76
5.4.	POVZETEK VPLIVOV POSAMEZNIH DEJAVNIKOV	78
6.	SKLEPI	79
7.	POVZETEK	82
8.	SUMMARY	84
9.	VIRI	86

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 2.1 Kvalitativni povzetek odzivov rastlin na uporabo smučarskih prog, umetni sneg in strojno izravnavo območij smučišč poleti	29
Preglednica 4.1 Vplivi zasneževanja in/ali teptanja na preiskovane parametre	70

KAZALO SLIK

Slika 2.1 Zgradba jedra snežinke	3
Slika 2.2 Različne oblike snežink	4
Slika 2.3 Oblika kristala v odvisnosti od temperaturnih razmer in zračne vlažnosti	4
Slika 2.4 Primer visokotlačnega in nizkotlačnega topa	5
Slika 2.5 Kristali umetnega snega	7
Slika 2.6 Odvisnost zmrzovanja od višine snežne odeje pri različnih gostotah snega	10
Slika 2.7 Potek koncentracije kisika v tleh pod različno prepariranimi smučišči v primerjavi z okoliškim območjem, kjer je sneg povsem naraven in neobdelan v smučarskem središču Seefeld med letoma 1986/87	12
Slika 2.8 Primanjkljaja kisika pod preparirano smučarsko progo v karakterističnih časovnih periodah: višek zimske sezone, pozna zima in obdobje taljenja snega	13
Slika 2.9 Poškodbe pri vrsti <i>Trifolium repens</i> zaradi primanjkljaja kisika v kombinaciji z nizkimi temperaturami	22
Slika 4.1 Neto FS pri šentjanževki na treh ploskvah	42
Slika 4.2 Neto FS pri navadnem rmanu na treh ploskvah	43
Slika 4.3 Neto FS pri ripeči zlati na treh ploskvah	44
Slika 4.4. Transpiracija pri šentjanževki na treh ploskvah	45
Slika 4.5. Transpiracija pri navadnem rmanu na treh ploskvah	46
Slika 4.6. Transpiracija pri ripeči zlati na treh ploskvah	47
Slika 4.7. Učinkovitost izrabe vode (UIV) pri šentjanževki na treh ploskvah	48
Slika 4.8. Učinkovitost izrabe vode (UIV) pri navadnem rmanu na treh ploskvah	49
Slika 4.9. Učinkovitost izrabe vode (UIV) pri ripeči zlati na treh ploskvah	50
Slika 4.10. Potencialna fotokemična učinkovitost PS2 (Fv/Fm) pri šentjanževki na treh ploskvah	51
Slika 4.11. Potencialna fotokemična učinkovitost PS2 (Fv/Fm) pri navadnem rmanu na treh ploskvah	52
Slika 4.12. Potencialna fotokemična učinkovitost PS2 (Fv/Fm) pri ripeči zlati na treh ploskvah	53
Slika 4.13. Vsebnost klorofila <i>a</i> pri šentjanževki na treh ploskvah	54
Slika 4.14. Vsebnost klorofila <i>b</i> pri šentjanževki na treh ploskvah	55
Slika 4.15. Razmerje vsebnosti klorofilov <i>a/b</i> pri šentjanževki na treh ploskvah	55
Slika 4.16. Vsebnost klorofila <i>a</i> pri navadnem rmanu na treh ploskvah	56
Slika 4.17. Vsebnost klorofila <i>b</i> pri navadnem rmanu na treh ploskvah	57

Slika 4.18. Razmerje vsebnosti klorofilov a/b pri navadnem rmanu na treh ploskvah	57
Slika 4.19. Vsebnost klorofila <i>a</i> pri ripeči zlati na treh ploskvah	58
Slika 4.20. Vsebnost klorofila <i>b</i> pri ripeči zlati na treh ploskvah	59
Slika 4.21. Razmerje vsebnosti klorofilov a/b pri ripeči zlati na treh ploskvah	59
Slika 4.22. Fenološke faze pri šentjanževki na treh ploskvah v letu 2001	61
Slika 4.23. Fenološke faze pri šentjanževki na treh ploskvah v letu 2002	61
Slika 4.24. Fenološke faze pri navadnem rmanu na treh ploskvah v letu 2001	62
Slika 4.25. Fenološke faze pri navadnem rmanu na treh ploskvah v letu 2002	63
Slika 4.26. Fenološke faze pri ripeči zlati na treh ploskvah v letu 2001	64
Slika 4.27. Fenološke faze pri ripeči zlati na treh ploskvah v letu 2002	64
Slika 4.28. Potek rasti pri šentjanževki na treh ploskvah	65
Slika 4.29. Potek rasti pri navadnem rmanu na treh ploskvah	66
Slika 4.30. Potek rasti pri ripeči zlati na treh ploskvah	66
Slika 4.31. Uspešnost reprodukcije pri šentjanževki na treh ploskvah	67
Slika 4.32. Uspešnost reprodukcije pri ripeči zlati na treh ploskvah	68

KAZALO PRILOG

Priloga A: Tabelarični prikazi analize variance (ANOVA) merjenih parametrov preko vegetacijske sezone

1. UVOD

Posegi v habitate na smučiščih in spremenjene lastnosti snežne odeje (npr. zaradi smučanja), po podatkih nekaterih avtorjev, vplivajo na vrstno sestavo, aktivnost oziroma produktivnost in razvoj rastlin. To ima za posledico vplive na stabilnost in delovanje ekosistema. Rastline imajo številne ekološke funkcije, kot npr. preprečevanje erozije, nastanek tal, zadrževanje vode in hrane ter predstavljajo habitat organizmom. Odstranitev ali sprememba vegetacije ima zato lahko resne posledice.

Z razmahom zimskih športov se vplivi na ekosisteme zaradi povečevanja števila in obsega smučarskih prog, mehanske priprave smučišč in uporabe umetnega snega povečujejo. Glede na to, da je smučarski turizem eden najpomembnejših ekonomskih dejavnikov v Evropski alpski regiji lahko pričakujemo, da bo vpliv smučarskih prog in potrebne spremljajoče infrastrukture na ekosisteme še naraščal. Za nemoteno obratovanje smučišč, predvsem v zimah z manj snega, se športno rekreativni centri poslužujejo dodatnega zasneževanja s pomočjo naprav za izdelovanje umetnega snega. Ob tem se pojavljajo vprašanja v kolikšni meri je umeten sneg drugačen od naravnega in kako to vpliva na razvoj in aktivnost rastlin v vegetacijskem obdobju.

Znano je, da ima snežna odeja pozitivne učinke na rastline, saj blaži vplive zaradi delovanja nizkih temperatur in mehanske vplive na smučiščih. Manj znani pa so učinki umetnega snega, ki je po svojih lastnostih kompaktnejši od naravnega ter učinki teptanja snega. Sneg na smučiščih ima, v primerjavi s snegom izven smučišč, spremenjene fizikalne in kemijske lastnosti zaradi mehanske obdelave in zasneževanja.

Številne raziskave v različnih smučarskih središčih (Švica, Avstrija, Italija) so pokazale, da ima smučanje tako na tla kot tudi na vegetacijo obremenilne vplive. Ti vplivi se kažejo zelo različno, odvisno od razmer v tleh in tipa vegetacije. Neposredne obremenitve na rastlino povzročajo teptanje snega, kar ima za posledico gostejšo in tanjšo snežno odejo s povečano toplotno prevodnostjo in zmanjšano prepustnost za pline (Newesely 1997). Posledično se na rastlinah pojavljajo poškodbe zaradi zmrzali, primanjkljaja kisika, infekcij z glivami in patogeni, pride do zamika fenoloških faz in mehanskih poškodb

rastlinskih tkiv (Newesely 1997, Rixen in sod. 2003). Rezultat sta spremenjena vrstna sestava rastlin in znižana biodiverziteteta (Rixen in sod. 2003).

Snežna odeja je dober toplotni izolator. Dosedanje meritve so pokazale, da je temperaturni režim pod snežno odejo za rastline ugodnejši kot tam, kjer snega ni. Takšne razmere so v zimah brez snega, zaradi ponavljajočega zmrzovanja in odtajanja tal, nevarne za rastline. Tudi tla, zasnežena z umetnim snegom, kažejo manj ekstremne temperaturne razmere kot nezasnežena tla (Newesely in sod. 2000). Ekstremnost razmer vpliva na aktivnost, razvoj rastlin in njihovo uspešnost v prihodnjem letu.

Namen magistrske naloge je:

- primerjati sezonsko dinamiko aktivnosti in razvoja treh vrst rastlin (šentjanževke, navadnega rmana in ripeče zlatice) na treh različnih rastiščih na smučišču, ki so v času smučarske sezone različno zasnežena in teptana,
- primerjati izbrane fiziološke in biokemijske značilnosti (neto fotosintezo, transpiracijo, fotokemično učinkovitost fotosistema II, vsebnost fotosinteznih barvil...) med izbranimi vrstami rastlin na istem rastišču in med primerki iste vrste na treh različnih rastiščih ter na osnovi rezultatov sklepati na razlike v njihovi aktivnosti v vegetacijskem obdobju,
- prispevati k znanju o aktivnosti in razvoju izbranih rastlinskih vrst, ki zimsko sezono preživijo v spremenjenih razmerah na smučiščih.

Glede na opisana dejstva predpostavljam:

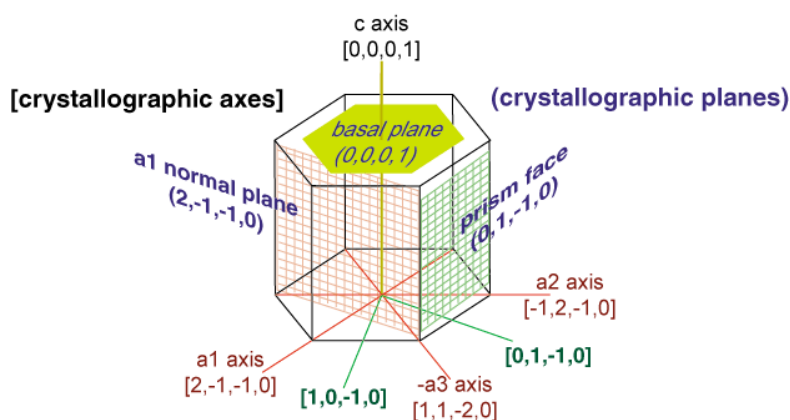
- da neobdelan umeten sneg na aktivnost in razvoj rastlin nima negativnih učinkov,
- da so negativni učinki na rastline možni zaradi teptanja snega,
- da bo začetek pojavljanja rastlin na različnih rastiščih različen oziroma bodo fenološke faze razvoja rastlin, skladno z načinom priprave snega v zimskem obdobju, časovno zamaknjene.

2. PREGLED OBJAV

2.1. NARAVNI IN UMETNI SNEG

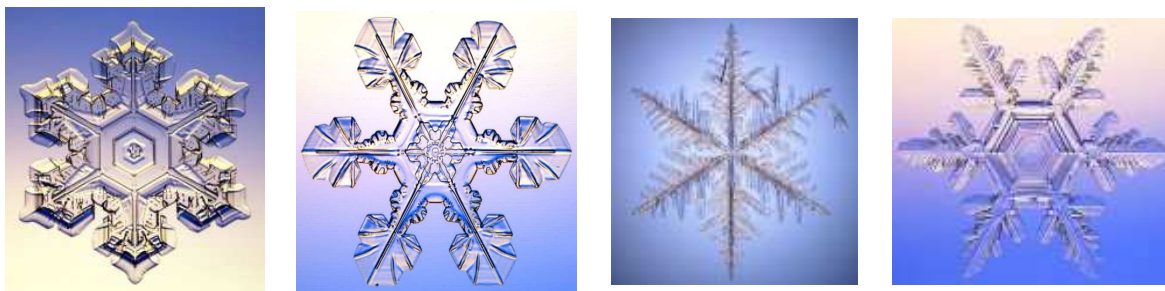
2.1.1. Naravni sneg

Za lažje razumevanje lastnosti snega je dobro poznati teorijo nastanka snežnih kristalov. Posamezni snežni kristali nastajajo z zmrzovanjem vodnih kapljic v zraku ali pa s procesom sublimacije v atmosferi (Lackinger 1995 citirano po Newesely 1997). Pri tem procesu sublimira v zraku prisotna vodna para okrog zelo majhnih jeder, ki lebdi v zraku. Jedra so lahko že prisotni snežni kristali ali drugi v zraku prisotni delci (npr. delci prahu). Snežni kristali rastejo na račun sublimacije vodne pare v heksagonalni obliki (Newesely 1997). Ta osnovna heksagonalna simetrija je rezultat notranje molekularne simetrije ledu oziroma bolje rečeno pogojuje jo molekularna struktura vode in postavitve vodnih molekul v kristalno mrežo (Slika 2.1). Kot med posameznimi »ročicami« snežnega kristala je 60° .



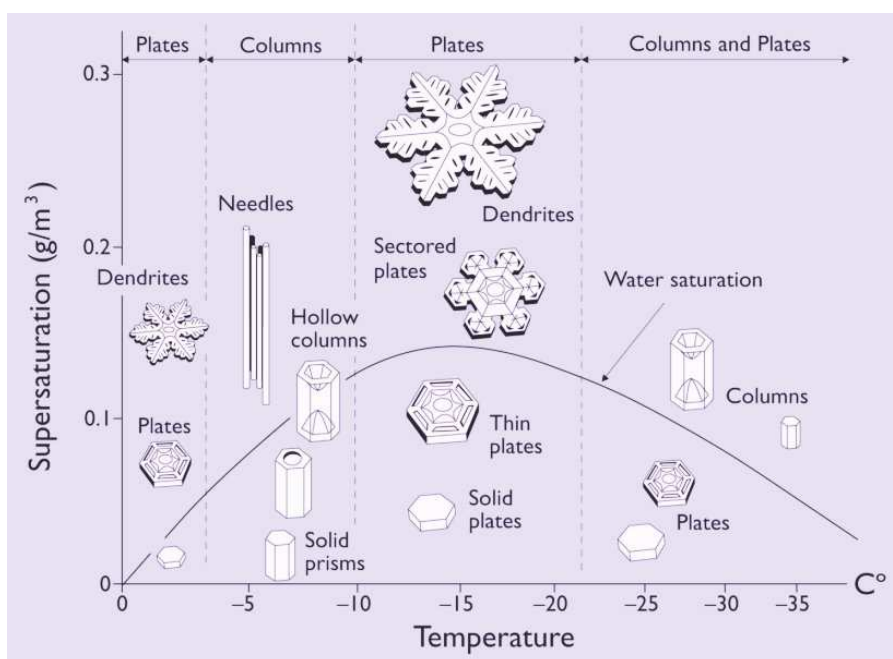
Slika 2.1 Zgradba jedra snežinke (vir: <http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals>)

Kristal snega je v povprečju zgrajen iz 10^{18} molekul vode (Harbeke, URL:<http://www.uni-muenster.de/Physik/DP/Seminare/>, februar 2004). Kljub konstantni heksagonalni obliki kristala, pa so le-ti, zaradi spreminjajočih se atmosferskih razmer, zelo različni. Zaradi te velike variabilnosti razmer v katerih snežni kristali nastajajo, lahko rečemo, da niti dva med seboj nista enaka (Slika 2.2).



Slika 2.2 Različne oblike snežink (vir: <http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals>)

V grobem jih lahko razdelimo na šestkrake zvezdice, t.i. dendrite (Slika 2.2), ploščice, iglice in stebriče. Kakšna bo oblika kristala, je odvisno od pogojev katerim je izpostavljen na poti do tal. Najpomembnejšo vlogo imata pri tem temperatura in stopnja nasičenosti zraka z vlago (Harbeke, URL: <http://www.uni-muenster.de/Physik/DP/Seminare/>, februar 2004). Oblika kristala je odvisna predvsem od temperature zraka, kristali so pri nižji vlažnosti zraka enostavnejši, pri višji pa bolj kompleksni (Slika 2.3).



Slika 2.3 Oblika kristala v odvisnosti od temperaturnih razmer in zračne vlažnosti (vir: <http://its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/primer/primer.htm>)

2.1.2. Umetni sneg

Za nastanek umetnega snega so potrebni voda, zrak, energija in temperature pod lediščem. Umetni sneg se lahko proizvaja z nizekotlačnimi ali visokotlačnimi topovi (Slika 2.4), pri čemer ni razlik v lastnostih samega snega.

Pri visokotlačnih topovih je mešanica vode in zraka pod pritiskom razpršena skozi eno samo šobo. Pri tem procesu se komprimiran zrak širi in adiabatno ohlaja. Pri dovolj nizki temperaturi razpršena voda zmrzne v majhne ledene kristale kroglaste oblike.

Za razliko od tega je pri nizekotlačnih topovih voda razpršena skozi veliko število šob v močan zračni tok, ki ga ustvarja ventilator. Tako fino razpršena zvrtničena voda hitro kristalizira v kroglaste strukture.

a



b



Slika 2.4 Primer visokotlačnega (a) in nizekotlačnega topa (b) (vir: www.technoalpin.com)

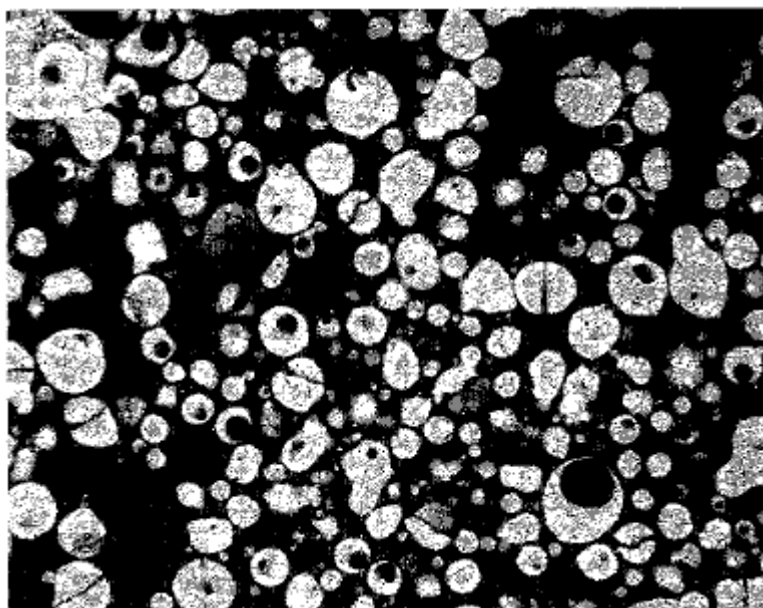
Pogoj za nastanek umetnega snega je nizka temperatura. Višja kot je relativna zračna vlažnost, nižja mora biti temperatura zraka v času izdelave snega (Newesely 1997). Ponavadi so potrebne temperature okrog -7°C , ob dodatku snovi za pospeševanje nukleacije snežnih kristalov pa se lahko izdelava umetnega snega odvija tudi pri temperaturah okrog -3°C (Rixen in sod. 2003). Za pospeševanje nukleacije snežnih kristalov se ponekod pri izdelavi umetnega snega uporabljajo številni kemični ali biološki dodatki znani pod različnimi tržnimi imeni, ki vsebujejo npr. mineralne delce, srebrov jodid (Kajfež Bogataj 1995), amonijev nitrat (NH_4NO_3), katerega efekt je utrjevanje snega za potrebe tekmovanj, ali neinfektivne fitopatogene bakterije (*Pseudomonas syringae*, redkeje *Erwinia herbicola* in *Xanthomonas campestris*), ki omogočajo nukleacijo umetnega snega pri višjih temperaturah zraka (Rixen in sod. 2003).

Poraba vode je pri napravah za dodatno zasneževanje velika. Za površino veliko približno 10 ha je potrebnih 15.000 do 20.000 m^3 vode. Voda za zasneževanje mora biti bakteriološko neoporečna, drugače lahko pride do onesnaženja talnih horizontov in preko tega talne vode. Kot so pokazale raziskave, lahko tudi voda očiščena klic z vnosom mineralnih snovi spremeni vrstno sestavo vegetacijskega pokrova in povzroči motnje v vsebnosti snovi v tleh (Newesely in sod. 2000).

2.2. LASTNOSTI NARAVNEGA IN UMETNEGA SNEGA

Atmosferske razmere in čas kako dolgo sneg obleži, igrajo ključno vlogo pri obliki snežnih kristalov, ki tvorijo snežno odejo na smučišču (Newesely 1997). Več snežnih kristalov gradi snežinke, ki zaradi gravitacije padejo na tla in se kopičijo v plasteh. Odvisno od oblike snežink in količine zračnega prostora, ki ostane med njimi, ko padajo ena na drugo, ima sneg različne lastnosti. Sneg ni strnjena masa, temveč je zmes snežnih kristalov, zraka in pri 0°C, vode.

Lastnosti umetnega snega so v mnogih pogledih drugačne od naravnega snega. V primerjavi z zvezdasto obliko kristalov naravnega snega, so kristali umetnega snega kroglaste oblike (Slika 2.5). Voda za zasneževanje je ponavadi vzeta iz rezervoarjev, rek, jezer ali zajetij in ima drugačno kemično sestavo kot padavinska voda.



Slika 2.5 Kristali umetnega snega (debelina rezine 0,03 mm, 2 mm x 2 mm); v nekaterih kristalih je vidna tekoča voda, nekateri pa so polomljeni zaradi delovanja tlaka med procesom zmrzovanja (vir: Rixen in sod. 2003).

2.2.1. Gostota snega

Teža snega na enoto volumna se razlikuje glede na delež zračnih por v snegu, pri čemer se lahko, kot razlaga Newesely (1997), teža zraka v porah zanemari. V bolj ali manj lahki sveži snežni odeji se kmalu začnejo procesi spreminjanja snega, ki jim rečemo metamorfoza snega. Začetna gostota novo zapadlega naravnega snega je med 50-200 kg/m³, odvisno od temperaturnih razmer med precipitacijo (Ward in Robinson 2000). Kristali novo zapadlega snega se v 2-4 tednih spremenijo v kroglicam podobne oblike, pri čemer gostota snega naraste na 250-400 kg/m³ (Cernusca in sod. 1990) oziroma celo do 600 kg/m³ (Ward in Robinson 2000). Kot razlaga Newesely (1997), je preobrazba naravnega snega odvisna od okoljskih dejavnikov, kot sta temperatura in zračna vlažnost. Razlog za to je v tem, da se molekule vode na krakih heksagonalne oblike kristala ločijo in se vežejo bližje središču kristala. Kristali snega tako izgubijo značilno razvejano obliko snežinke in postajajo kroglasti. Na ta način se skozi obdobje zime naravnemu neobdelanemu snegu večja gostota. Snežna odeja se najbolj zgosti pozno pozimi oziroma zgodaj spomladi, pri temperaturah zraka nad 0°C. Pri takšnih zunanjih pogojih se začne sneg na površini taliti, voda pronica globlje v snežno odejo in zapolnjuje zračne pore v snegu, zaradi česar se mu poveča gostota. Gostota naravnega neobdelanega snega je odvisna od teže samega snega oziroma od višine snežne odeje in lahko pri višini več kot 3 m doseže gostoto večjo od 600 kg/m³.

Pod vertikalnimi pritiski snega s teptalci se posamezne kristalne strukture zlomijo in stisnejo skupaj ter že v kratkem času, pri temperaturah pod 0°C, dosežejo gostoto 400-500 kg/m³. V primeru teptanja snega pri temperaturah nad 0°C, ko je razmočenost snega večja, se gostota zelo hitro dvigne tudi nad 600 kg/m³ (Newesely 1997).

Pri umetnem snegu, narejenem s pomočjo naprav za zasneževanje, je gostota že na začetku zasneževanja 350-400 kg/m³ (Cernusca in sod. 1990), kar je približno toliko kot je gostota teptanega naravnega snega. Posamezni ledeni kristali, ki nastanejo s pomočjo snežnih topov, imajo namreč kroglasto obliko in ne razvejane heksagonalne strukture. Razlog za to je čas, ki poteče od razpršitve vode iz snežnih topov do zmrznjenja teh kapljic, ki je v primerjavi z nastankom naravnega snega zelo kratek. Zaradi dodatnega prepariranja se

gostota kompaktnega snega proti koncu zimske sezone lahko poveča tudi na vrednosti med 520 in 640 kg/m³ (Cernusca in sod. 1990, Gadiant in sod. 2000). Stöckli in sod. (2002) navajajo podatek 523 g/l (= 523 kg/m³) v začetku marca oziroma za 33% večjo gostoto od naravnega neprepariranega snega.

Iz višine snega in njegove gostote je mogoče izračunati vsebnost vode v snegu. Stöckli in sodelavci (2002) so izračunali, da se s pomočjo umetnega zasneževanja dodatno vnese več kot 36 l vode na m² tal. Večja količina vode v snegu je eden od parametrov, ki določajo večjo gostoto snega.

2.2.2. Temperaturne lastnosti snega

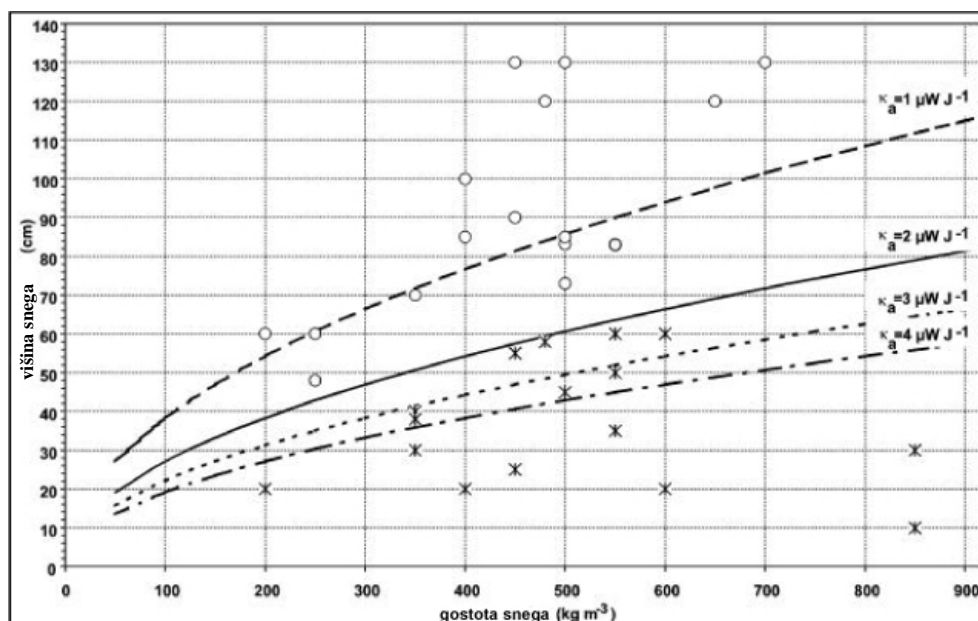
Svež, neobdelan sneg vsebuje 90 do 95% ujetega zraka, ki je zelo dober toplotni izolator. Temperatura snega na površini snežne odeje in tista bližje tlam sta različni. Temperatura na površini snežne odeje je predvsem odvisna od temperature zraka. Bolj kot je hladen okoliški zrak, hladnejše so zgornje plasti snega. Sneg bližje tlam pa je zaradi prej omenjene dobre toplotne izolirnosti toplejši, saj zadržuje toploto nakopičeno v tleh.

Dosedanje meritve so pokazale, da temperatura tal pod dovolj debelo snežno odejo redko pade pod 0°C, medtem ko so temperature tal, kjer ni snežnega pokrova, nižje (Cernusca in sod. 1990, Newesely 1997, Rixen in sod. 2001, 2003, Stöckli in sod. 2002,).

Temperature tal pod lediščem so v zimah brez snega, zaradi ponavljajočega zmrzovanja in odtajanja tal, nevarne za rastline. Toplotna prevodnost teptanega umetnega snega je 2,5 krat višja kot pri ne teptanem naravnem snegu, medtem ko je toplotna prevodnost teptanega naravnega snega le dvakrat višja kot pri ne teptanem naravnem snegu (Cernusca in sod. 1990; Gadiant in sod. 2000, Rixen in sod. 2003). Povedano drugače, zmrzal prodira pri zgoščenem (teptanem) snegu v tla hitreje in globlje, kot pri naravno obležanem snegu (Lichtenegger 1993). Ne glede na to, da je izguba toplote v primeru kompaktnega snega povečana, ima kompakten sneg v primerjavi s tlemi, ki so brez snega, ugodnejše temperaturne razmere. Predvsem je pojav zmrzovanja in ponovnega odtajanja komaj opazen. Negativna posledica kompaktnega snega in zakasnjene kopnenja pa je ta, da se

temperatura tal spomladi dalj časa obdrži pri 0°C , s čimer sta talna aktivnost in rast rastlin ovirani (Cernusca in sod. 1990).

Snežna odeja na smučiščih lahko torej vplive nizkih temperatur nekoliko omili. Boljšo termično izolacijo pri dodatno zasneženih površinah lahko dosežemo z debelejšo snežno odejo. Pri enaki debelini snega je naraven sneg boljši izolator. Na grafu (Slika 2.6) je prikazana odvisnost med zmrzovanjem tal in višino snežne odeje pri različnih gostotah snega (Newesely 1997, Newesely in sod. 2000).



Slika 2.6 Odvisnost zmrzovanja od višine snežne odeje pri različnih gostotah snega (Newesely in sod. 2000).

Zvezdice na grafu prikazujejo temperaturo tal pod snežno odejo hladnejšo od -1°C , krogci pa temperaturo tal le nekaj desetink pod 0°C ($-0,2^{\circ}\text{C}$). Na diagramu je jasno vidno, da izolinija, ki sovpada s toplotno prevodnostjo snega $2 \mu\text{W/J}$, predstavlja mejo med krogci in zvezdicami. To pomeni, da pod snežno odejo, katere toplotna prevodnost je večja od $2 \mu\text{W/J}$, prihaja do globokega zmrzovanja tal, pri toplotni prevodnosti pod to mejo pa je zmrzovanje tal manjše ali pa ga sploh ni. Četudi je ta način vrednotenja popolnoma empiričen, vrednosti kažejo neko tendenco. Tako lahko iz grafa razberemo, da so tla pod preparirano snežno odejo, katere gostota znaša 500 kg/m^3 , zaščiteni pred zmrzaljo komaj pri debelini snežne odeje nad 60 cm . Nasprotno so tla pod lahko in zračno plastjo

naravnega snega pred zmrzaljo zaščiteni že pri debelini snežne odeje 40 cm (Newesely 1997, Newesely in sod. 2000). Sneg na dodatno zasneženih smučiščih je v povprečju 5-30% kompaktnejši od naravnega prepariranega snega (Newesely in sod. 2000). Na potek temperatur v tleh ima torej gostota snega bistveno večji vpliv kot višina snega (Gadient in sod. 2000). Za doseganje ustrezne toplotno izolacijske funkcije mora biti torej snežna odeja na dodatno zasneženi progi višja. Raziskave, ki so jih izvedli Gadient in sodelavci (2000) so pokazale, da se pri dovolj visoki snežni odeji umetnega snega temperaturni poteki v tleh bistveno ne razlikujejo od tistih pod naravnim snegom. Še več, tla tudi pod kompaktnim snegom niso zmrznila.

2.2.3. Prepustnost za pline

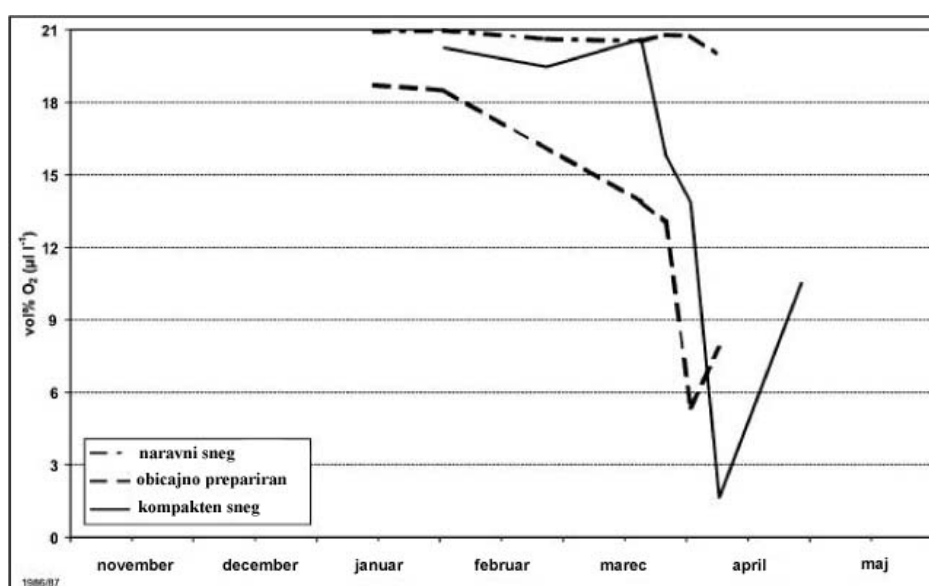
Snežna odeja omogoča difuzijo in izmenjavo plinov potrebnih za življenje rastlin, živali in mikroorganizmov v tleh. Če je izmenjava plinov med površino snega in snegom tik nad tlemi onemogočena, aktivni mikroorganizmi v tleh porabijo kisik (O_2) in proizvajajo ogljikov dioksid (CO_2) (Rixen in sod. 2003).

Kompakten sneg ima največkrat visoko vsebnost proste vode, ki zamaši zračne pore v snegu (Newesely in sod. 2000). To še posebej velja, če se zasneževanje odvija pri višjih temperaturah zraka. Posledica tega je povečana gostota snega. Pri nižji snežni odeji prepariranje razmočenega snega potisne vodo do površine tal. Rezultat tega je nastanek zelo vlažnih ali razmočenih plasti snega nad tlemi, ki pri padcu temperatur zmrznejo v ledene plasti (Newesely 1997). Kot posledica tega je prepustnost snega za pline močno zmanjšana, kar lahko vodi do »zadužitve« rastlin in zmanjšane prisotnosti plinov v tleh (Newesely in sod. 2000). Raziskave na prepariranih smučarskih progah so potrdile pomanjkanje kisika pod snegom zaradi zgoščanja snežne odeje in nastanka ledenih plasti nad tlemi (Newesely 1997).

Pod naravnim neobdelanim snegom (izven smučišč) do tega pojava nikdar ne pride (Newesely in sod. 2000). Posledica primanjkljaja kisika in porasta ogljikovega dioksida so neobičajni načini izmenjave snovi, ki lahko povzročijo nastanek nekaterih toksičnih produktov. Občutljivost rastlin na te produkte je vrstno specifična. Pomanjkanje kisika

lahko privede tudi do pojava snežnih plesni. Naraščajoči anaerobni pogoji v tleh pa vodijo do propada rastlin oziroma gnitja (Cernusca in sod. 1990).

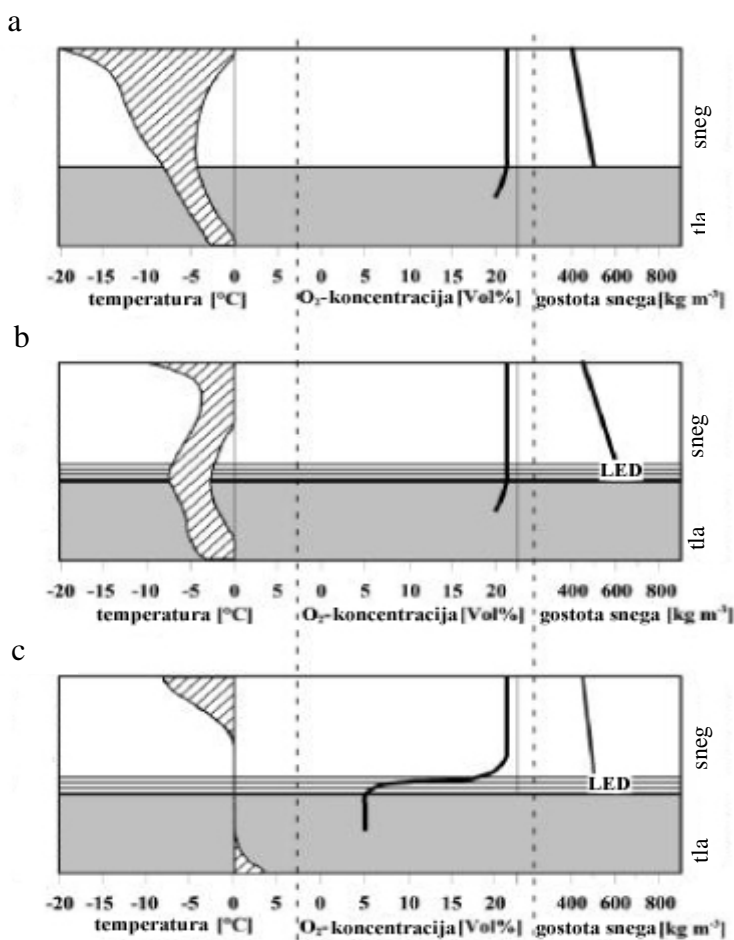
Koncentracije kisika in ogljikovega dioksida pod snežno odejo so bile preko več let spremljane v različnih smučarskih središčih. Pridobljeni rezultati so strnjeni v grafu (Slika 2.7), ki prikazuje potek koncentracije kisika v tleh pod različno prepariranimi smučišči v primerjavi z okoliškim območjem, kjer je sneg povsem naraven in neobdelan. Rezultati so predstavljeni na primeru smučarskega središča Seefeld med letoma 1986/87 (Newesely 1997, Newesely in sod. 2000).



Slika 2.7 Potek koncentracije kisika v tleh pod različno prepariranimi smučišči v primerjavi z okoliškim območjem, kjer je sneg povsem naraven in neobdelan v smučarskem središču Seefeld med letoma 1986/87 (Newesely in sod. 2000)

Pod povsem naravnim in neobdelanim snegom izven smučarskih prog nikdar ne pride do pomanjkanja kisika (Slika 2.7). Pod veliko voženimi smučarskimi progami se lahko konec marca pojavi močnejša redukcija koncentracije kisika in hkrati s tem povišanje koncentracije ogljikovega dioksida. Pri tem je opaziti, da je primanjkljaj v kisiku pri dodatno zasneženih progah časovno premaknjen še v mesec april. Ta premik primanjkljaja kisika v pomlad je neposredna posledica daljšega obležanja snega zaradi višje snežne odeje (Newesely in sod. 2000).

Na primanjkljaj kisika vplivata neposredno temperatura snežnega pokrova in tal ter sestava snežne odeje, kot tudi njene spremembe nastale zaradi prepariranja snega. Minimalne in maksimalne temperature snežne odeje in tal, potek koncentracije kisika od površine snežne odeje pa do zgornje 5 cm plasti tal, kot tudi gostota snega in morebitna tvorba ledu so različni v karakterističnih časovnih periodah (Slika 2.8: višek zimske sezone (a), pozna zima (b) in obdobje taljenja snega (c)).



Slika 2.8 Primanjkljaja kisika pod preparirano smučarsko progo v karakterističnih časovnih periodah: višek zimske sezone (a), pozna zima (b) in obdobje taljenja snega (c) (Newesely in sod. 2000).

V obdobju viška zimske sezone (Slika 2.8a) je interval nihanja temperature z globino največji. V toplih dneh lahko temperatura na površini snežne odeje doseže točko zmrzišča, v nočnem času in v hladnih dneh pa temperatura površine snežne odeje pogosto pade pod -10°C . Z globino temperatura narašča. Kljub temu pa so tla na globini 1 cm največkrat zmrznjena. V tej periodi je struktura snega drobljiva. Med posameznimi snežnimi kristali

se nahajajo votlinice napolnjene z zrakom, ki omogočajo dobro prepustnost snežne odeje za zrak. Zato je gostota snega na površini snežne odeje relativno nizka in sicer približno 400 kg/m^3 , do površine tal pa naraste do približno 500 kg/m^3 (Newesely in sod. 2000).

S pričetkom spomladanskih otoplitev (Slika 2.8b), največkrat od sredine februarja do sredine marca, se zaradi višjih temperatur površina snežne odeje začne segrevati. Vendar pa količina toplote ni zadostna, da bi segrela tudi nižje ležeče plasti snega. Istočasno se od plitkih proti globljim plastem segrevajo tudi tla, pri čemer pa površina tal ostane še vedno zmrznjena. Povišane temperature povzročajo taljenje zgornjih plasti snega, zaradi česar se med snegom pojavi določen delež proste vode. Pod normalnimi pogoji ta voda le v majhnih količinah pronica v globlje plasti snežne odeje in večinoma ostaja ujeta v zgornjih plasteh, kjer ponoči ponavadi spet zmrzne. V primeru prepariranih smučarskih prog pa ima ta razmočenost snega s prosto vodo, ki se ujame med ledene kristale, drugačne vplive, saj voda v tem primeru deluje kot mazivo. Med prepariranjem takšne smučarske proge zdrsijo ledeni kristali tesno eden ob drugega, tako da se zračne pore stisnejo oziroma jih ni več. Gostota snega tako naraste nad 600 kg/m^3 . Voda, ki je prej zapolnjevala pore pa se iztisne v nižje plasti snežne odeje. S ponavljajočim prepariranjem se voda potiska vedno globlje in končno doseže še hladne plasti snega nad površino tal. Glede na to, da je zgornja plast tal še vedno zmrznjena, voda ne more pronicati vanjo, zato zastaja in se nabira v porah najnižjih plasti snežne odeje. Zaradi nizkih temperatur nad površino tal prosta voda skupaj s snegom zmrzne v kompaktno ledeno plast, ki je za pline skoraj neprepustna (Newesely in sod. 2000).

V obdobju taljenja snega (Slika 2.8c) je temperatura preko celega preseka snežne odeje približno 0°C . Le v najbolj zgornjih plasteh je opaziti nihanje temperature preko dneva. Čez dan temperature dosegajo vrednosti blizu točke zmrzišča, ponoči in v mrzlih dneh pa se lahko temperatura površine snega spusti tudi do -10°C . Tudi v tleh so temperature tako narasle, da tla ponekod niso več zmrznjena, medtem ko je na površini tal še vedno zaledenela plast, ki je zelo kompaktna. Snežna odeja je zaradi taljenja močno navlažena, voda pa se nabira in odteka po še vedno zaledeneli plasti na površini tal. Z naraščanjem temperature tal se povečuje izmenjava snovi pri talnih organizmih, zaradi česar se razpoložljiv kisik v tleh kmalu porabi. Kompaktna zaledenela plast na površini tal

onemogoča izmenjavo plinov z atmosfero, zato je porabljen kisik v tleh komaj mogoče nadomestiti. Izmerjene koncentracije kisika v tem obdobju so bile pod 5 %_{vol.} Pri dodatno zasneženih progah traja, zaradi zakasnele okopnitve, primanjkljaj kisika dalje in se lahko premakne v pozno pomlad (Newesely in sod. 2000). Opisana shema pojava primanjkljaja kisika velja tako za prepariran umetni sneg kot za prepariran naraven sneg (Newesely in sod. 1994).

Dolgoletne raziskave so potekale tudi na smučiščih katerih tla so bila v poletnih mesecih izravnana s strojno mehanizacijo. Pri tem se je pokazalo, da na teh površinah ni prišlo do nevarnega pomanjkanja kisika kljub temu, da je tla prekrivala kompaktna ledena plast. To je mogoče razložiti na ta način, da razpoložljiv kisik v tleh ni bil porabljen, ker so zaradi izravnave terena bili talni organizmi poškodovani (Newesely in sod. 2000).

Primanjkljaj kisika je v območju dodatno zasneženih prog posledica naslednjih dejavnikov:

- premočno prepariranega snega,
- zakasnele okopnitve,
- intenzivnega smučanja in prepariranja močno namočenega snega v zgodnjem pomladanskem času,
- prevelike vsebnosti proste vode v na novo proizvedenem kompaktnem snegu (Newesely in sod. 2000).

2.2.4. Vsebnost proste vode

V času taljenja snega se snežna odeja tanjša, temperatura tal in s tem povezana biološka aktivnost v tleh pa se povečujeta. Aktivirajo se procesi, katerih produkti so toplogredni plini ogljikov dioksid in metan, rastline se pripravljajo na rastno sezono in aktivna plast tal se začne taliti (Bruland in sod. 2001).

Pomemben parameter, značilen za sneg, je vlažnost oziroma vsebnost »proste vode«, katere količina se tekom zimske sezone spreminja. Vodo v tekočem agregatnem stanju je v snegu mogoče najti le pri 0°C. Spomladi temperature zraka ponavadi zelo hitro rastejo.

Visoke temperature vodijo do masivnega taljenja snežne odeje, ki je na smučišču ostala zaradi časovne zakasnitve okopnitve (Newesely 1997).

Na dodatno zasneženih progah je v obdobju taljenja v snegu vezane tudi do 500 l/m² več vode kot v naravnem neprepariranem snegu. Zamik obdobja taljenja v pozno, in s tem tudi toplejšo, pomlad pogojuje pospešeno okopnitev in večje količine sproščene proste vode oziroma snežnice (Newesely in sod. 2000). To pomeni da se v kratkem časovnem obdobju taljenja sprosti neobičajno velika količina vode, ki drsi v dolino. Newesely (1997) je ugotovil, da lahko količine staljene vode, v zgodnji pomladi (temperature od 5 do 10°C), dosežejo povprečne dnevne vrednosti od 50 do 128 l/m². Takšne količine snežnice so posledica zakasnjene periode kopnenja umetnega snega v primerjavi z naravnim snegom. To pa po njegovem prepričanju ne pomeni, da se umetni sneg tali počasneje ali hitreje od naravnega snega, temveč da je vzrok temu le večja količina umetnega snega napram naravnemu na nekem območju. Raziskave so pokazale, da pri okopnitvi premaknjeni v pomladansko obdobje, količina snežnice na m² in časovno enoto raste eksponentno (Newesely in sod. 2000).

Na območju zasneževanja prihaja do očitnega porasta celokupne količine snežnice, ki iz zasneženih prog odteka z nekoliko zamude. Proces okopnitve in s tem odtekanja snežnice pa je od 5 do 14 dni daljši (Newesely in sod. 2000), po nekaterih virih je okopnitev zakasnjena tudi do 4 tedne (Gadiant in sod. 2000).

V povprečju je lahko dnevna količina snežnice zaradi kasnejše okopnitve na dodatno zasneženih progah višja kot pri nezasneženih progah (Newesely in sod. 2000).

Navedena dejstva imajo različne potencialne učinke na okolje. Zaradi neugodnih razmer v tleh in slabe vegetacijske pokrovnosti je ogroženost zaradi nastanka erozije večja. Zato bi moral biti, kot trdijo Newesely in sod. (2000), predpogoj za dodatno zasneževanje vsaj 80% vegetacijska pokrovnost terena in zagotovljena dovolj gosta prepletenost tal s koreninami. Poleg tega prihaja pri tleh s porušenim ali motenim vodnim režimom do dodatnih hidroloških obremenitev, kot npr. zamočvirjanje v območju smučišča. Zato je pomembno, da je na smučišču urejeno odvodnjavanje odvečne vode preko v ta namen izgrajenih sistemov (Newesely in sod. 2000).

2.3. VPLIVI NA RASTLINE

Iz raziskav na rastlinstvu smučišč je razvidno, da z naraščanjem nadmorske višine prevladujejo s hranili revnejša, hladnejša in svetlejša ratišča ter boljša prezračenos tal. Rastlinska produkcija z naraščanjem nadmorske višine pada, medtem ko vegetacija kaže tendenco k večji vrstni raznolikosti (Stöckli in sod. 2002).

Wipf in sodelavci (2002, 2005) so potrdili, da uporaba pobočij v namene smučanja spreminja rastlinsko sestavo. Ugotovitve na smučiščih z umetnim in naravnim snegom kažejo, da so vplivi na rastline odvisni od lastnosti snega. Na dodatno zasneženih progah so pogostejše rastlinske vrste s kratko vegetacijsko periodo (t.i. snowbed species, Körner 2003), ki rastejo na rastiščih z debelo snežno odejo in kratko periodo brez snega, medtem ko so na progah z naravnim snegom pogostejše rastlinske vrste (t.i. wind edge species, Körner 2003), ki rastejo na rastiščih z malo snega, ki obleži kratek čas, in izjemno nizkimi temperaturami (Wipf in sod. 2002, 2005, Stöckli in sod. 2002). Spremembe v vrstni sestavi so tem večje, čim daljše obdobje se je smučišče zasneževalo.

2.3.1. Mehanske poškodbe

Kot navajajo Rixen in sodelavci (2003) je debelejša snežna odeja prednost za rastline na smučiščih, saj so tako boljše zaščitene pred mehanskimi poškodbami. Smučanje in teptanje snega namreč velikokrat povzročata mehanske poškodbe rastlin in tal (Cernusca in sod. 1990, Rixen in sod. 2004), kar zmanjša odstotek pokrovnosti rastlin in s tem poveča možnost za erozijo (Wipf in sod. 2004).

Lesne rastlinske vrste, katerih občutljiva tkiva so z umetnim snegom pozimi dobro zaščitena pred mehanskimi poškodbami, so na umetno zasneženih progah pogostejše kot na naravno zasneženih progah in kontrolnih ploskvah ob robu smučišča. Razlog za to je debelejša snežna odeja, ki blaži mehanske vplive robnikov smuči in strojev za teptanje snega (Rixen in sod. 2003). Podoben vpliv opisujejo tudi Newesely in sodelavci (2000) na vegetacijo snežnih kotanj (npr. *Rhododendron*, ki potrebuje zaščito snega).

Vpliv umetnega snega na diverzitetu rastlin je nejasen. Kot razlagajo Wipf in sodelavci (2005), ima umetni sneg na strojno izravnanih progah negativen vpliv na število vrst in Shannon-ov index, medtem ko je vpliv na neizravnanih progah ravno obraten. V splošnem je številčnost rastlinskih vrst na območju smučarskih prog manjša kot izven njih (Pignatti 1993; Wipf in sod. 2005) in sicer v povprečju za štiri rastlinske vrste (Rixen in sod. 2003). Na smučarskih progah, ki so še strojno izravnane, pa je lahko številčnost rastlinskih vrst v povprečju manjša za šest vrst. To število lahko glede na rastlinsko združbo variira (Rixen in sod. 2003). V primerih strojno izravnanih smučarskih prog je vrstna raznolikost nizka kljub revegetaciji s pomočjo semen (Wipf in sod. 2005).

Pogostnost oziroma pokrovnost trav sta na smučiščih, ki so zasneževana, manjši. Lesnih vrst je tako po pokrovnosti kot tudi po številu vrst na smučiščih manj, njihova pokrovnost pa se spet poveča na dodatno zasneženih smučiščih. Vzrok je najbrž v visoki snežni odeji, ki lesne vrste ščiti pred mehanskimi poškodbami. Zelnate rastline, predvsem stročnice, so na dodatno zasneženih in strojno izravnanih smučiščih vrstno številčnejše in imajo večjo pokrovnost kot na kontrolnih ploskvah (Stöckli in sod. 2002, Wipf in sod. 2005). Prisotnost stročnice je lahko, zaradi zmožnosti fiksacije dušika, tudi eden od vzrokov za povišane koncentracije nutrientov na območju smučišč (Wipf in sod. 2005).

Vpliv snežne odeje na produktivnost rastlin (biomasa) je odvisen predvsem od klimatskih razmer in ne od namembnosti smučišč in zasneževanja. Povečana količina snega znižuje produktivnost rastlin v vlažnih klimatskih razmerah, medtem ko je v suhih področjih za rastline bolj limitirajoč dejavnik pomanjkanje vode kot povečana količina snega in s tem zakasnjena vegetacijska perioda. Zato je produktivnost rastlin zaradi večje količine snega velikokrat povišana. Izjema so spet strojno izravnane smučarske proge, na katerih je produktivnost rastlin skoraj do štirikrat manjša (Rixen in sod. 2003).

2.3.2. Temperaturne razmere tal

Umetni sneg vsebuje bistveno manjše število zračnih por od naravnega snega (Newesely in sod. 2000), zato je pri enaki debelini snežne odeje, njegova izolacijska sposobnost manjša, kot pri naravnem snegu. Posledica tanke snežne odeje ali slabe izolacijske sposobnosti je, da prodre zmrzal globoko v tla, kar direktno vpliva na rastline.

Rixen in sodelavci (2004) so primerjali temperature v tleh pod naravnim in umetnim snegom na območju smučišč. Ugotovili so, da so bile najnižje temperature tal na smučarskih progah z naravnim snegom (povprečna temperatura je znašala -2°C) medtem ko so tla pod umetnim snegom in izven smučarske proge občasno tudi zmrznila, vendar zmrzal ni bila tako huda (povprečna temperatura je znašala $-0,7^{\circ}\text{C}$) in dolgotrajna.

Nizke temperature delujejo na rastline na dva načina. Pri direktnem vplivu prihaja zaradi podhladitve rastline do denaturacije proteinov, porušitve metabolnega ravnovesja zaradi vpliva nizkih temperatur na delovanje encimov in do faznih sprememb na membranah. Ena od oblik direktnega vpliva nizkih temperatur na rastline, ki se kažejo kot metabolno neravnovesje, je tudi fotoinhibicija. Drug način delovanja nizkih temperatur, ki povzroča na rastlinah poškodbe je indirektno, pri čemer prihaja do zmrzovanja vode v rastlinah (Hawkesford in Buchner 2001).

O zmrzali rastlin in njihovih delov lahko govorimo, ko se rastline ne morejo izogniti nukleaciji oziroma ne morejo preprečiti nastanka ledu (McKersie in Leshem 1994). Nekateri poskusi so pokazali, da tako plazemska membrana kot tudi celična stena vplivata na potek zmrzovanja v rastlinski celici (Yamada in sod. 2002).

Ko se temperatura tal spusti pod ledišče vode, se tvorba ledu v rastlinskih tkivih prične najprej na mestih z najnižjim osmotskim potencialom. Za začetek nukleacije so potrebna točno določena mesta specifične velikosti in oblike, ki omogočajo orientacijo vodnih molekul v kristalno strukturo ledu. Ta mesta se ponavadi nahajajo na celični steni. Po iniciaciji poteka nadaljnji proces nastanka ledu kar na sami površini ledenega kristala. V

primeru odsotnosti teh mest se lahko voda ohladi na nekaj stopinj pod lediščem, ne da bi pri tem nastali ledeni kristali (McKersie in Leshem 1994).

Led se ponavadi tvori najprej v velikih ksilemskih žilah listov in stebel, v substomatalnih prostorih in intercelularnih prostorih. Ko je led enkrat formiran se širi po žili in v ekstracelularne prostore drugih tkiv. Ledeni kristali ne morejo prodreti skozi intaktno plazemsko membrano v citoplazmo, zato kristal raste na račun vode iz celične stene. Zaradi nastajanja ledu postaja ekstracelularna tekočina bolj koncentrirana, kar povzroča nastanek gradienta v kemičnem potencialu med intracelularno in ekstracelularno raztopino. V takih razmerah voda odteka iz celice, dokler se ne vzpostavi ravnovesje. Zato bo citoplazma dehidrirala. Proces zmrzovanja za seboj potegne nekatere fiziološke posledice. Ledeni kristali se bodo razširili v ekstracelularni prostor in če le-ta nima sposobnosti se prilagoditi oziroma sprejeti večino količine tkivne tekočine, bo tkivo nabreklo, pri čemer se bodo intercelularne povezave prekinile. Poleg tega se bo citoplazma posušila in celice bodo propadle (McKersie in Leshem 1994).

Celična dehidracija, do katere pride zaradi zmrzovanja, je najbolj razširjen vzrok za nastale poškodbe na rastlinah. Rastline, ki so prilagojene na mraz, so večinoma močno tolerantne tudi na dehidracijo in obratno (Hawkesford in Buchner 2001). Poleg dehidracije so lahko vzroki za poškodbe tudi drugi. Npr. celice, ki se močno podhladijo lahko odmrejo, če presežejo sposobnost podhladitve. Drugi mehanizmi, ki povzročajo poškodbe so še: velike mase ledu, ki prizadenejo strukturo tkiv in organov, embolija ksilemskih prevajalnih elementov, bolezni, ki nastanejo zaradi vstopa njihovega povzročitelja skozi poškodovano mesto ter prevlečenost z ledom, ki povzroči hipoksičen stres (Pearce 2001).

Zaščita celične membrane je najboljši mehanizem obrambe pred zmrzaljo in tudi celično dehidracijo (Pearce 2001). Rastline jo dosegajo s spremembo lipidne sestave membrane in z akumulacijo različnih substanc v okoliškem citosolu. Med procesom prilagajanja rastline na mraz, se začnejo kopičiti raztopine, ki vsebujejo sladkorje, prolin in betain. Dodatno se kopičijo še močno hidrofilni temperaturno stabilni proteini, predvsem skupina 2 LEA proteini, imenovani tudi dehidrini. Pospešeno se pričnejo sintetizirati po indukciji določenih genov, kar je posledica odgovora na mraz pri rastlinah, ki so nanj prilagojene

(Hawkesford in Buchner 2001). Domneva se, da raztopine in dehidrini stabilizirajo membrano preko direktne interakcije z membransko površino ali pa indirektno z močno interakcijo z okoliško vodo (Pearce 2001). Dehidrini nastajajo tudi kot odgovor na dehidracijo rastline (Hawkesford in Buchner 2001).

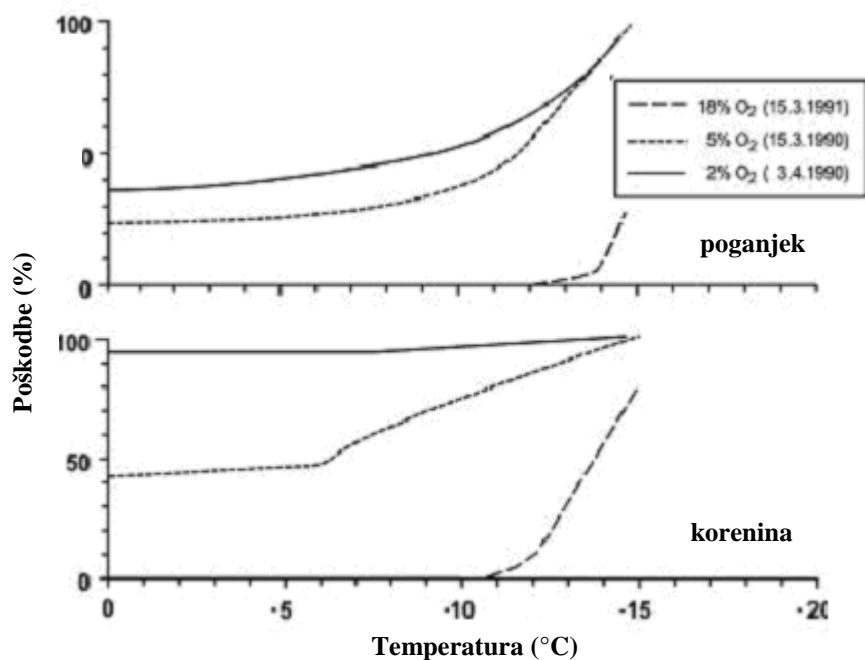
2.3.2.1. Zmrzovanje in odtajanje

Za talne organizme je velikega pomena kako globoko v tla seže pozimi zmrzovanje. Kot razlaga Newesely (1997) so raziskave pokazale, da je globina do katere seže zmrzal primarno odvisna od nastanka snega, vendar imajo tudi pedološke značilnosti tal pri tem pomembno vlogo. Tla z veliko vsebnostjo nasutega materiala (gramoz, drobljenec) vsebujejo veliko praznih prostorčkov (votlinic), ki ne skladiščijo vode. Takšna tla kažejo na nižje temperaturne poteke. Voda ima namreč relativno visoko toplotno kapaciteto, zato je temperatura razmočenih tal višja.

V obdobju odtajanja in ponovnega zmrzovanja, ki se ponavadi odvija spomladi, prihaja zaradi slednjega do raztezanja vode, kar povzroči, premike v tleh. Ti premiki po eni strani rahljajo tla, po drugi strani pa se na korenine rastlin izvaja močan mehanski pritisk, ki trga korenine. Ti vplivi so vidni tako na smučarskih progah z naravnim, kot z umetnim snegom. Poškodovane korenine in zrahljana tla omogočajo nastanek erozije, ki je v času taljenja snega zaradi velikih količin snežnice, ki drsi po pobočju, še posebej močna. Ta problem je pri dodatno zasneženih progah, zaradi večje količine snežnice, večji (Newesely 1997).

2.3.3. Koncentracije plinov

Fitofiziološke raziskave so pokazale, da obstaja neposredna odvisnost med primanjkljajem kisika in občutljivostjo na mraz. Newesely (1997) je ugotovil, da je večja občutljivost na zmrzal sorazmerna s stopnjo primanjkljaja kisika. To je bilo posebej razločno opaziti pri vrsti *Trifolium repens*. Primanjkljaj kisika je v kombinaciji z nizkimi temperaturami vodil do poškodb korenin in poganjkov.



Slika 2.9 Poškodbe pri vrsti *Trifolium repens* zaradi primanjkljaja kisika v kombinaciji z nizkimi temperaturami (Newesely in sod. 2000).

Kot je prikazano na sliki (Slika 2.9), so korenine vrste *Trifolium repens* pri koncentraciji kisika 2%_{vol} že pri temperaturi 0°C bile izpostavljene 98% stopnji poškodb. V nasprotju s tem pa te rastline, ko ni bilo primanjkljaja kisika, niso kazale znakov poškodb (niti na poganjkih niti na koreninah), tudi če je temperatura tal dosegla -10°C. Primanjkljaj kisika v kombinaciji z nizkimi temperaturami lahko vodi spomladi do drastičnega zmanjšanja v številčnosti pojavljanja primerkov rastlinske vrste. Šele v poletnem obdobju si lahko takšna populacija opomore na račun klitja semen, katerih odpornost je bistveno višja. Na osnovi takšnih raziskav je mogoče povzeti, da prihaja do poškodb vegetacijskega pokrova zaradi primanjkljaja kisika in (iz tega izhajajoče posledice) pojava »zadužitve« in ne zaradi nizkih temperatur (Newesely in sod. 2000).

2.3.3.1. Hipoksija in anoksija

Hipoksija se največkrat pojavlja pri kratkotrajnem povečanju količine vode v tleh, ko so korenine v vodi, poganjek pa je v zraku. O podobnih pogojih lahko govorimo tudi v času taljenja snega. Popolna odsotnost kisika, imenovana anoksija, pa se na smučišču lahko pojavi, ko je rastlina popolnoma obdana z ledom. Posledica tega je, da se v tleh kopičijo bolj reducirajoče in fitotoksične oblike mineralnih ionov, kot npr. nitrit (namesto nitrat). Rastlinskih vrst, ki so adaptirane na rast v takšnih tleh je malo.

Pri tleh nasičenih z vodo je izmenjava plinov med tlemi in atmosfero onemogočena. Voda, ki se zadržuje v tleh sicer vsebuje kisik, ki pa ga, odvisno od temperature in stopnje respiracije, zmanjka že po nekaj urah. Zaradi tega se rastline najprej soočijo s hipoksijo in šele nato z anoksijo (McKersie in Leshem 1994).

Pomanjkanje kisika izzove dva glavna odgovora rastlin. Kot odgovor na rahel upad notranje koncentracije kisika pride do sinteze etilena. Etilen je iniciator in regulator mnogih adaptacijskih procesov, ki omogočajo rastlini preživetje anareobnih razmer na račun povečanja razpoložljivosti kisika za korenine. Drugi učinek pomanjkanja kisika se pojavi, ker kisik služi kot končni sprejemnik elektronov pri mitohondrijskem transportu elektronov. Pomanjkljaj kisika blokira aerobno respiracijo in ATP sintezo v mitohondriju. V primeru odsotnosti sprejemnika elektronov je oksidacija NADH blokirana. Ko se mitohondrijska respiracija ustavi, začne adenilatni vir energije ($ATP \rightarrow ADP \rightarrow AMP$) upadati. Dodaten vir ATP energije je rastlini dostopen preko procesa simulacije glikolize, imenovan Pasterjev efekt. Kakorkoli, glikoliza je v primerjavi z mitohondrijsko sintezo energije relativno neučinkovita. Poleg tega se kot končni produkt izloča velika količina piruvata, ki ga mora rastlina preoblikovati v alternativne produkte, da lahko reciklira NADH v NAD. Ti končni produkti glikolize, kot so etanol, mlečna kislina in ogljikov dioksid, so za rastline dodatna nevarnost, saj so v visokih koncentracijah fitotoksični (McKersie in Leshem 1994).

Rastline se različno odzivajo na povečane količine vode v tleh in to brez dvoma vpliva na njihovo ekološko porazdelitev. Preživetje jim omogočata dve strategiji in sicer toleranca na anoksijo in izogibanje anoksiji. Toleranca na anoksijo je metabolna adaptacija in je zelo različna znotraj iste vrste, med rastlinami različnih vrst in med tkivi. Na primer, korenine in rizomi določenih vrst rastlin, adaptiranih na mokra tla (kot npr. *Iris pseudacorus*), so sposobni preživeti anoksične razmere, kjer je prisoten dušik po več mesecev, medtem ko so druge rastline v takih razmerah sposobne preživeti nekaj ur ali celo manj. Strategija izogibanja anoksiji pa zahteva razvoj mehanizmov za transport kisika do korenin po internih poteh. Prilagoditveni mehanizmi teh rastlin vključujejo razvoj internih plinskih kanalov, imenovanih aerenhim, ki omogočajo prenos kisika iz aerobnih vršičkov v anaerobne korenine. Rastline, ki so privzele ta mehanizem imajo prilagojen vzorec rasti in niso nujno tolerantne na znižane koncentracije kisika v atmosferi (McKersie in Leshem 1994).

2.3.4. Vnos hranil in drugih snovi v tla in rastline

2.3.4.1. Vnos hranil

Voda, ki se uporablja pri umetnem zasneževanju, se največkrat črpa iz potokov, rek, jezer (naravnih ali umetnih akumulacij) ali talnih vodnih virov in je obogatena z minerali, vključno ioni, ki so pomembni za rast rastlin. Vse te snovi delujejo na rastline kot nutrienti (Newesely in sod. 2000). Kemijske analize snežnice so pokazale, da ima umetni sneg v povprečju štirikrat večjo prevodnost kot naraven sneg, kar gre pripisati visoki vsebnosti ionov. Sulfat, kalcij, klorid in natrij se v umetnem snegu nahajajo v značilno višjih koncentracijah kot v naravnem snegu, medtem ko so v naravnem snegu večje koncentracije amoniaka, kar je lahko posledica spiranja atmosfere s snežnimi padavinami (Stöckli in sod. 2002). Pri pripravljanju smučišč za tekmovalne namene pa se pogosto srečamo tudi z dejstvom, da se za potrebe utrditve umetnega snega dodajajo snovi kot npr. urea, gnojilo NPK in PTX. Redna letna uporaba NPK je na nekaterih rastiščih imela za posledico popolnoma spremenjeno vrstno sestavo in povečanje biomase za sedem-krat. (Lüdi 1936, citirano po Körner 2003). Wipf in sod. (2005) ugotavljajo, da rastlinska produkcija na dodatno zasneženih progah ni nič višja kot na progah z naravnim snegom. Na dodatno zasneženih progah, ki so bile v poletnih mesecih tudi strojno izravnane je vsebnost

nutrientov še višja, vendar je v teh primerih kljub razpoložljivosti nutrientov, rastlinska produkcija nizka zaradi mehanskih dejavnikov.

Vnos hranil v tla lahko ima pri določenih vrstah rastlin za rezultat pospešeno rast (*Trisetum flavescens*) ali zaviranje rasti (*Trifolium repens*, *Thymus serpyllum*). Pri vrsti *Trifolium repens* bi razlog za to lahko iskali v simbiozi te rastline z bakterijami, ki fiksirajo dušik, medtem ko je treba razlog za zaviranje rasti pri vrsti *Thymus serpyllum* iskati drugje. Kot razlagajo Rixen in sodelavci (2003) vzrok za zavirto rast ne more biti previsoka koncentracija dušika, saj je bila v eksperimentu pod toksično mejo.

Nekatere druge raziskave pa so pokazale, da indikatorske rastline za visoko vsebnost nutrientov v tleh favorizirajo smučišča z naravnim snegom in ne tista z umetnim, kljub temu, da umetni sneg vsebuje več nutrientov. Knight (1979 citirano po Wipf in sod. 2002) razlaga, da je to posledica spiranja nutrientov na račun večje količine snežnice oziroma, da je stopnja spiranja nutrientov večja od samega vnosa nutrientov. Poleg tega so dosedanje raziskave pokazale, da cikli kontinuiranega zmrzovanja in odtajanja, ki so pri naravnem snegu pogostejši kot pri umetnem, vodijo do sproščanja amonija, kar je posledica dekompozicije mikrobnih celic v tleh (Wipf in sod. 2002) in je s tem vir nutrientov.

Z vnosom nutrientov se spreminja tudi vrstna sestava rastlinske združbe. Razširjanje ene vrste rastline pomeni omejevanje druge vrste (Körner 2003). Najbolj se vrstna sestava spreminja na rastiščih z nizko vsebnostjo nutrientov. Kot so pokazali eksperimenti, so vzporedno z vnašanjem nutrientov v tla, rastline tolerantne na suha in revna rastišča zamenjale rastline z večjo potrebo po nutrientih. Ta trend na rastiščih bogatejših z nutrienti ni bil opažen v večji meri. Polegla alpska azaleja (*Loiseleuria procumbens*), ki raste na gorskih robov in rebrih je zelo občutljiva na prisotnost snežnega pokrova in gnojenje (hranljive snovi v umetnem snegu). Njene sestoje počasi izpodriva borovničevje in brusnice. Poleg tega je bilo ugotovljeno, da vodi zasneževanje do zmanjšanja prisotnosti lišajev (Newesely in sod. 2000).

V primeru gojenih travnikov rezultati raziskav niso pokazali večjih vplivov umetnega zasneževanja, saj so ti travniki v prvi vrsti oblikovani s pomočjo gnojenja. Vplivi se

pokažejo le v primeru bistveno daljšega obležanja snežne odeje oziroma močno zakasnele okopnitve. Za razliko od gojenih travnikov so raziskave na suhih pašnikih pokazale dramatični upad vrstne raznolikosti za 30%. Vzrok za to je bila v tem primeru zakasnela okopnitev, kar je pomenilo zaostanek v razvoju rastlin do prve košnje. Določene vrste do prve košnje namreč niso dosegle stopnje plodenja pomembne za pojavljanje vrste v naslednjem letu. Opaziti je bilo tudi, da vegetacija suhih pašnikov vedno bolj postaja podobna rastlinskim združbam gojenih travnikov (Newesely in sod. 2000).

Eksperimenti so pokazali tudi spremembe v pH vrednostih tal (Stöckli in sod. 2002), ki so bile na umetno zasneženih smučiščih višje kot na kontrolnih ploskvah. Vzrok temu je bila voda, potrebna za izdelavo umetnega snega, odvzeta iz reke, (Rixen in sod. 2003), ki ima visoko vsebnost ionov.

2.3.4.2. Vnos dodatkov za nukleacijo snega

Dodatki za nukleacijo snega vodi za zasneževanje omogočajo produkcijo snega že pri približno -3°C ali višje, medtem ko je nukleacija brez dodatkov možna šele pri temperaturah nižjih od -7°C . V te namene se uporablja mineralne delce, srebrov jodid (Kajfež Bogataj 1995) in neinfektivne fitopatogene bakterije. Največkrat uporabljena je neinfektivna fitopatogena bakterija *Pseudomonas syringae* (http://slovenski.cipra.org/texte_s/publikationen/info_48/CI48_snowmax.htm), redkeje pa *Erwinia herbicola* in *Xanthomonas campestris* (Rixen in sod. 2003).

Vnos dodatkov za nukleacijo snega lahko vpliva na ekosistem na različne načine. Fitopatogeni efekti na rastline so lahko posledica preživelih bakterij po sterilizaciji ali če so toksini mrtvih bakterij še vedno aktivni. Poskusi z živo *Pseudomonas syringae* (31A) na 53 nealpinskih rastlinskih vrstah so pokazali pojav kloroze pri 3 vrstah od 53. Izločiti ne moremo niti učinka na vretenčarje, saj so imele podgane, ki so vdihovale aerosole dodatkov za nukleacijo v katerih je bil prisoten *Pseudomonas syringae*, zatečene bezgavke. Prisotnost *Pseudomonas syringae* na površini listov lahko, zaradi znižanja temperaturnega praga zmrzovanja vode, povzroči poškodbe rastlinskih celic. Poškodbe so bile opažene na brstih hrušk (Panagopoulos in Crosse 1964 citirano po Rixen in sod. 2003) in breskev

(Wisniewski in sod. 1997 citirano po Rixen in sod. 2003) inficiranih z vrsto *Pseudomonas syringae*, medtem ko na iglavcih ni bilo opaziti zadostne kolonizacije s temi bakterijami. Za razliko od tega pa poskusi na vrstah *Thymus serpyllum* in *Trifolium repens* niso dali enakih rezultatov. Rastline so se enako odzivale na tretiranje z raztopino vode in dodatkov za nukleacijo snega oziroma na tretiranje z vodo brez dodatkov (Rixen in sod. 2003). Kot predvidevajo Rixen in sodelavci (2003) imajo bakterije za pospešeno nukleacijo na rastlinske organe, ki so tolerantni na zmrzovanje, verjetno malo vpliva, medtem ko lahko pri rastlinah s sposobnostjo podhlajevanja tovrstni dodatki povzročijo precej škode zaradi hitre tvorbe ledenih kristalov.

Možnost za preživetje *Pseudomonas syringae* v alpskem ekosistemu je majhna (Rixen in sod. 2003), vendar dejstva, da je lahko prisotna, ne gre zanemariti.

2.3.5. Vplivi na aktivnost in razvoj rastlin

V zgodnjih spomladanskih mesecih postajajo rastline aktivne že pod snegom. Povečane koncentracije CO₂ še niso pogoj za uspešno fotosintezno aktivnost rastline zaradi nizke intenzitete svetlobe in nizkih temperatur pod snegom. Močno kompakten sneg ima zmanjšano prepustnost za pline in pojavi se lahko anoksija. Vendar mitohondrijska respiracija rastlin ni močnejše prizadeta vse dokler koncentracija kisika ni manjša od 5% (v primerjavi z 21% koncentracijo v prosti atmosferi). Do takšnih razmer lahko pride v obdobju taljenja snega, ko se sneg napoji z vodo (Körner 2003).

Pomanjkanje snega v kombinaciji z nizkimi temperaturami je za rastline posebej nevarno. Poskusi na *Rhododendron ferrugineum* (Larcher in Siegwolf 1985, citirano po Körner 2003) so pokazali, da rastline pri odstranitvi snežne odeje odmrejo v treh dneh zaradi suše. *Rhododendron ferrugineum* v dveh urah doseže visoko stopnjo fotosinteze in stomatalne prevodnosti, kar je zanj usodno. Nenadna odstranitev snežne odeje se v naravi pojavlja zaradi močnih vetrov, plazov, živalske aktivnosti in tudi smučanja (Körner 2003).

Pod snegom vzkлите rastline so po okopnitvi snega izpostavljene relativno visokemu sončnemu sevanju. Predvsem dormantni deli rastline in mlada rastlinska tkiva so na takšne razmere občutljivi. Nekatere rastline zato vzklijejo prve liste rumenkaste ali rdečkaste

barve. Pomanjkanje kloroplastov na tej stopnji zmanjša absorpcijo kratkovalovne svetlobe in omogoči rastlini zaščito dokler se fotosintezni aparat popolnoma ne razvije (Körner 2003).

Izplen ogljika v enem sončnem dnevu na višku vegetacijske sezone je verjetno višji od vse fotosinteze, ki se je odvijala pod snegom. Meritve izmenjave CO₂ na alpski vrsti *Erythronium grandiflorum* (Hamerlynck in Smith 1994, citirano po Körner 2003) so pred in en dan po okopnitvi pokazale negativne vrednosti. Že v naslednjih dneh je rastlina dosegla polno fotosintezno kapaciteto. Avtorja sta zaključila, da je bolj kot fotosintezna aktivnost pod snegom odločilna hitrost razvoja rastline po okopnitvi in učinkovita izraba kratke vegetacijske sezone (Körner 2003).

Dodatna količina umetnega snega na zasneženih progah kopni dalj časa, kar vodi do podaljšanega trajanja snežne odeje v pomlad tudi za štiri tedne (Gadient in sod. 2000). Posledica tega je zakasnitev v pojavljanju vegetacije in fenologiji rastlin (Rixen in sod. 2003). Celo manjša, eksperimentalna zakasnitev taljenja snega za dva dni konec aprila, je pri vrsti *Taraxacum officinale* agg. pomenila zakasnitev v cvetenju v sredi junija (Rixen in sod. 2001). Produkcija listov je bila pri mladih rastlinah vrste *Ranunculus adoneus* značilno zmanjšana, kar je pomenilo zmanjšano možnost preživetja čez zimo (Galen in Stanton 1999). Zmanjšanje v številu listov in njihovi širini sta pri vrsti *Ranunculus glacialis* ugotovila tudi Totland in Alatalo (2002). Zaradi zakasnjene cvetenja je rastna sezona za rastline velikokrat prekratka, da bi plodovi dozoreli in tako ne morejo razviti semen (Kudo 1993). Kot ugotavlja Newesely (1997) pomeni enodnevna zakasnitev kopnenja 3% izgubo pridelka napram okoliškemu območju.

Rixen in sodelavci (2001) so ugotovili, da je vplive različnih tipov snega na zgodaj cvetoče rastline mogoče izmeriti. Rezultati so pokazali, da obstajajo razlike v fenologiji pri rastlinah, ki se pojavijo zgodaj spomladi, medtem ko pri rastlinah katerih vegetacijsko obdobje se začne kasneje, teh razlik ni bilo opaziti. Vrsta *Crocus albiflorus* je najprej vzcvetela v začetku maja pod naravnim ne prepariranim snegom, nato pod naravnim prepariranim snegom in na koncu pod umetnim snegom. Enak vzorec so kazale ostale vrste, ki so cvetele v maju. Rastline, ki so cvetele kasneje, so na vseh ploskvah, ne glede na

vrsto snega, ki jih je pokrivala pozimi, vzcvetele istočasno. Zakasnjena fenologija je torej posledica nizkih zimskih temperatur tal in zakasnjene okopnitve.

2.3.6. Povzetek vplivov na rastline

V preglednici (Preglednica 2.1) v nadaljevanju je kvalitativni povzetek reakcij rastlin na uporabo smučarskih prog, umetni sneg in strojno izravnavo območij smučišč poleti.

Preglednica 2.1 Kvalitativni povzetek odzivov rastlin na uporabo smučarskih prog, umetni sneg in strojno izravnavo območij smučišč poleti (vir: Rixen in sod. 2002)

	vpliv smučarskih prog nasplošno	uporaba umetnega snega	poletna strojna izravnava smučišča
<u>Okoljski parametri</u>			
vlaga	↗	↗	
hranila	↗↗	↗	↗
pH	↗	↗	
debelina humusne plasti	↘		↘
število rastlinskih vrst	↘	↘↗*	
diverziteta (Shannon)	↘	↘↗*	↘
produktivnost	↘		↘
neporaslost območja (%)	↗		↗
<u>Stopnja pokrovnosti (%)</u>			
trave		↘	
lesne vrste	↘	↗	↘
stročnice	↗	↗	
»snowbed species«		↗	
»wind edge species«		↘	
zgodaj cvetoče	↘	↘	↘
pozno cvetoče	↗		
<u>Delež pojavljanja (%)</u>			
trave	↘		↘
lesne vrste	↘		↗
zelišča		↗	↗
stročnice	↗		
snowbed species			
wind edge species		↘	
zgodaj cvetoče	↘		↘
pozno cvetoče		↗	

Legenda:



porast

debeli puščica

p<0,05



upad

tanka puščica

p<0,1

*

na strojno izravnanih smučiščih upad, na neizravnanih smučiščih porast

3. MATERIAL IN METODE

3.1. OPIS LOKACIJE

3.1.1. Opis širšega območja

Pohorje kot celota ima za Slovenijo značaj edinstvenega in izjemnega ekološkega sistema. Izjemnost temelji predvsem na geološki osnovi, saj je to edino silikatno gorovje Slovenije. Vse nadaljnje karakteristike geomorfološkega, hidrološkega, biološkega in kulturno-krajinskega značaja izvirajo iz tega dejstva (Cenčič in sod. 1993).

Pohorje je skrajni del Vzhodnih Alp, natančneje del Vzhodnih Centralnih Alp. Na severu se navezuje na Osrednje Alpe, na vzhodu prehaja v panonsko nižino, na jugu v dinarski svet, na zahodu pa meji na Karavanke. Predstavlja zemljepisno zaokroženo celoto, ki meri v dolžino petdeset in v širino do trideset kilometrov ter ima površino 84000 ha.

Za relief je značilno, da kaže izrazito slemenitev v smeri vzhod-zahod. Ločimo dve geomorfološki enoti in sicer osrednjo planoto ter zaobljeno sleme zahodnega Pohorja. Na splošno kaže pohorski relief blage in zaobljene oblike pobočij ter slemen (Jež 1995). Vzhodni del Pohorja, kjer se nahaja naša lokacija, se razlikuje od zahodnega tako po višini kot po značilnostih površja. Vzhodni del je znatno nižji in ima značaj široke planote (Cenčič in sod. 1993).

3.1.2. Geološka sestava Pohorja

Značilna za masiv Pohorja je velika pestrost kamnin (Cenčič in sod. 1993). Prevladujejo regionalno metamorfozirane kamnine v združbi magmatskih kamnin in sedimentov. Geološko so metamorfne kamnine stare več kot 400 milijonov let. Pohorski tektonski blok je bil dvignjen v alpidski orogenezi, ki je z rekristalizacijo (metamorfozo) močno vplivala na stare metamorfne kamnine, jih s tem pomladila in tako delno zbrisala starejše dogodke. Zaradi rekristalizacije pod vplivom usmerjenih pritiskov narivov so kamnine večinoma skrilave. Zato pogosto s skupnim imenom govorimo o metamorfnih skrilavcih. Geološko se metamorfne kamnine Pohorja preoblikujejo že približno 20 milijonov let in pokrivajo okrog 350 km² Pohorja. Njegovo jedro sestavljajo magmatske kamnine, ki jih je približno

170 km², na zahodnem Pohorju, ki je najmanj dvignjeno, pa je več vrst sedimentov (Hinterlechner-Ravnik 1995).

Na vzhodnem delu Pohorja, kjer se nahaja naša lokacija, prevladuje magmatska kamnina tonalit. Pohorski tonalit je periadriatska globočina. Barva kamnine je svetlo siva do sivorjava, odvisno od stopnje preperevanja. Sestoji v glavnem iz plagioklaza, ortoklaza in kremenca. Od značilnih mineralov sta v zgradbi zastopana še biotit in rogovača, ki sta kloritizirana. V kamnini so najbolj razširjeni plagioklazi, med katerimi je v povprečju največ andezina. Struktura je drobno do srednjezrnata, tekstura pa planparalelna (Cenčič in sod. 1993).

3.1.3. Sestava tal

Prevladujejo kamnine, ki dajejo pretežno kislo prst, zaradi katere so pohorski ekosistemi tako specifični. Prisotne so prsti na ne karbonatnih kamninah. Najbolj razširjena so kislajava tla. Pojavljajo se na kisljih podlagah z majhno količino baz. Zavzemajo pretežno zmerne do strme lege do 1000 m nadmorske višine (Cenčič in sod. 1993).

Tla na območju smučišč so močno podvržena antropogenemu vplivu, tako jih zaradi popolne spremenjenosti včasih ni mogoče uvrstiti v posamezno skupino tal.

3.1.4. Hidrologija

Hidrološke razmere so povezane z nepropustno kamninsko podlago. Čeprav ima Pohorje enkrat manj padavin kot npr. Julijske Alpe, se je zaradi površinskega odtoka tu razvilo najgostejše, najizdatnejše in najbolj stanovitno vodno omrežje v Sloveniji (Jež 1995). Podzemnega odtoka na Pohorju zaradi neprepustnosti hribine in tankega vodonosnega sloja praktično ni. Večina padavin odteče s Pohorja kot površinski odtok (Cenčič in sod. 1993).

3.1.5. Klimatske razmere

V slovenskem prostoru ima gorski masiv Pohorja specifične klimatske razmere. Leži na prehodu alpsko-predalpskega sveta Slovenije, kjer se prepletajo vplivi različnih klimatskih vzorcev. Na zahodu prevladuje bolj alpsko podnebje, na vzhodu pa bolj panonsko. Na hladnih legah in v višjih nadmorskih višinah vlada sveža klima z visoko zračno vlago. Z nižjo nadmorsko višino pa se vse bolj čuti celinski vpliv, ki sega po vzhodno usmerjenih dolinah globoko v predalpski svet (Cenčič in sod. 1993).

Količina padavin narašča z nadmorsko višino in od vzhoda proti zahodu. V Mariboru je letna količina padavin okrog 1000 mm, na vrhu Pohorja okrog 1600 mm. Padavine so med letom razporejene tako, da jih največ pade poleti, julija, in najmanj pozimi, januarja in februarja (Jež 1995).

Na Pohorju prevladuje zmerno podnebje, brez velikih temperaturnih sprememb. Srednje mesečne temperature se januarja gibljejo med -1 in -5°C . Primerjava oktobrskih in aprilskih temperatur kaže, da so jeseni toplejše od pomladi, kar je posledica omiljenih oceanskih podnebnih vplivov (Kavnik 2003). Analiza temperatur zraka severovzhodne Slovenije kaže, da je najhladnejši mesec januar. Do nadmorske višine 700 m je povprečna januarska temperatura zraka $-1,2^{\circ}\text{C}$, nad njo pa je enakomeren padec temperature z višino in sicer na vsakih 100 m za $0,4^{\circ}\text{C}$. V najtoplejšem mesecu, juliju, temperaturna inverzija ni izražena. Povprečna izoterma 18°C poteka na nadmorski višini 650 m, izoterma 16°C pa na nadmorski višini 950 m, kar ustreza enakomernemu padcu temperature zraka za $0,6^{\circ}\text{C}$ na vsakih 100 m.

Veter je pogojen z lokalnimi klimatskimi vplivi, predvsem z značilnostmi reliefa. Za celotno področje mariborskega Pohorja so značilni pobočni in dolinski vetrovi, katerih glavna značilnost je spuščanje zraka ob pobočjih in dolinah v nočnem času ter dvigovanje zraka v času intenzivnega segrevanja osončenih predelov. Maksimalne hitrosti vetra, ki se pojavljajo pretežno v toplem delu leta pri prehodu hladnih front, dosežejo okoli 120 km/h (Cenčič in sod. 1993).

Najvišji deli Pohorja so pod snegom v povprečju 60 dni prej kot nižinski. Po pohorskih vrhovih in kotanjah se sneg obdrži navadno do maja, na prisojnih pobočjih pa kmalu skopni (Cenčič in sod. 1993). Zaradi izostrenih klimatskih razmer in posledično zaradi daljšega obležanja snega, je vegetacijska doba v najvišjih predelih in na platoju bistveno krajša kot v nižini. Na nadmorski višini okoli 1700 m traja vegetacijska doba dober mesec. Proti vzhodu Pohorja se zaradi ugodnih panonskih podnebnih vplivov dolžina vegetacijske dobe podaljša na šest mesecev in traja od sredine aprila do sredine oktobra (Kavnik 2003).

3.1.6. Vegetacija

Kot edino silikatno gorovje v Sloveniji se Pohorje floristično precej razlikuje od ostalih površin. Po fitogeografski razdelitvi Slovenije sodi Pohorje skupaj z Julijci, Karavankami, Kamniškimi in Savinjskimi Alpami ter Kozjakom v alpsko regijo. Izdatno vodno omrežje površinskih voda, povezano z nepropustno silikatno podlago, razgiban relief in razpon nadmorskih višin do 1543 m, pogojujejo veliko pestrost rastišč (Cenčič in sod. 1993).

Predmetna lokacija smučišča je močno podvržena antropogenemu vplivu, ki se kaže tudi kot dosejevanje travnatih površin s travnimi mešanici. Vrstni popis rastlin na vzorčnih mestih podajamo v naslednji točki.

3.2. VZORČEVANJE

3.2.1. Vzorčevalna mesta in vzorčne rastline

Na območju mariborskega Pohorja smo na smučišču izbrali tri ploskve velikosti 4x4 m, ki so med seboj primerljive po tipu tal, naklonu, ekspoziciji, nadmorski višini, pa tudi vremenskim vplivom in sončnemu obsevanju. Ploskve se med seboj razlikujejo po tem, da so v zimski sezoni različno zasnežene in pripravljene:

- Ploskev 1 (v nadaljevanju P1) je v zimski sezoni dodatno zasnežena in ni teptana,
- Ploskev 2 (v nadaljevanju P2) v zimski sezoni ni dodatno zasnežena, je pa teptana,
- Ploskev 3 (v nadaljevanju P3) je v zimski sezoni dodatno zasnežena in teptana.

Pozimi je območje namenjeno smučarskemu turizmu in sicer od novembra do aprila. V poletnih mesecih pa je območje vseh treh vzorčnih ploskev namenjeno pohodniškemu turizmu.

Nadmorska višina in lega posamezne ploskve je bila določena s pomočjo GPS-a in je za posamezne ploskve naslednja:

P1:	nadmorska višina	894 m n.m.
	lega	N 46°31'01,5" E 015°35'33,4"
P2:	nadmorska višina	886 m n.m.
	lega	N 46°31'02,5" E 015°35'35,6"
P3:	nadmorska višina	887 m n.m.
	lega	N 46°31'02,3" E 015°35'31,9"

Meritve in vzorčenje so potekali na treh vrstah rastlin, ki so bile določene na osnovi popisa in se pojavljajo na vseh treh ploskvah. Te rastline so šentjaževka (*Hypericum perforatum*), ripeča zlatica (*Ranunculus acris*) in navadni rman (*Achillea millefolium*). Pri izbiri rastlin je bilo, poleg tega da so prisotne na vseh treh ploskvah, pomembno tudi to, da niso enoletnice oziroma, da so razmeram na rastišču izpostavljene že daljše obdobje.

Vse vzorčne rastline so t.i. hemikriptofiti oziroma zelnate trajnice, ki vsako leto cvetijo in obrodijo semena, na koncu vegetacijskega obdobja pa njihovi nadzemni deli odmrejo in se znova razvijejo spomladi. Po odmrtnju njihovih nadzemnih delov so popki na površini tal zaščiteni z odmrli deli rastline in s snegom (Martinčič in sod. 1999).

3.3. MERITVE IN ANALIZE

Meritve so potekale na terenu in v laboratoriju. Na terenu smo izvedli meritve stopnje fotosinteze, stopnje transpiracije in potencialne učinkovitosti fotosistema II. Poleg tega smo na terenu spremljali rast in razvoj rastlin od začetka pojava rastline na posameznem rastišču do zaključka vegetacijske sezone, kadar je bilo to zaradi zunanjih dejavnikov (paša, košnja) le mogoče. Iz na terenu izmerjenih parametrov smo izračunali neto fotosintezo in transpiracijo ter fotosintezno učinkovitost porabe vode. V laboratoriju smo izvedli analizo fotosinteznih pigmentov na vzorčnem materialu pobranem na terenu.

3.3.1. Meritve fotosinteze in transpiracije

Meritve stopnje fotosinteze (stopnja FS; $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) in stopnje transpiracije (stopnja TR; $\text{mmol}/\text{m}^2\text{s}$) smo izvedli na terenu, s prenosnim infrardečim plinskim analizatorjem (ADC, LCA 4, UK). Meritve smo izvajali okrog poldneva pri polni dnevni svetlobi. Vrednosti gostote fotonskega fluksa fotosintezno aktivnega dela sevanja (PPFD) so znašale več kot $1100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Meritve so potekale pri okoljski temperaturi in koncentraciji CO_2 . Na vsaki ploskvi smo opravili 30 meritev, 10 za vsako preiskovano vrsto rastline.

Neto fotosintezo (neto FS; $\mu\text{mol}/\text{gs}$) in transpiracijo (TR; mmol/gs) smo izrazili preko izmerjene stopnje FS in stopnje TR na suho maso lista s pomočjo enačb

$$\text{neto FS} = \frac{\text{stopnja FS} \times \text{površina lista}}{ss} \quad (\mu\text{mol g}^{-1} \text{s}^{-1}) \quad \text{in}$$

$$\text{TR} = \frac{\text{stopnja TR} \times \text{površina lista}}{ss} \quad (\text{mmol g}^{-1} \text{s}^{-1})$$

ss masa suhega vzorca

Maso suhega vzorca smo dobili s tehtanjem posušenega materiala na katerem smo merili stopnjo FS in stopnjo TR. Sušenje je potekalo v liofilizerju Christ 2-4a.

3.3.2. Učinkovitost izrabe vode (UIV)

Vnos CO₂ in izparevanje vode skozi listne reže potekata sinhrono. S stomatalno redukcijo transpiracije, je reducirana tudi vnos CO₂ potreben za fotosintezo. Povezavo med asimilacijo CO₂ in porabo vode smo izrazili kot razmerje med stopnjo FS in stopnjo TR, oziroma kot učinkovitost izrabe vode (UIV). Izračunamo jo po enačbi (Larcher 2003)

$$UIV = \frac{\text{stopnja FS}}{\text{stopnja TR}} \quad (\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})$$

stopnja FS *stopnja fotosinteze izmerjene na terenu*

stopnja TR *stopnja TR izmerjene na terenu.*

3.3.3. Potencialna fotokemična učinkovitost fotosistema II

Potencialno fotokemično učinkovitost fotosistema II (PS2) smo določili s pomočjo fluorometra (Plant Stress Meter, Biomonitor, Švedska) na osnovi spreminjajoče se fluorescence klorofila *a* PS2. Metoda predstavlja zelo uporabno in informativno tehniko merjenja fotosinteznega elektronskega transporta in vivo (Schreiber in sod., 1995). Meritve smo izvedli okrog poldneva pri sončnem vremenu, ko je bila gostota toka fotonov fotosintezno aktivnega spektra sevanja (PPFD) večja ali enaka 1000 μmol m⁻² s⁻¹. Po 10 minutni zatemnitvi (s pomočjo zatemnitvenih komor), je bila s pomočjo fluorometra določena učinkovitost PS2 preko meritev klorofilne fluorescence.

Fluorescenca je izražena kot količnik variabilne (F_v) in maksimalne (F_m) fluorescence temotno adaptiranega vzorca (F_v/F_m), kjer variabilna fluorescenca predstavlja razliko med maksimalno in minimalno (F_o) fluorescenco temotno adaptiranega vzorca (F_v = F_m - F_o).

Klorofil *a* reakcijskega centra in klorofil *b* antenskih pigmentov v FS2 oddajata del ekscitacijske energije kot fluorescenco. Fluorescenca predstavlja v normalnih razmerah od 3 do 4% ekscitacijske energije (Björkman in Demmig-Adams 1994). V stresnih razmerah, ko se vsa absorbirana svetlobna energija ne more porabiti za fotosintezo, pa se delež oddane energije v obliki fluorescence poveča. Fluorescenca zato služi kot merilo fotokemične učinkovitosti PS2 (Krause in Weis 1991, Schreiber in sod. 1998).

Pri temotno adaptiranem listu so reakcijski centri odprti, kar pomeni, da lahko absorbirajo svetlobno energijo. Fluorescentni signal, ki ga izmerimo, ko so vsi reakcijski centri odprti, izvira iz klorofila v antenskih pigmentih in ga imenujemo osnovna ali minimalna fluorescenca temotno adaptiranega vzorca (F_0). Ko osvetlimo list s saturacijskim žarkom, se reakcijski centri zaprejo in fluorescentni signal se poveča (Maxwell in Johnson 2000). Redukcija kinonov je hitrejša od ponovne oksidacije, zato klorofil reakcijskega centra PS2 del ekscitacijske energije odda v obliki fluorescence. Hitrost reoksidacije kinonov je odvisna od elektronskega transporta in Calvinovega cikla. Povečani fluorescentni signal imenujemo maksimalna fluorescenca temotno adaptiranega vzorca (F_m). Razliko med F_m in F_0 imenujemo variabilna fluorescenca (F_v), ki je pokazatelj velikosti redukcije QA, ki je prvi stabilni sprejemnik elektronov v PS2. Razmerje F_v/F_m je merilo potencialne fotokemične učinkovitosti PS2 in je sorazmerno neto fotosintezi (Krause in Weis 1991). Razmerje F_v/F_m dosega optimalne vrednosti okrog 0,83. Nižje vrednosti nakazujejo na izpostavljenost rastline stresu, ki se odraža v fotoinhibiciji (Maxwell in Johnson 2000).

3.3.4. Analiza fotosinteznih pigmentov

Klorofil *a* in *b* sta komponenti fotosinteznih membran in se pojavljata v razmerju a/b , katerega vrednost je med 1 in 3. Glede na rastne pogoje in okoljske dejavnike se lahko to razmerje spreminja. Pri rastlinah izpostavljenih močnemu soncu je razmerje a/b med 3,2 do 4, pri rastlinah v senci pa so te vrednosti nižje in sicer med 2,5 do 2,9 (Lichtenthaler 1987).

3.3.4.1. Priprava vzorcev

Od vsake preiskovane vrste rastline smo na terenu odvzeli na vsaki ploskvi po 10 vzorcev listov, skupaj 30 listov na ploskev. Sveže liste smo stehali in jih nato posušili v liofilizerju Christ 2-4α.

Vsebnost klorofila *a* in *b* smo določili laboratorijsko s pomočjo homogenizacije materiala z 90% acetonom. Vzorce smo zmleli v terilnici v 8 ml 90% acetona in homogenat centrifugirali 4 minute pri $v=10\ 000$ Hz in $T=4^{\circ}\text{C}$ (Jeffrey in Humphrey 1975). Po centrifugiranju smo izmerili volumen ekstrakta.

3.3.4.2. Analiza vzorcev

S spektrofotometrom (HP 8452A, PALO ALTO, CA, USA) smo izmerili ekstinkcije pri valovnih dolžinah 750, 664, 647, 630 in 480 nm. Skupno vsebnost klorofila smo izrazili na suho maso vzorca in izračunali razmerje klorofilov *a/b*.

Vsebnost klorofilov *a* in *b* smo izračunali po enačbah:

$$\text{Klorofil } a = \frac{(11,93 \times (E_{664} - E_{750}) - 1,93 \times (E_{647} - E_{750})) \times Va \times 1000}{ss} \quad (\text{mg kl } a \text{ g}^{-1} \text{ ss})$$

$$\text{Klorofil } b = \frac{(20,36 \times (E_{647} - E_{750}) - 5,50 \times (E_{664} - E_{750})) \times Va \times 1000}{ss} \quad (\text{mg kl } b \text{ g}^{-1} \text{ ss}),$$

E ekstinkcija pri izbrani valovni dolžini

Va volumen acetona

ss masa suhega vzorca

3.3.5. Analiza rasti in razvoja

Analizo rasti in razvoja rastlin smo spremljali od začetka do zaključka njene vegetacijske sezone. Zabeležili smo začetek pojavljanja rastlin na posameznem rastišču, rast, prisotnost cvetnih nastavkov in plodov ter zabeležili zaključek vegetacijske sezone. V enakomernih štirinajstdnevnih časovnih intervalih smo izmerili višino rastlin s pomočjo metra ter prešteli število cvetov in plodov.

3.3.6. Statistična analiza

Za statistično primerjavo merjenih parametrov med ploskvami in vpliva zasneževanja in/alitoptanja smo uporabili enosmerno analizo variance (ANOVA) in Holm-Sidak post hoc test pri $p < 0,05$. Vse analize smo izvedli v statističnem programu SigmaStat (SPSS).

4. REZULTATI

4.1. FLORISTIČNA SLIKA PLOSKEV

Za določitev poskusnih vrst rastlin smo na vseh treh preiskovanih ploskvah izvedli popis najpogostejših rastlinskih vrst.

Na **ploskvi 1**, ki je v času zimske sezone dodatno zasnežena in ni teptana, uspevajo poleg šentjanževke, ripeče zlatice in navadnega rmana še črna detelja (*Trifolium pratense*), plazeča detelja (*Trifolium repens*), ozkolistni trpotec (*Plantago lanceolata*), razprostrta zvončnica (*Campanula patula*), rdeča nitnica (*Spergularia rubra*), navadna črnoglavka (*Prunella vulgaris*), prileglodlakava suholetnica (*Erigeron annuus*), mačji rep (*Phleum sp.*), nizka smiljka (*Cerastium pumilum*), navadni zajčji lapuh (*Myecelis muralis*), navadna lakota (*Galium mollugo*), wirtgenova lakota (*Galium wirtgenii*), navadna ivanjščica (*Leucanthemum ircutianum*), puhasti zebnat (*Galeopsis pubescens*), navadna pašja trava (*Dactylis glomerata*), mala kislica (*Rumex acetosella*), volnata medena trava (*Holcus lanatus*), drobnocvetna nedotika (*Impatiens parviflora*), polegli petoprstnik (*Potentilla norvegica*), prava kamilica (*Chamomilla recutita*), nedišeča trirobka (*Matricaria perforata*), alpski čišljak (*Stachys alpina*), navadni osat (*Cirsium vulgare*), vratič (*Tanacetum vulgare*), navadni regrat (*Taraxacum officinale*) in smetlika (*Euphrasia sp.*).

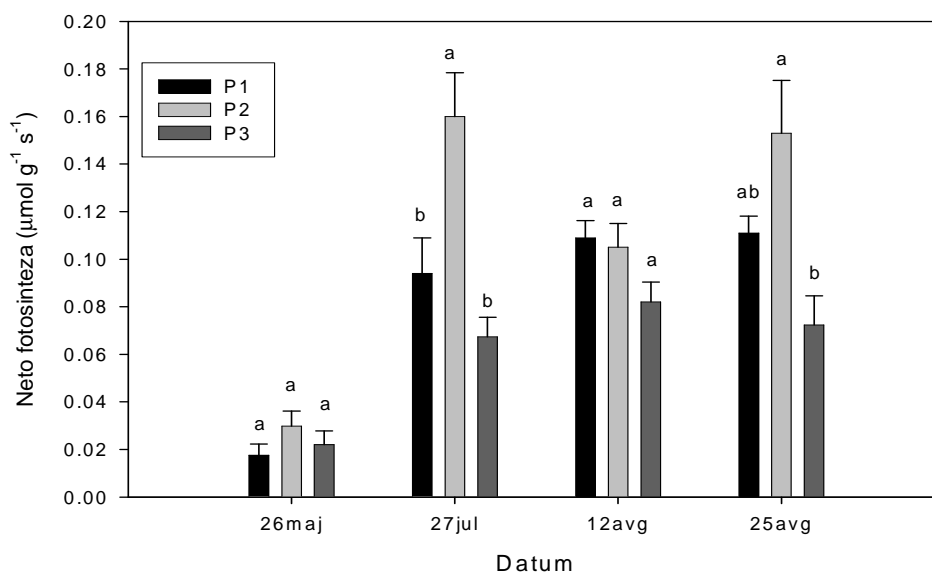
Na **ploskvi 2**, ki v zimskem obdobju ni dodatno zasnežena so poleg izbranih rastlin prisotne še naslednje: navadna ivanjščica (*Leucanthemum ircutianum*), navadna nokota (*Lotus corniculatus*), plazeča detelja (*Trifolium repens*), črna detelja (*Trifolium pratense*), razprostrta zvončnica (*Campanula patula*), ogrsko grabljišče (*Knautia drymea*), veliki trpotec (*Plantago major*), rdeča nitnica (*Spergularia rubra*), navadna črnoglavka (*Prunella vulgaris*), nedišeča trirobka (*Matricaria perforata*), prileglodlakava suholetnica (*Erigeron annuus subsp. strigosus*), mačji rep (*Phleum sp.*), ozkolistno ciperje (*Chamaenerion angustifolium*), nizka smiljka (*Cerastium pumilum*), navadni zajčji lapuh (*Myecelis muralis*), plazeča pirnica (*Elytrigia repens*), navadna lakota (*Galium mollugo*), wirtgenova lakota (*Galium wirtgenii*), konjska griva (*Eupatorium cannabinum*), navadni osat (*Cirsium vulgare*), navadni glavinec (*Centaurea jacea*) in smetlika (*Euphrasia sp.*)

Na **ploskvi 3**, ki je v času zimske sezone prav tako dodatno zasnežena vendar teptana, so bile poleg preiskovanih vrst prisotne še črna detelja (*Trifolium pratense*), plazeča detelja (*Trifolium repens*), razprostrta zvončnica (*Campanula patula*), navadna ivanjščica (*Leucanthemum ircutianum*), rdeča nitnica (*Spergularia rubra*), navadna črnoglavka (*Prunella vulgaris*), prileglodlakava suholetnica (*Erigeron annuus*), mačji rep (*Phleum sp.*), nizka smiljka (*Cerastium pumilum*), navadni zajčji lapuh (*Myecelis muralis*), navadna lakota (*Galium mollugo*), wirtgenova lakota (*Galium wirtgenii*), puhasti zebrat (*Galeopsis pubescens*), navadna pasja trava (*Dactylis glomerata*), mala kislica (*Rumex acetosella*), volnata medena trava (*Holcus lanatus*), drobnocvetna nedotika (*Impatiens parviflora*), polegli petoprstnik (*Potentilla norvegica*), prava kamilica (*Chamomilla recutita*), alpski čišljak (*Stachys alpina*), navadni osat (*Cirsium vulgare*), smetlika (*Euphrasia sp.*), navadna nokota (*Lotus corniculatus*), ozkolistni trpotec (*Plantago lanceolata*), nedišeča trirobka (*Matricaria perforata*) in navadni regrat (*Taraxacum officinale*).

4.2. FOTOSINTEZA

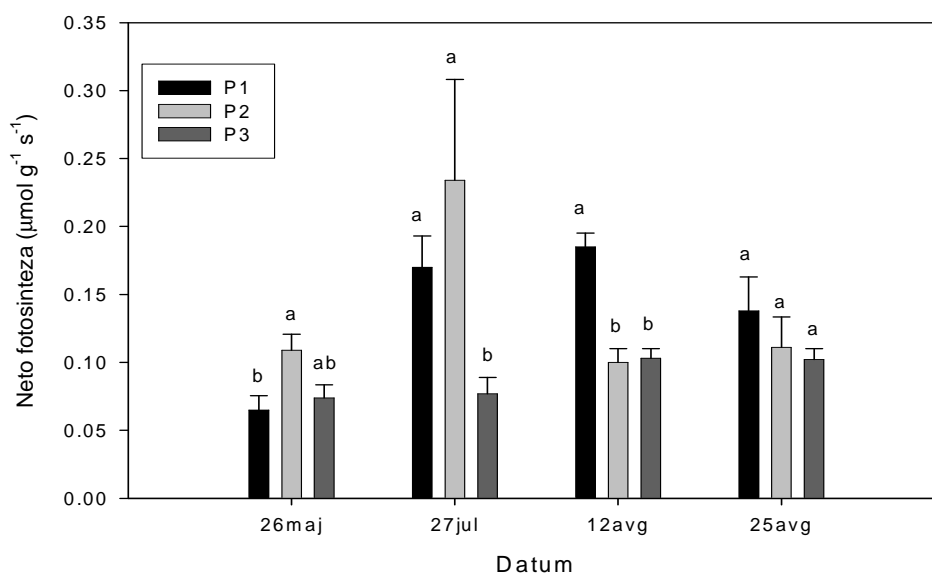
Fotosintezno aktivnost smo spremljali leta 2001 preko celotne vegetacijske sezone. Na spodnjih diagramih so prikazane povprečne vrednosti neto FS pri šentjanževki, navadnem rmanu in ripeči zlati. V začetku septembra so bile rastline na vseh treh preiskovanih ploskvah popasene ali pokošene.

Kot je razvidno iz grafa (Slika 4.1), se pri šentjanževki statistično značilne razlike v neto FS med ploskvami pojavljajo 27. julija in 25. avgusta. Vrednosti na P2, ki je samo teptana, so od tistih na P1 in P3 statistično značilno večje, medtem ko med P1 in P3, ki sta pozimi dodatno zasneževani, ni razlik. 26. maja in 12. avgusta statistično značilnih razlik med ploskvami ni. Časovni potek v splošnem kaže na naraščanje neto FS tekom vegetacijske sezone (priloga A, slika A.1). Vrednosti neto FS so bile najnižje na začetku vegetacijske sezone.



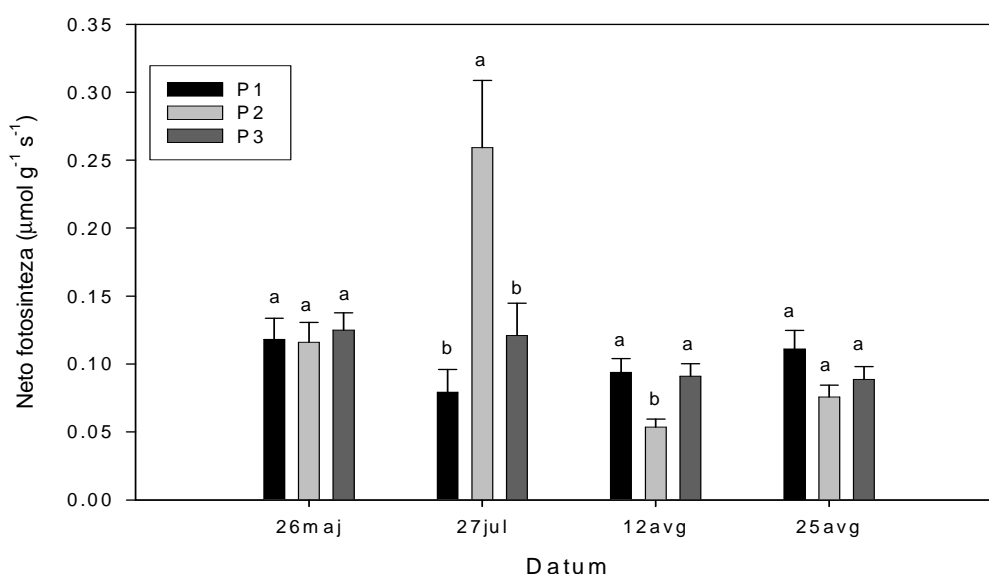
Slika 4.1 Neto FS pri šentjanževki na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ med ploskvami znotraj istega datuma (a in b, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).

Pri navadnem rmanu (Slika 4.2) se neto FS na P2, ki je samo teptana razlikuje od P1 ali P3 le na začetku vegetacijske sezone in sicer so vrednosti na P2 bile takrat višje od tistih na P1 oziroma P3. Konec julija in v začetku avgusta je mogoče opaziti tudi razliko med P1 in P3, ki sta obe zasneževani, vendar je P3 pozimi še teptana. Od maja do konca julija je bila povprečna neto FS pri navadnem rmanu med najvišjimi na P2, v avgustu pa na P1. Časovni potek (priloga A, slika A.2) kaže, da so bile vrednosti neto FS najnižje na začetku vegetacijske sezone in so naraščale tekom vegetacijske sezone, z izjemo P2 na kateri smo najvišje vrednosti izmerili v juliju.



Slika 4.2 Neto FS pri navadnem rmanu na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ med ploskvami znotraj istega datuma (a in b, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).

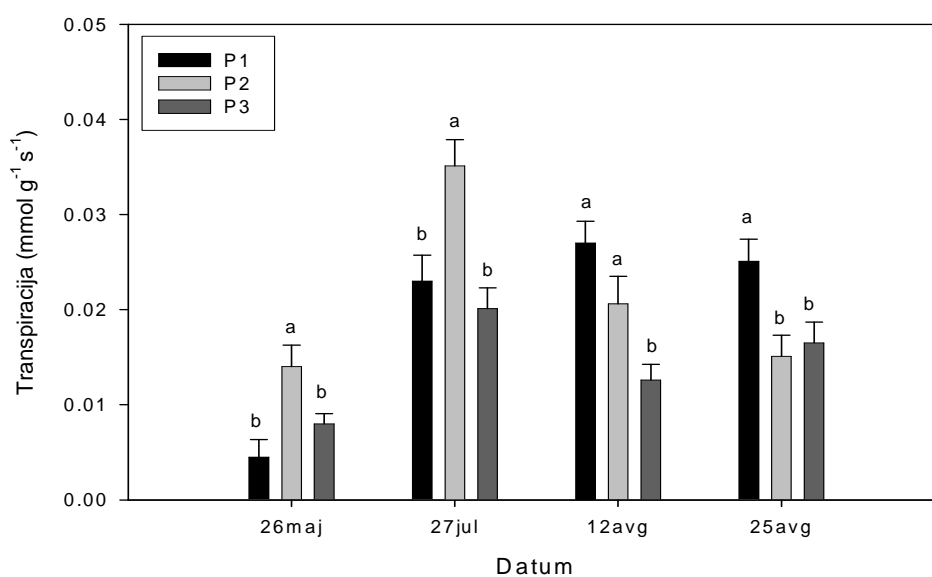
Podatki za neto FS pri ripeči zlati (Slika 4.3) na začetku in koncu vegetacijske sezone med ploskvami ne kažejo statistično značilnih razlik. V obdobju cvetenja in plodenja (Slika 4.26) pa se vrednosti na P2 statistično razlikujejo od tistih na P1 in P3, medtem ko med P1 in P3 ni razlike. Povprečna neto FS na posameznih ploskvah ne kaže nobenega posebnega trenda. Na P1 so bile povprečne vrednosti neto FS tekom vegetacijske sezone v enakem velikostnem razredu. Vrednosti so na P2 in P3 proti koncu vegetacijske sezone upadle (priloga A, slika A.3).



Slika 4.3 Neto FS pri ripeči zlati na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ med ploskvami znotraj istega datuma (a in b, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).

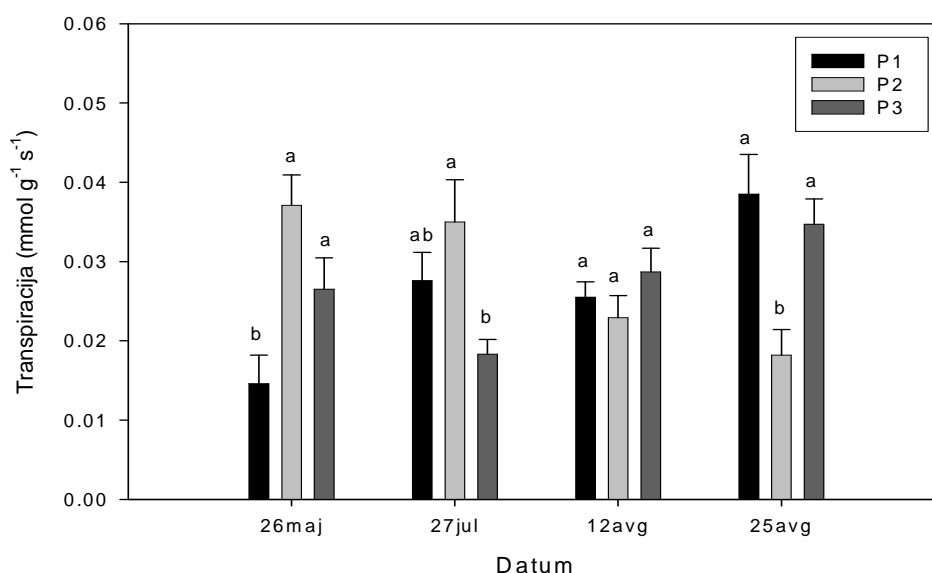
4.3. TRANSPIRACIJA

Pri šentjanževki so vrednosti TR (Slika 4.4) do konca faze cvetenja (Slika 4.22), to je do konca julija, na P2 značilno višje kot tiste na P1 in P3. Kasneje v vegetacijski sezoni pa smo najvišje vrednosti TR izmerili na P1. Časovni potek (priloga A, slika A.4) kaže na najnižje vrednosti TR na začetku vegetacijske sezone, čemur sledi naraščanje vrednosti na vseh treh ploskvah.



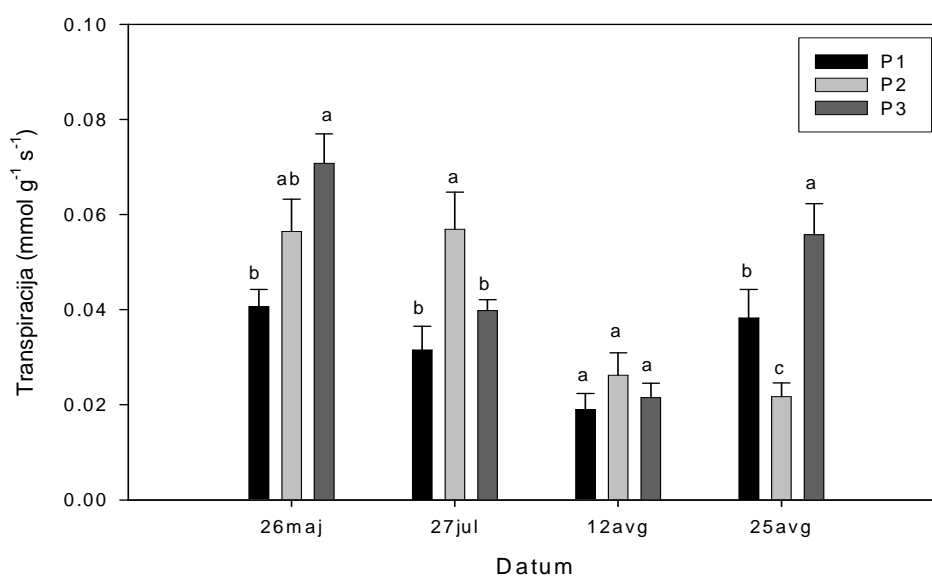
Slika 4.4. Transpiracija pri šentjanževki na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ med ploskvami znotraj istega datuma (a in b, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).

Pri navadnem rmanu (Slika 4.5) med P1 in P3 v nobenem obdobju, razen v začetku vegetacijske sezone, ko so bile fenološke faze še nekoliko zamaknjene (Slika 4.24), ni statistično značilnih razlik. Obe ploskvi sta v zimskem obdobju dodatno zasneženi. P2, ki ni dodatno zasnežena se od P1 in P3 razlikuje konec avgusta. Takrat so edino rastline na P2 že dosegle fazo plodenja in počasi zaključevale vegetacijsko sezono, medtem ko so na P1 in P3 bile še v fazi cvetenja. Skladno s tem so bile vrednosti TR konec avgusta na P2 najnižje. Od začetka vegetacijske sezone pa do konca julija je bila povprečna vrednost TR najvišja na P2, potem pa na P1 in P3. Vrednosti TR so na P1 in P3 skozi sezono naraščale, medtem ko smo na P2 opazili upad (priloga A, slika A.5).



Slika 4.5. Transpiracija pri navadnem rmanu na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ med ploskvami znotraj istega datuma (a in b, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).

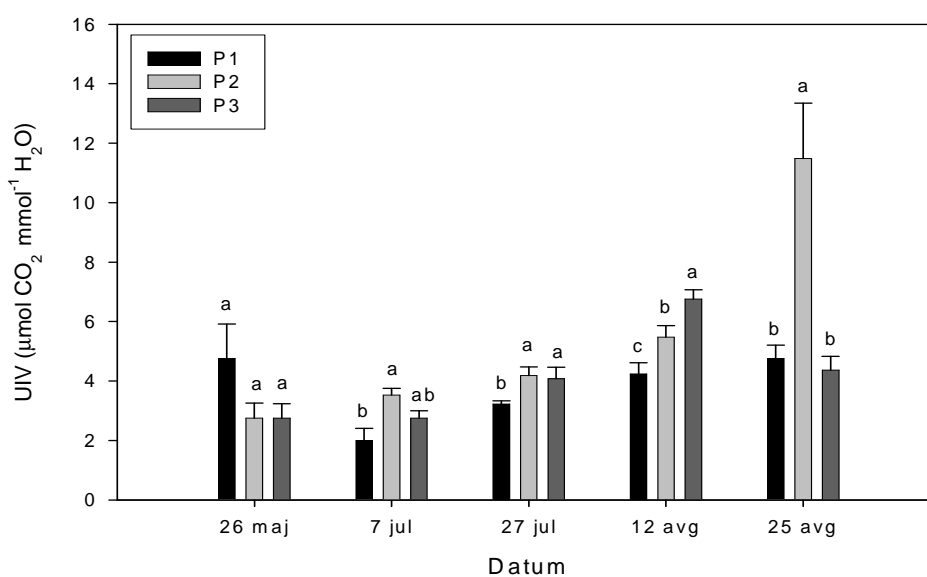
Vrednosti TR pri ripeči zlati (Slika 4.6) so na P3 značilno višje od tistih na P1 na začetku in na koncu vegetacijske sezone, v vmesnem obdobju pa ne. P2, ki za razliko od P1 in P3 ni dodatno zasneževana, pa se od njiju statistično značilno razlikuje v fazi plodenja (Slika 4.26). Najvišje vrednosti TR smo na vseh treh ploskvah zabeležili na začetku vegetacijske sezone, v času podaljševanja stebela oziroma na začetku faze cvetenja (priloga A, slika A.6), nato pa so vrednosti TR preko sezone počasi upadale. Ob koncu sezone smo na P1 in P3 opazili ponovno rast TR.



Slika 4.6. Transpiracija pri ripeči zlati na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ med ploskvami znotraj istega datuma (a, b in c, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).

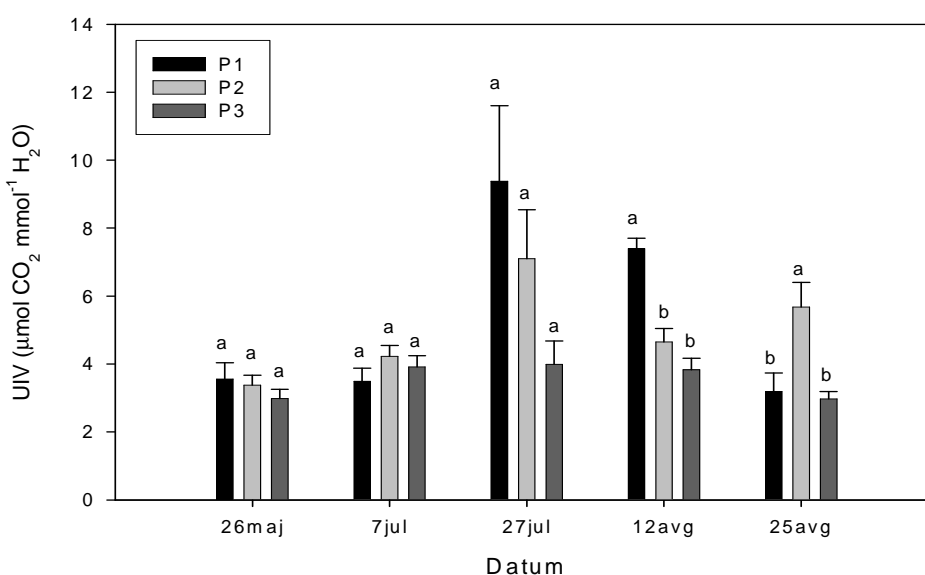
4.4. UČINKOVITOST IZRABE VODE (UIV)

Pri šentjanževki (Slika 4.7) je na vseh treh ploskvah opazen trend poviševanja UIV od začetka proti koncu vegetacijske sezone (priloga A, slika A.7). Na začetku med ploskvami ni opaziti statistično značilnih razlik, kasneje pa so vrednosti na P2 značilno višje od tistih na P1 in od faze plodenja (Slika 4.22) naprej značilno različne tudi tistim na P3. V povprečju so bile, razen na začetku vegetacijske sezone, vrednosti najnižje na P1.



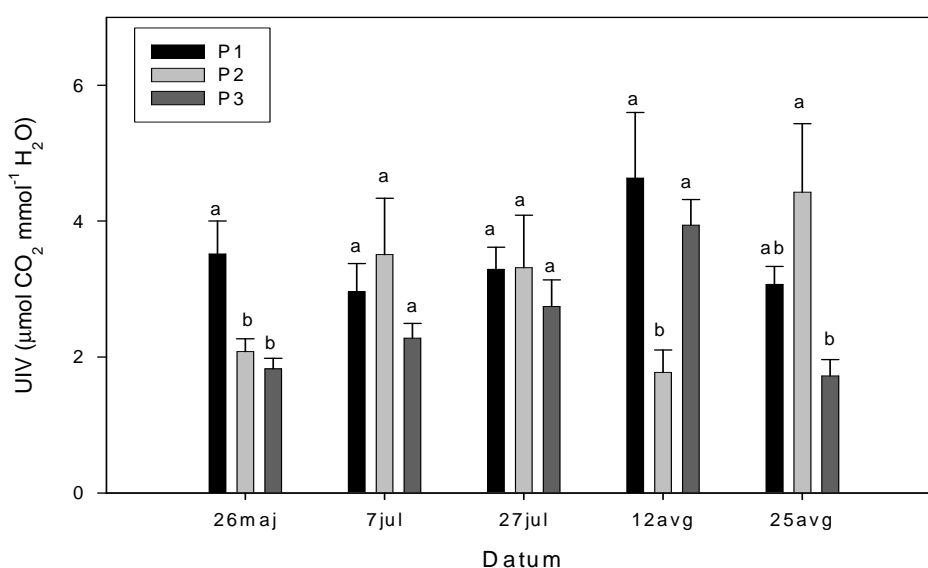
Slika 4.7. Učinkovitost izrabe vode (UIV) pri šentjanževki na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ med ploskvami znotraj istega datuma (a, b in c, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).

Pri navadnem rmanu (Slika 4.8) je na P1 in P2 opazen trend poviševanja UIV do konca julija oziroma začetka avgusta in potem upad proti koncu vegetacijske sezone (priloga A, slika A.8). Na P3 so bile preko vegetacijske sezone vrednosti bolj ali manj enake oziroma statistično značilnih razlik med datumi ni bilo. Med ploskvami do konca julija ni bilo statistično značilnih razlik. Gledano z vidika fenološkega razvoja, to obdobje sovпада s fazo cvetenja (Slika 4.24). V avgustu med ploskvami nastopijo značilne razlike. Najnižje vrednosti so se pojavljale na P3, ki je pozimi zasneževana in teptana.



Slika 4.8. Učinkovitost izrabe vode (UIV) pri navadnem rmanu na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ med ploskvami znotraj istega datuma (a in b, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).

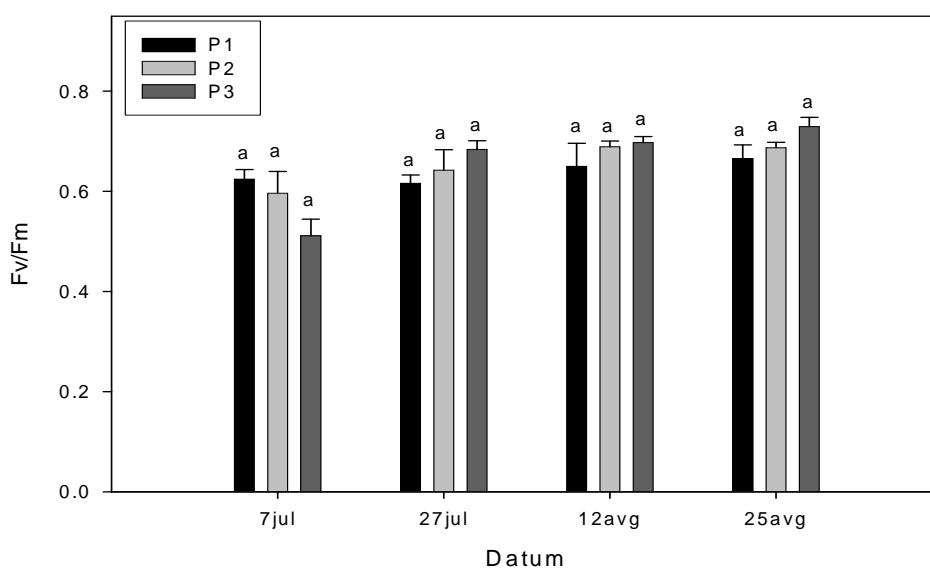
Vrednosti UIV so bile pri ripeči zlati (Slika 4.9) v začetku vegetacijske sezone najvišje na P1. Do sredine faze plodenja (konec julija) vrednosti UIV na vseh treh ploskvah med seboj niso bile značilno različne. Po tem obdobju so se med njimi pojavile razlike, ki pa nimajo specifičnega vzorca. Na ploskvah P1 in P3 smo opazili podobne trende z naraščanjem UIV do sredine avgusta in potem upad proti koncu vegetacijske sezone (priloga A, slika A.9).



Slika 4.9. Učinkovitost izrabe vode (UIV) pri ripeči zlati na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ med ploskvami znotraj istega datuma (a in b, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).

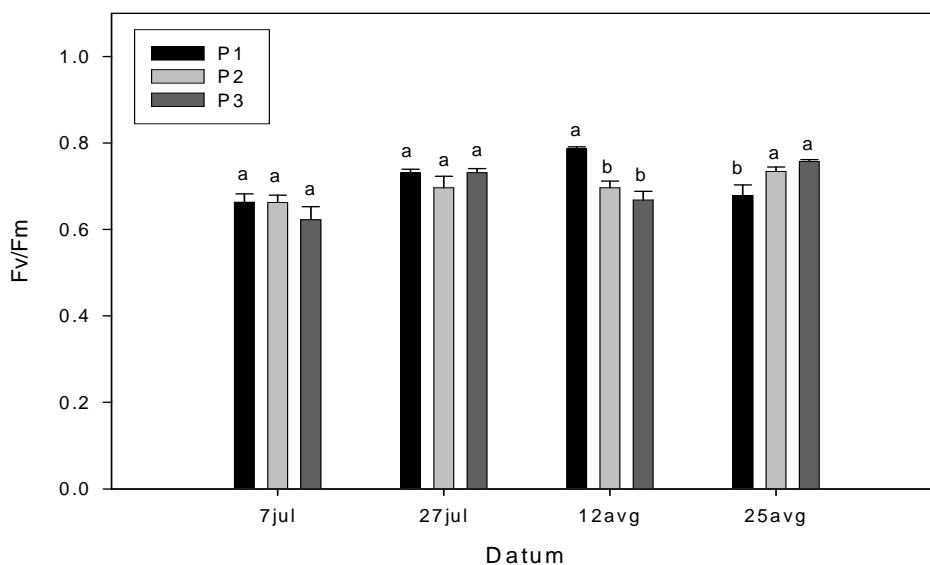
4.5. POTENCIALNA FOTOKEMIČNA UČINKOVITOST PS2

Vrednosti potencialne fotokemične učinkovitosti PS2 so bile pri šentjanževki (Slika 4.10), na vseh treh ploskvah preko celotnega obdobja izvajanja meritev značilno enake. Na začetku vegetacijske sezone so bile na P2 in P3 vrednosti najnižje, po tem smo zabeležili povišanje vrednosti, ki so preostanek vegetacijske sezone ostale bolj ali manj enake (priloga A, slika A.10). Na P1 so bile vrednosti preko cele vegetacijske sezone bolj ali manj enake.



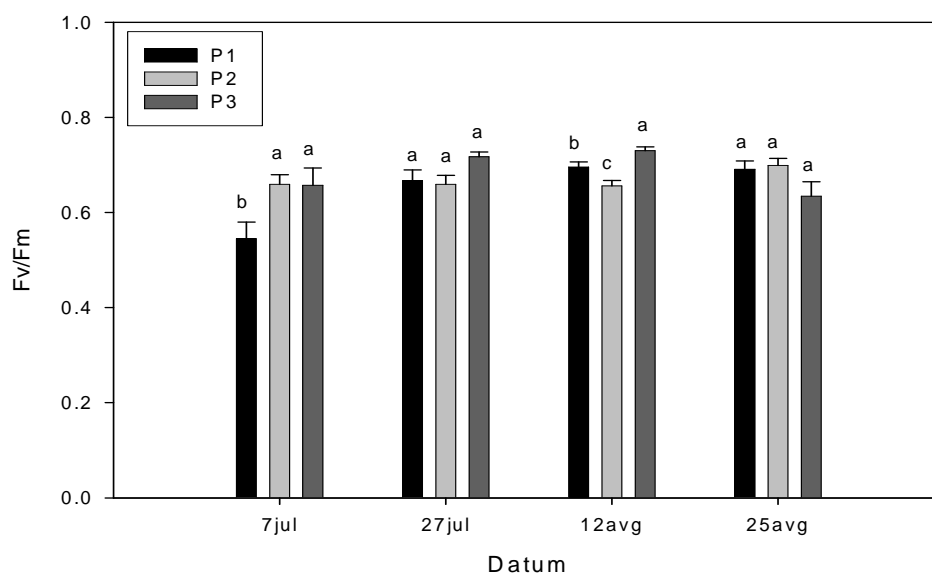
Slika 4.10. Potencialna fotokemična učinkovitost PS2 (F_v/F_m) pri šentjanževki na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ med ploskvami znotraj istega datuma (»a«).

Pri navadnem rmanu (Slika 4.11) so bile vrednosti potencialne fotokemične učinkovitosti PS2 na P2 in P3 preko celotnega obdobja izvajanja meritev značilno enake. Od druge polovice faze cvetenja (Slika 4.24) pa so vrednosti na P1 značilno različne od tistih na P2 in P3, vendar brez vzorca. Enkrat so značilno večje, drugič značilno manjše. Opazen je trend naraščanja izmerjenih vrednosti proti koncu vegetacijske sezone (priloga A, slika A.11).



Slika 4.11. Potencialna fotokemična učinkovitost PS2 (Fv/Fm) pri navadnem rmanu na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ med ploskvami znotraj istega datuma (a in b, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).

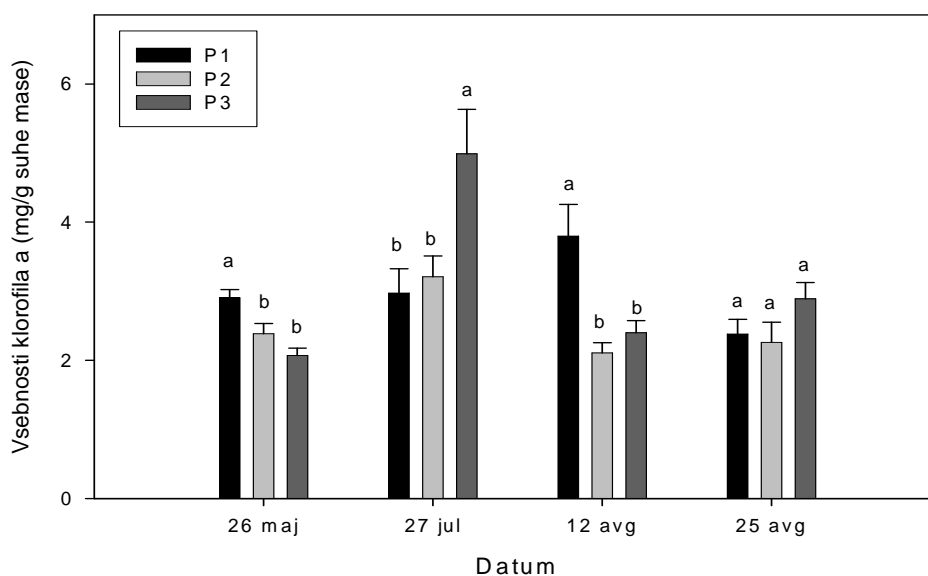
Pri ripeči zlati (Slika 4.12) se vrednosti potencialne fotokemične učinkovitosti PS2 na P2 in P3 preko celotnega obdobja izvajanja meritev, izjema je 12. avgust, niso značilno razlikovale. Na P1 in P3 je opazen trend naraščanja izmerjenih vrednosti od začetka proti koncu vegetacijske sezone (priloga A, slika A.12), medtem ko na nismo opazili statistično značilnih razlik.



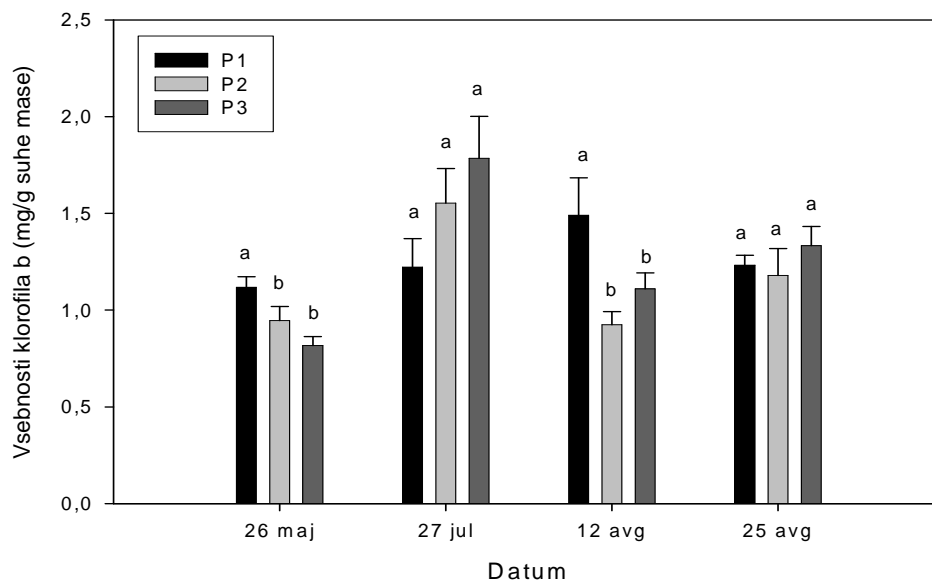
Slika 4.12. Potencialna fotokemična učinkovitost PS2 (F_v/F_m) pri ripeči zlati na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ med ploskvami znotraj istega datuma (a, b in c, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).

4.6. FOTOSINTEZNI PIGMENTI

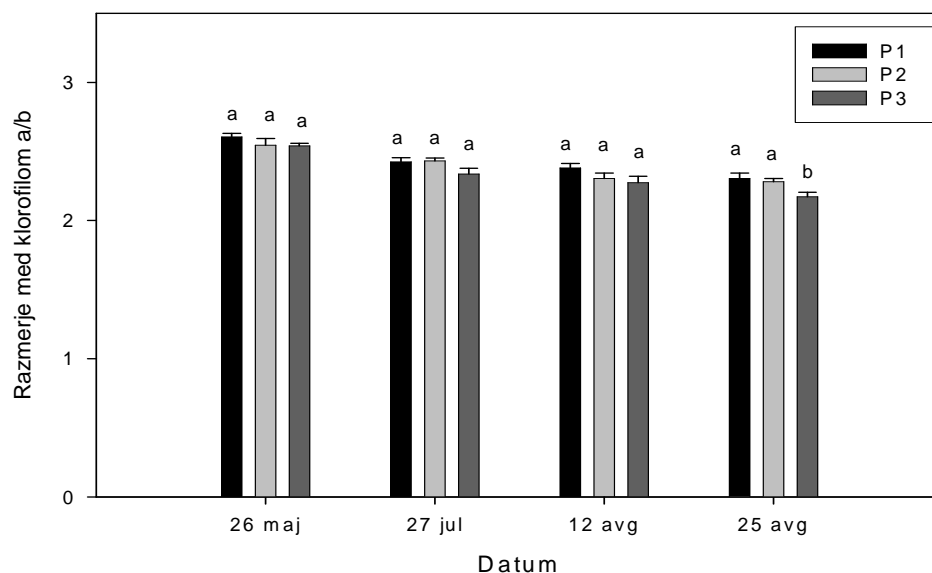
V juliju, torej v fazi cvetenja (Slika 4.22) je bila vsebnost klorofilov *a* (Slika 4.13) in *b* (Slika 4.14) najvišja. Opazen je trend naraščanja vsebnosti klorofilov *a* in *b* od začetka proti višku vegetacijske sezone in potem upad proti fazi senescence (priloga A, sliki A.13 in A.14). Statistična analiza kaže na značilne razlike med posameznimi ploskvami, vendar brez določenega vzorca. Vrednosti razmerja klorofilov *a/b* (Slika 4.15) so bile na vseh treh ploskvah na posamezen datum enake. Izjema je 25. avgust, ko so bile vrednosti na P3 značilno nižje od P1 in P2. Opazen je trend upadanja vrednosti razmerja klorofilov *a/b* od začetka proti koncu vegetacijske sezone (priloga A, slika A.15).



Slika 4.13. Vsebnost klorofila *a* pri šentjanževki na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ med ploskvami znotraj istega datuma (a in b, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).

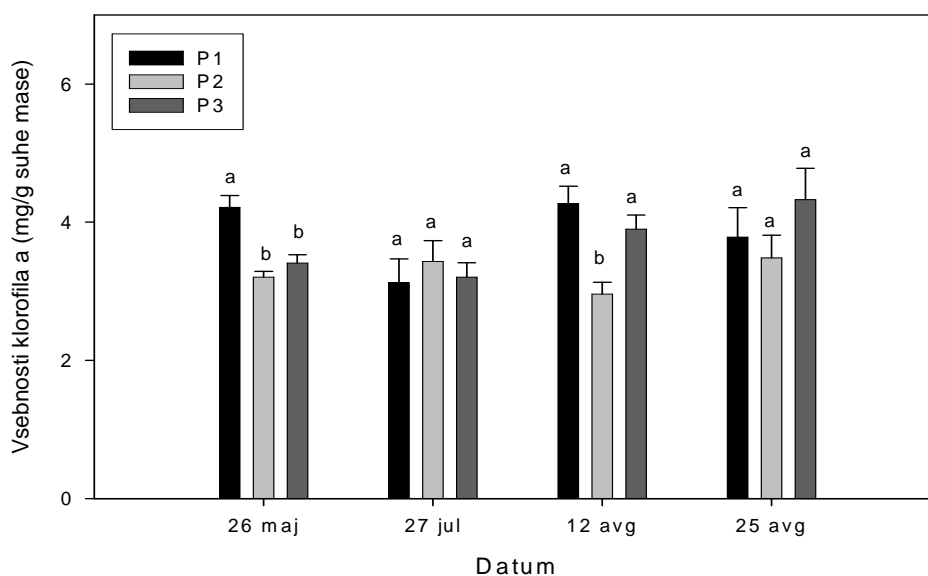


Slika 4.14. Vsebnost klorofila *b* pri šentjanževki na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ med ploskvami znotraj istega datuma (a in b, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).

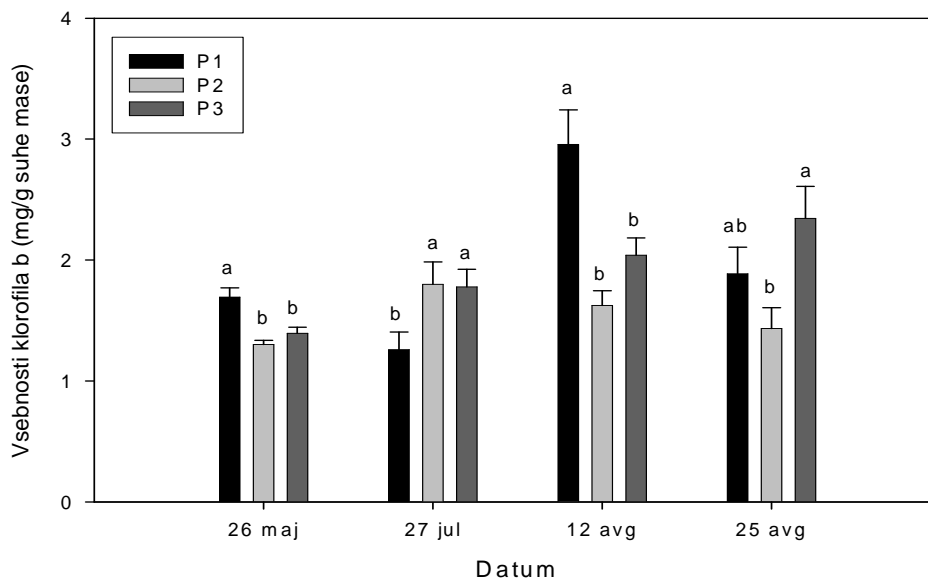


Slika 4.15. Razmerje vsebnosti klorofilov a/b pri šentjanževki na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ med ploskvami znotraj istega datuma (a in b, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).

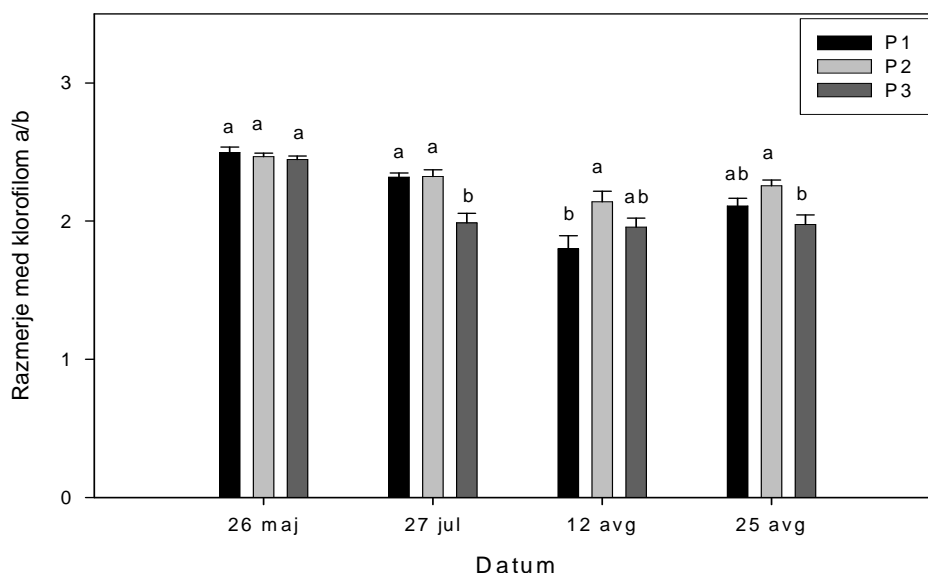
Vsebnost klorofila *a* pri navadnem rmanu (Slika 4.16) 27. julija in 25. avgusta ne kaže značilnih razlik med ploskvami. 26. maja in 12. avgusta pa so značilne razlike prisotne. Trenda oziroma vzorca preko vegetacijske sezone iz rezultatov ne moremo razbrati (priloga A, slika A.16). Opazno je le, da so na datume, ko so bile statistično značilne razlike prisotne, vrednosti na P2 vedno manjše od tistih na P1. Pri klorofilu *b* (Slika 4.17) je med P2 in P3 opaziti podobnost preko vegetacijskega obdobja. P1 je od P2 in P3 značilno različna, vendar ne nujno vedno značilno večja. Na P1 in P2 je mogoče opaziti trend naraščanja vsebnosti klorofila *b* vse do sredine avgusta (priloga A, slika A.17) in potem upadanje vrednosti klorofila *b*. Na P3 so vrednosti vsebnosti klorofila *b* do konca avgusta le naraščale. Razmerje vsebnosti klorofila *a/b* (Slika 4.18) je bilo, razen na začetku vegetacijske sezone, preko celotnega obdobja izvajanja meritev med ploskvami značilno različno. Najvišje vrednosti so bile na P2. Viden je trend padanja razmerja klorofila *a/b* od začetka proti koncu vegetacijske sezone (priloga A, slika A.18).



Slika 4.16. Vsebnost klorofila *a* pri navadnem rmanu na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ med ploskvami znotraj istega datuma (a in b, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).

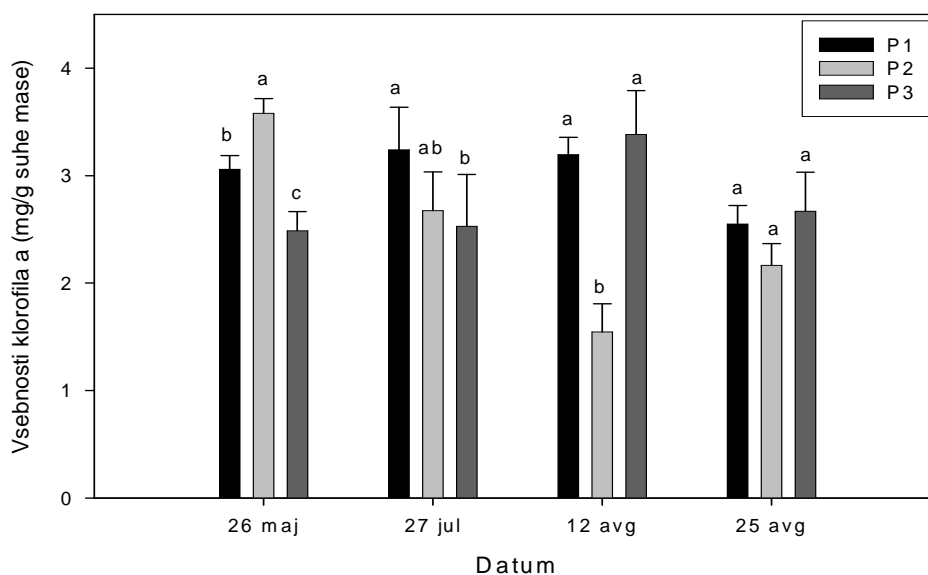


Slika 4.17. Vsebnost klorofila *b* pri navadnem rmanu na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ med ploskvami znotraj istega datuma (a in b, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).

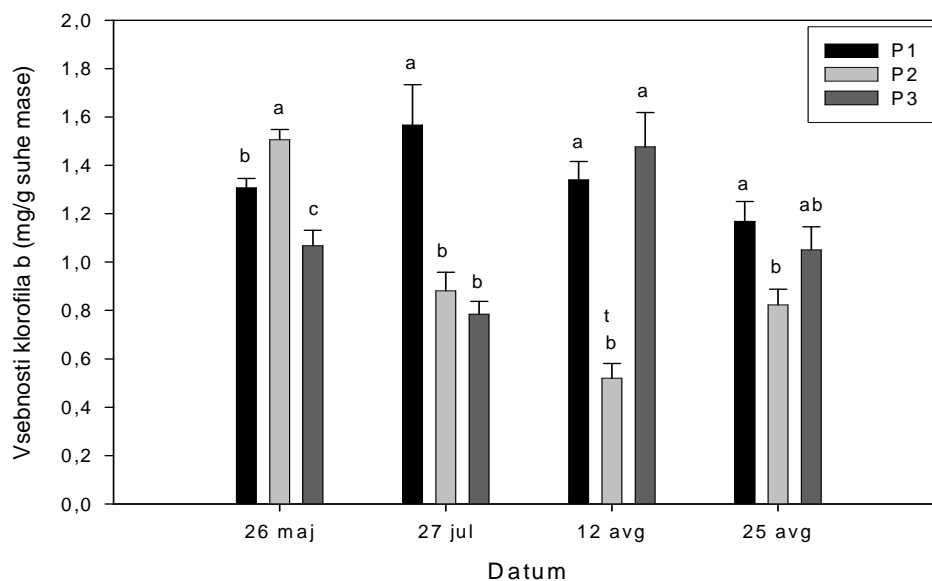


Slika 4.18. Razmerje vsebnosti klorofilov a/b pri navadnem rmanu na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ med ploskvami znotraj istega datuma (a in b, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).

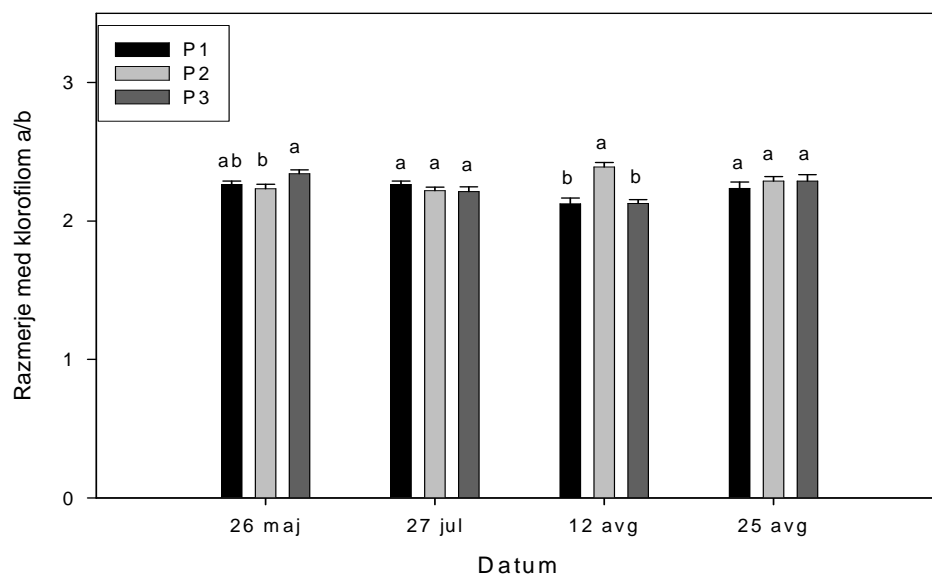
Na začetku vegetacijske sezone so bile vsebnosti klorofila *a* (Slika 4.19) pri ripeči zlati značilno različne na vseh treh ploskvah, pri čemer se je najvišja vsebnost klorofila *a* pojavljala na P2, sledi P1 in z najnižjo vsebnostjo P3. konec avgusta, ko so rastline prehajale v obdobje senescence (Slika 4.26), so bile vsebnosti klorofila *a* na vseh treh ploskvah značilno enake. Na P1 je bila vsebnost klorofila *a* od začetka vegetacijskega obdobja pa do faze senescence enaka (priloga A, slika A.19). Statistično značilnih razlik nismo opazili. Na P2 vrednosti padajo do druge polovice faze plodenja in potem proti fazi senescence spet narastejo. Na P3 je opazen trend naraščanja klorofila *a* in potem v fazi senescence zabeležimo padec. Tudi v primeru vsebnosti klorofila *b* (Slika 4.20) so bile največje značilne razlike na začetku vegetacijske sezone, pri čemer je bilo največ klorofila *b* na P2, sledi P1 in z najmanjšo vsebnostjo P3. Po tem datumu so bile vrednosti na P2 vedno najnižje. Trendi tekom vegetacijske sezone so med ploskvami različni (priloga A, slika A.20). Razmerje vsebnosti klorofila *a/b* (Slika 4.21) je bilo med ploskvami 26. maja in 12. avgusta značilno različno, 27. julija in 25. avgusta pa razlike niso opazne. Posebnega vzorca razmerja vsebnosti klorofila *a/b* iz rezultatov ne moremo razbrati.



Slika 4.19. Vsebnost klorofila *a* pri ripeči zlati na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ med ploskvami znotraj istega datuma (a, b in c, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



Slika 4.20. Vsebnost klorofila *b* pri ripeči zlati na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ med ploskvami znotraj istega datuma (a, b in c, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



Slika 4.21. Razmerje vsebnosti klorofilov a/b pri ripeči zlati na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ med ploskvami znotraj istega datuma (a in b, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).

4.7. RAST IN RAZVOJ RASTLIN

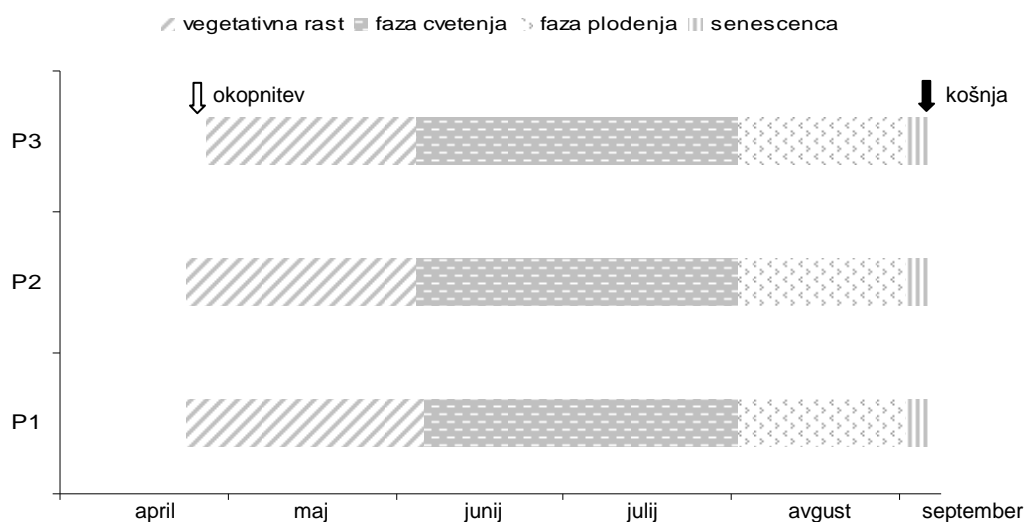
4.7.1. Fenološke faze

Fenologijo rastlin smo spremljali dve leti zaporedoma in sicer leta 2001 in 2002. Na spodnjih diagramih so prikazane fenološke faze v razvoju šentjanževke, navadnega rmana in ripeče zlatice za obe leti. Pri vseh treh rastlinah se je vegetacijski razvoj začel že pod snegom z rastjo prvih listov. Zato smo kot začetek diagrama fenoloških faz definirali čas okopnitve na posameznih ploskvah.

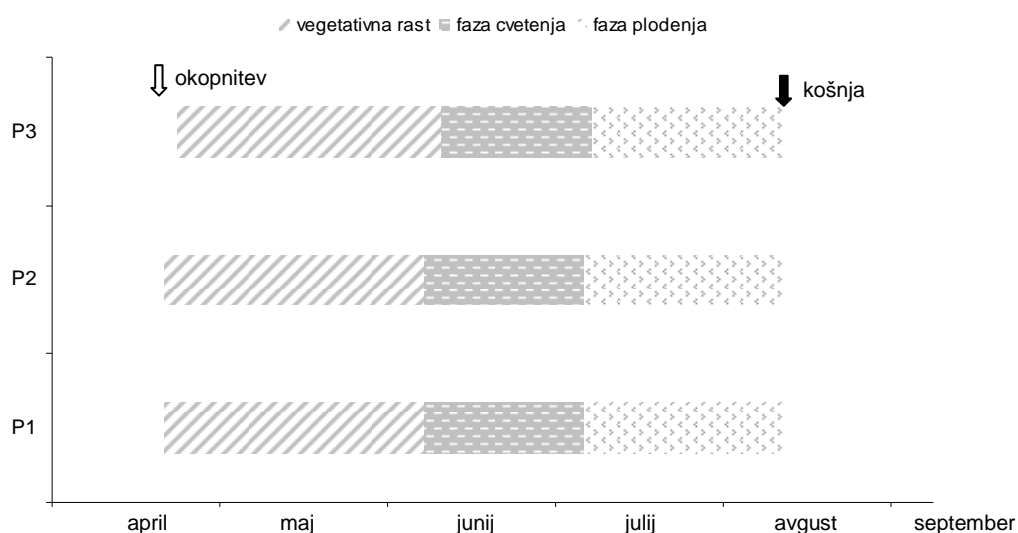
Leta 2001 je sneg na P2, ki ni dodatno zasnežena, obležal do tretjega tedna v aprilu, na P3, ki je dodatno zasnežena in teptana pa celo po 1.maju. Istega leta so bile vse tri ploskve v začetku septembra popasene ali pokošene. Šentjanževka in ripeča zlatica sta na vseh treh ploskvah zaključili z vegetacijsko sezono, medtem ko je bil za navadni rman zaključek vegetacijske sezone negotov. Leta 2002 je sneg skopnel približno en teden prej kot leta 2001 na vseh treh ploskvah. Enako kot v letu 2001 je sneg najdalje obležal na P3. Paša se je leta 2002 začela zelo zgodaj in sicer so bile ripeče zlatice na P1 in P2 obžrte že 25.junija. Razvoj so nadaljevali novi poganjki že objedenih rastlin. Ponovna paša se je odvijala po 6. juliju in takrat so bile popasene vse tri vrste vzorčnih rastlin na vseh treh ploskvah. Po 10.avgustu fenoloških faz nismo več spremljali, ker so bile vse tri ploskve pokošene. Vse rastline vegetacijske sezone niso uspele zaključiti. Do tega datuma sta šentjanževka in ripeča zlatica dosegli fazo plodenja, medtem ko je navadni rman ni.

Šentjanževka je z začetkom vegetacijskega razvoja leta 2001 (Slika 4.22) na P1 in P2 začela istočasno in sicer v drugi polovici aprila. Pri rastlinah na P3 je zaradi zakasnjene okopnitve začetek razvoja zamujal za skoraj en teden in se je začel v zadnjem tednu aprila. Skladno s tem je na P3 zamujala faza rasti vegetativnih poganjkov. Vse ostale faze, od faze cvetenja naprej so se časovno popolnoma ujele. Tako se je tudi faza plodenja začela in zaključila na vseh treh ploskvah praktično istočasno. Rastline so zaključile fenološki razvoj s fazo senescence. Trajanje posameznih faz je bilo pri šentjanževki na vseh preiskovanih ploskvah bolj ali manj enako. Tudi leta 2002 (Slika 4.23) je šentjanževka začela z začetkom vegetacijskega razvoja na P1 in P2 istočasno in sicer v drugi polovici aprila. Pri rastlinah na P3 je ta faza, podobno kot leta 2001, zamujala za skoraj en teden. Razlika med

ploskvami je bila opazna tudi v začetku faze cvetenja, ko je šentjanževka na P3 časovno ponovno zaostajala za P1 in P2. Nadalje so se fenološke faze na preiskovanih ploskvah bolj ali manj ujemale. Šentjanževka je na vseh treh ploskvah dosegla fazo plodenja, medtem ko faza senescence ni nastopila na nobeni od preiskovanih ploskev. Trajanje posameznih faz je bilo leta 2002 pri šentjanževki na vseh preiskovanih ploskvah bolj ali manj enako.

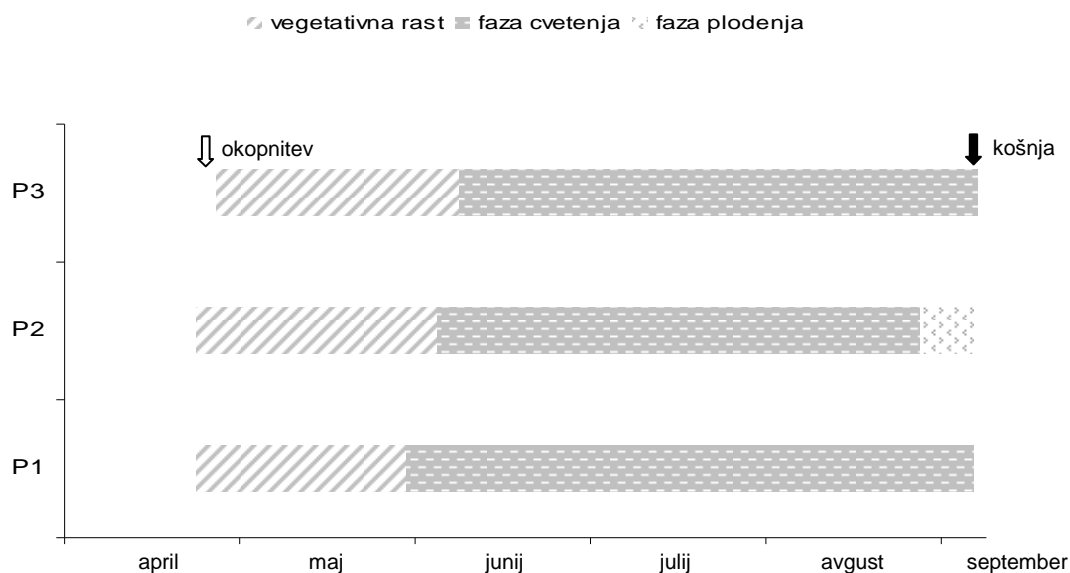


Slika 4.22. Fenološke faze pri šentjanževki na treh ploskvah v letu 2001

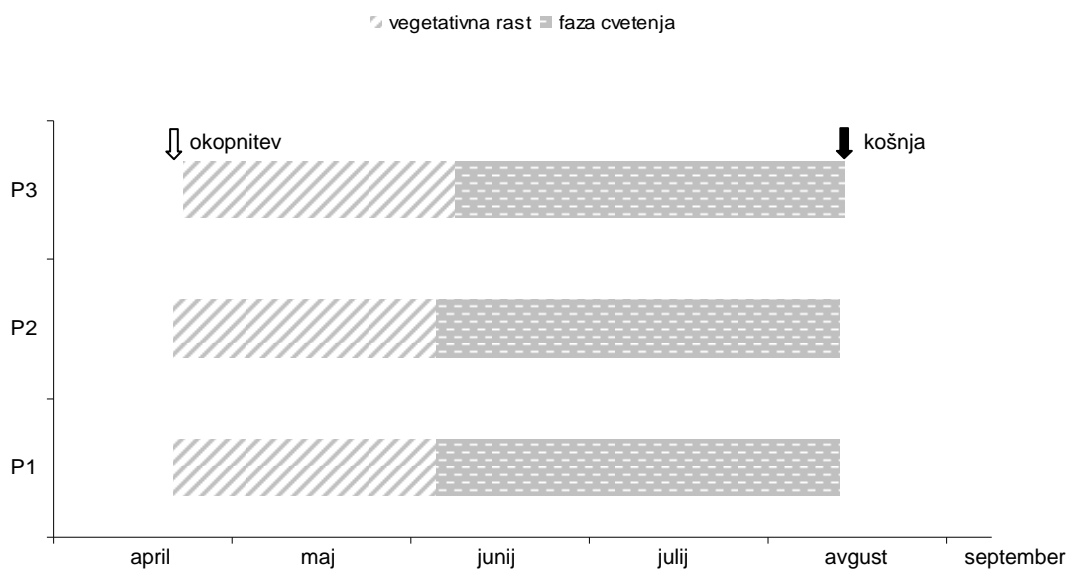


Slika 4.23. Fenološke faze pri šentjanževki na treh ploskvah v letu 2002

Pri navadnem rmanu se je začetek vegetacijskega razvoja leta 2001 (Slika 4.24) na P1 in P2 začel istočasno in sicer v drugi polovici aprila. Pri rastlinah na P3 je ta faza zamujala za skoraj en teden oziroma približno 5 dni. Tako se je na tej ploskvi začetek vegetacijskega razvoja začel v zadnjem tednu aprila. Faza vegetativne rasti je trajala na vseh preiskovanih ploskvah približno enako dolgo in je bila skladno s tem na P3 nekoliko zakasnjena v primerjavi s P1 in P2. Sorazmerno s tem so rastline na P1 začele tudi najhitreje cveteti in sicer en teden prej kot na P2 in dobrih 10 dni prej kot na P3. Faza cvetenja je na P1 in P3 trajala vse do začetka septembra, ko je prišlo do paše in košnje. Rastline so plodile le na P2. Faza senescence ni nastopila na nobeni od preiskovanih ploskev. Leta 2002 (Slika 4.25) se je začetek vegetacijskega razvoja pri rmanu začel v enakem obdobju kot leto prej in sicer v drugi polovici aprila, vendar pa se je za razliko od leta 2001 vegetacijski razvoj začel na vseh treh preiskovanih ploskvah skoraj istočasno. Rastline na P3 so v primerjavi s P1 in P2 le malo zamujale z začetkom vegetacijskega razvoja. Faza plodenja ni nastopila na nobeni od treh ploskev zaradi paše in kasneje v avgustu še košnje. Trajanje posameznih faz je bilo leta 2002 pri navadnem rmanu na vseh preiskovanih ploskvah bolj ali manj enako.

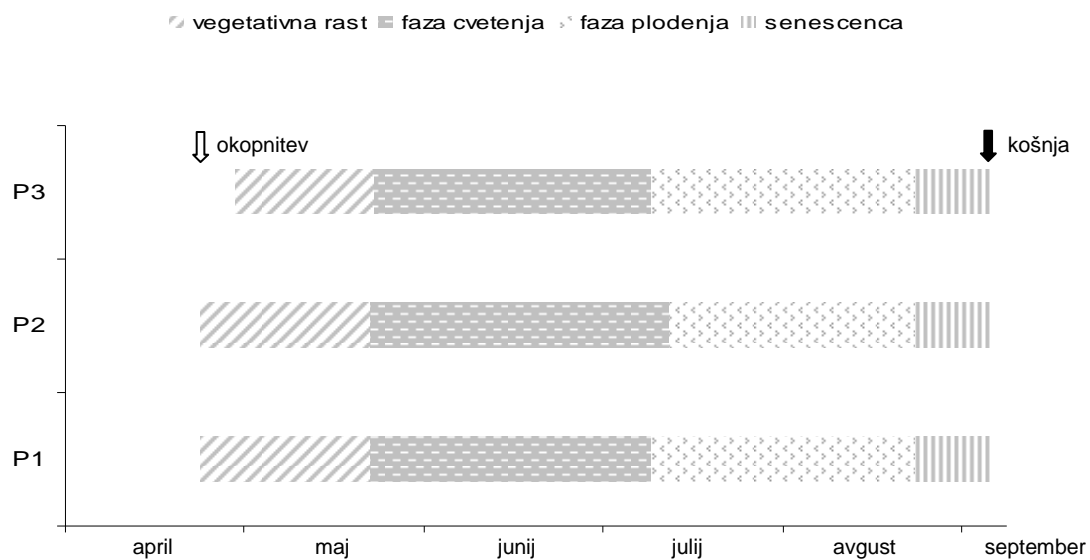


Slika 4.24. Fenološke faze pri navadnem rmanu na treh ploskvah v letu 2001

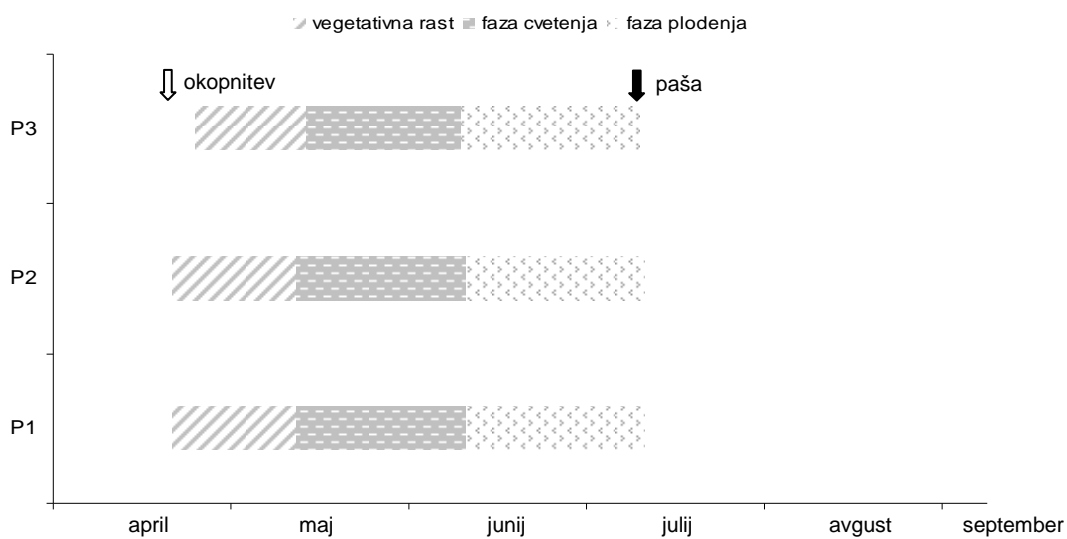


Slika 4.25. Fenološke faze pri navadnem rmanu na treh ploskvah v letu 2002

Ripeča zlatica je leta 2001 (Slika 4.26) začela z začetkom vegetacijskega razvoja na P1 in P2 istočasno in sicer v drugi polovici aprila. Pri rastlinah na P3 je ta faza zamujala za en teden in se je začetek vegetacijskega razvoja začel konec aprila. Vse ostale faze, od faze cvetenja naprej, so se časovno ujele. Tako se je tudi faza plodenja začela in zaključila na vseh treh ploskvah praktično istočasno. Rastline so zaključile fenološki razvoj s fazo senescence. Trajanje posameznih fenoloških faz, z izjemo faze vegetativne rasti na P3, je bilo pri ripeči zlati na vseh preiskovanih ploskvah bolj ali manj enako. Leta 2002 se je začetek vegetacijskega razvoja ripeče zlatice (Slika 4.27) začel skoraj teden prej kot leta 2001. Rastline na P3 so, tako kot leto prej, v primerjavi s tistimi na P1 in P2 zamujale z začetkom pojavljanja za približno en teden. Vse ostale faze, od faze cvetenja naprej, so se ponovno časovno ujele. Tako se je tudi faza plodenja začela na vseh treh ploskvah praktično istočasno. Trajanje posameznih fenoloških faz, z izjemo začetne faze na P3, je bilo pri ripeči zlati na vseh preiskovanih ploskvah bolj ali manj enako. V primerjavi z letom 2001 pa so bile leta 2002 posamezne fenološke faze precej krajše.



Slika 4.26. Fenološke faze pri ripečih zlati na treh ploskvah v letu 2001

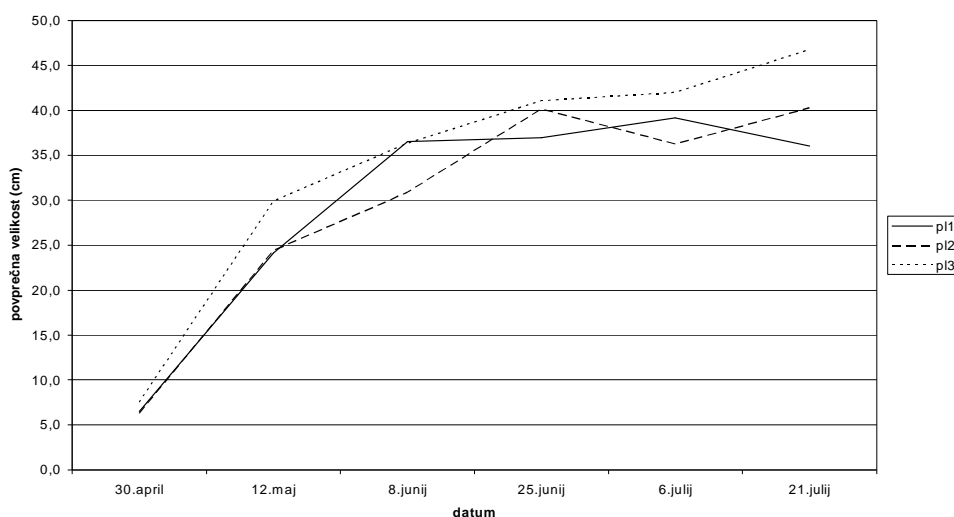


Slika 4.27. Fenološke faze pri ripečih zlati na treh ploskvah v letu 2002

4.7.2. Velikost rastlin

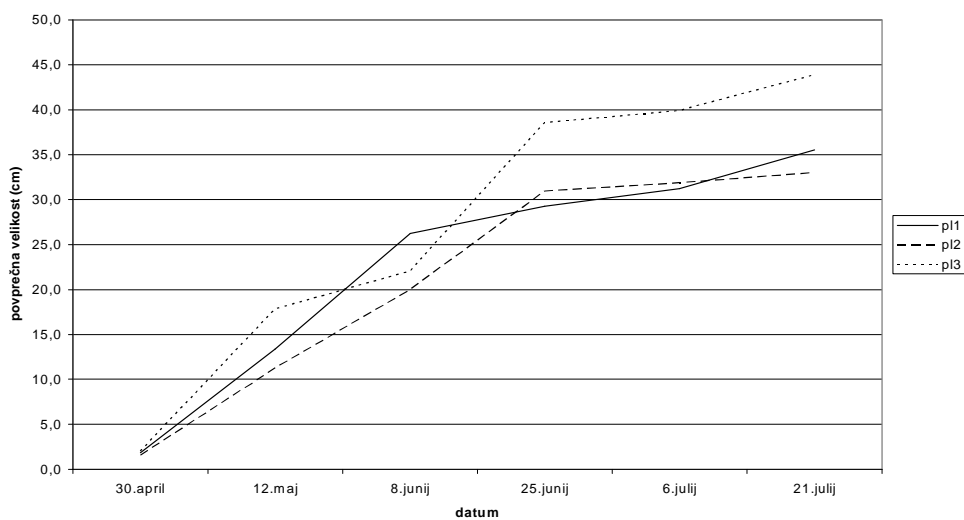
Na spodnjih diagramih je prikazana rast rastlin šentjanževke, navadnega rmana in ripeče zlatice. Pri spremljanju rasti rastlin smo bili odvisni tudi od zunanjih dejavnikov okolja, kot sta paša in košnja, zato grafi povprečnih velikosti rastlin časovno ne sovpadajo popolnoma z grafi, ki prikazujejo fenološke faze. Spremljanje velikosti rastlin smo zaključili s trenutkom, ko je bil popasen apikalni del rastline, medtem ko smo fenološki razvoj še vedno lahko spremljali na stranskih poganjkih.

Kot je razvidno iz grafa (Slika 4.28) so bile preko celotnega obdobja rasti pri šentjanževki najvišje rastline na P3. Rastline na P1 in P2 so bile na začetku vegetacijske sezone približno enako velike, kasneje pa se trendi povprečnih vrednosti njihove velikosti križajo, vendar po časovni lestvici ne prestopajo rasti rastlin na P3.



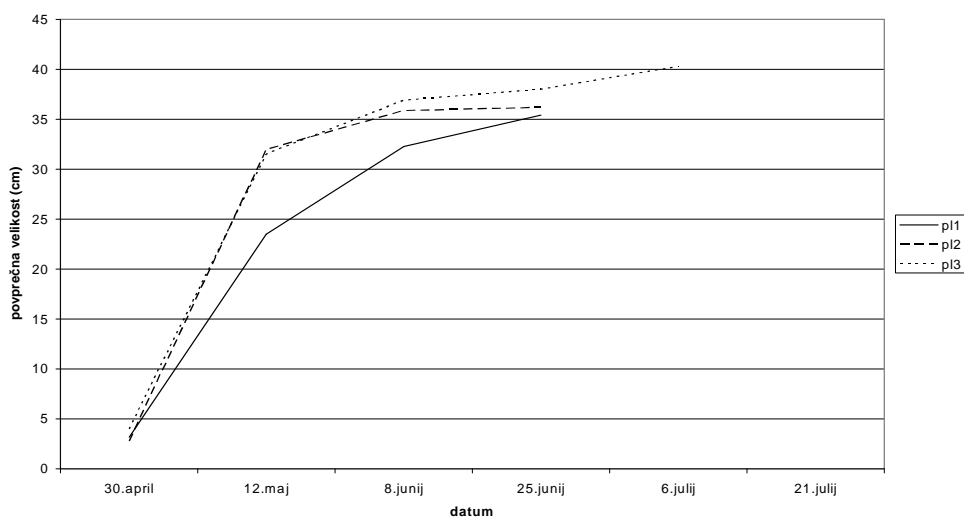
Slika 4.28. Potek rasti pri šentjanževki na treh ploskvah

Podoben potek rasti opazimo tudi pri navadnem rmanu (Slika 4.29). Preko celotnega obdobja rasti so bile najvišje rastline na P3, sledijo jim rastline na P1, najnižje pa so bile rastline na P2.



Slika 4.29. Potek rasti pri navadnem rmanu na treh ploskvah

Trend rasti ripeče zlatice (Slika 4.30) je na vseh treh ploskvah približno enak. V obdobju vegetacijskega razvoja, ki sovpada s fenološko fazo podaljševanja stebela in začetka plodenja, so bile najvišje rastline na P2 in P3. Kasneje rastline na P3 rastejo hitreje kot na P2. Od 25.junija naprej primerjava ni bila več mogoča zaradi paše na P1 in P2.

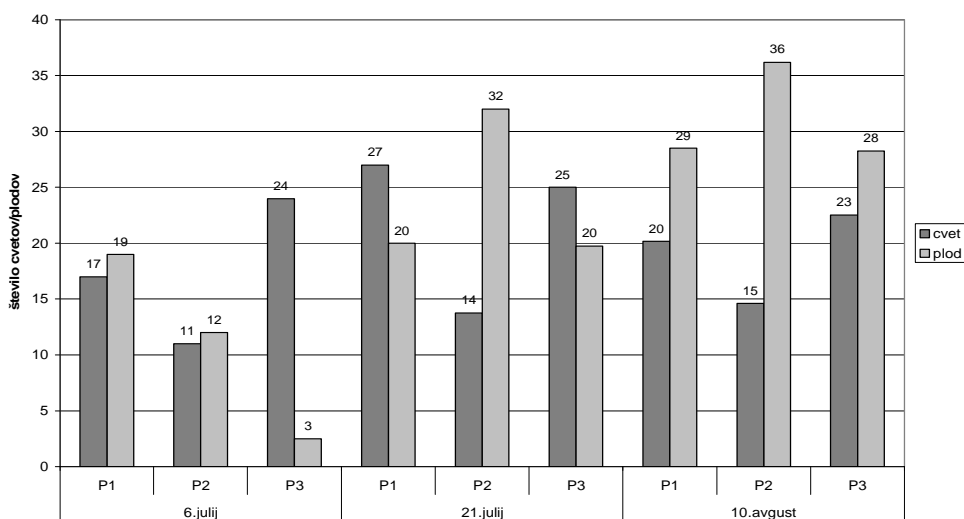


Slika 4.30. Potek rasti pri ripeči zlatici na treh ploskvah

4.7.3. Uspešnost reprodukcije

Kot pokazatelj uspešnosti reprodukcije smo preko vegetacijske sezone v letu 2002 spremljali razmerje cvet:plod pri šentjanževki in ripeči zlati. Navadni rman leta 2002 ni dosegel fenološke faze plodenja, zato rezultatov za rman ne podajamo. Cvetenje in plodenje smo spremljali do 10. avgusta. Po tem datumu fenoloških faz vegetacijskega razvoja nismo več spremljali, ker so bile vse tri preiskovane ploskve pokošene. Podatkov za ripečo zlatico na P1 in P2 za obdobje med 25. junijem in 21. julijem ne podajamo, ker so bile rastline 25. junija in 6. julija popasene. Časovni mejniki na spodnjih grafih (Slika 4.31, Slika 4.32) sovpadajo s fenološko fazo plodenja na grafih, ki prikazujejo fenološke faze za leto 2002 (Slika 4.23, Slika 4.27).

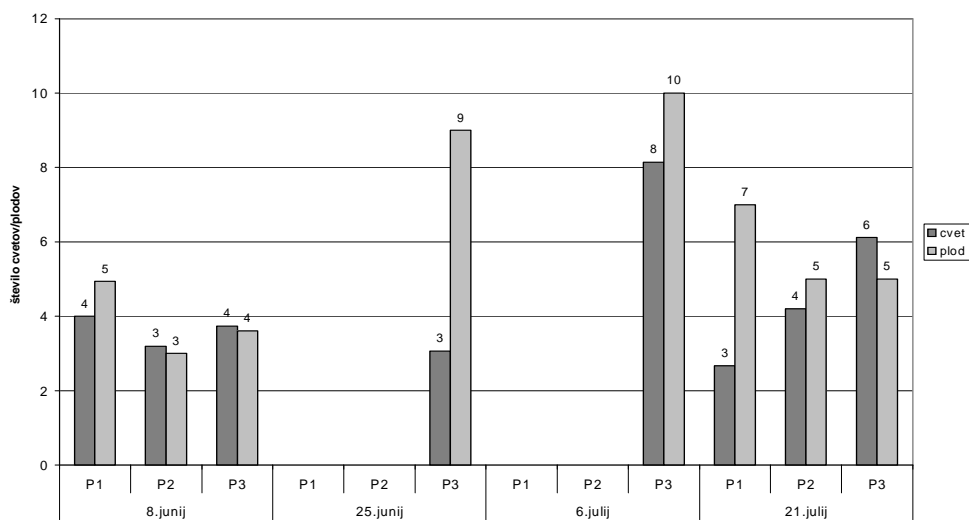
Šentjanževka je v letu 2002 s plodenjem začela v prvem tednu julija (Slika 4.31). Iz grafa je razvidno, da število plodov, ki omogoča nadaljnje razmnoževanje rastline s pomočjo semen, po časovni lestvici narašča. Rastline so na vseh treh ploskvah razvile plodove. Primerjava po posameznih ploskvah kaže, da se je do 10. avgusta največ semen razvilo na P2.



Slika 4.31. Uspešnost reprodukcije pri šentjanževki na treh ploskvah

Ripeča zlatica je, za razliko od šentjanževke, s plodenjem v letu 2002 začela že v prvi polovici junija (Slika 4.32). Plodovi so se razvili na vseh treh preiskovanih ploskvah. Tudi tukaj opazimo, da število plodov po časovni lestvici narašča, vendar v tem primeru le do

začetka julija, ko začne zaradi postopnega zaključka vegetacijske sezone število cvetov in plodov počasi upadati. Primerjava po posameznih ploskvah je zaradi vmesne paše nemogoča.



Slika 4.32. Uspešnost reprodukcije pri ripeči zlati na treh ploskvah

4.8. VPLIV POSAMEZNIH DEJAVNIKOV

Da bi preverili kako sta zasneževanje in teptanje posamezno ali sočasno vplivala na preiskovane parametre in ali je kateri od njiju imel bolj značilen vpliv, smo izvedli dvosmerno analizo variance s Holm-Sidak post hoc testom pri $p < 0,05$. V preglednici (Preglednica 4.1) so zbrani rezultati vplivov zasneževanja in/ali teptanja na merjene parametre. Kot je pokazala statistična analiza, nobeden od dejavnikov ni imel vpliva na potencialno fotokemično učinkovitost PS2 in vsebnost klorofila *a* pri nobeni preiskovani vrsti.

Na potek neto FS je pri šentjanževki in navadnem rmanu značilno vplivalo zasneževanje v kombinaciji s teptanjem. Sočasen vpliv zasneževanja in teptanja je znižal vrednosti neto FS. Pri ripeči zlati na neto FS značilno nista vplivala ne zasneževanje ne teptanje niti kombinacija obeh dejavnikov.

Na potek TR je pri šentjanževki in navadnem rmanu vplivalo zasneževanje, ki je povzročilo znižanje parametra, medtem ko teptanje ni imelo vpliva na potek TR. Pri ripeči zlati pa je bilo teptanje tisti dejavnik, ki je značilno znižal vrednosti TR.

Zasneževanje je pri šentjanževki značilno vplivalo na znižanje parametra UIV, medtem ko je pri navadnem rmanu značilno znižanje povzročil sočasen vpliv zasneževanja in teptanja. Pri ripeči zlati je bilo teptanje tisti dejavnik, ki je značilno znižal vrednosti UIV.

Vsebnost klorofila *b* se je pri vseh treh preiskovanih vrstah značilno zvišala pod vplivom zasneževanja, medtem ko teptanje na vsebnost klorofila *b* ni imelo vpliva. Na razmerje klorofilov *a/b* je pri šentjanževki in navadnem rmanu vplivalo zasneževanje v kombinaciji s teptanjem, ki je značilno znižalo vrednosti parametra. Pri ripeči zlati je za razliko od tega bilo zasneževanje tisti dejavnik, ki je značilno znižal vrednosti parametra.

Preglednica 4.1 Vplivi zasneževanja in/ali teptanja na preiskovane parametre; Enosmerna analiza variance s Holm-Sidak post hoc testom pri $p < 0,05$

Šentjanževka					
	Neto FS	TR	UIV	Kl <i>b</i>	Kl <i>a/b</i>
Z		↓	↓	↑	
T					
Z+T	↓				↓
Navadni rman					
	Neto FS	TR	UIV	Kl <i>b</i>	Kl <i>a/b</i>
Z		↓		↑	
T					
Z+T	↓		↓		↓
Ripeča zlatica					
	Neto FS	TR	UIV	Kl <i>b</i>	Kl <i>a/b</i>
Z				↑	↓
T		↓	↓		
Z+T					

- Z vpliv zasneževanja
 T vpliv teptanja
 Z+T sočasen vpliv zasneževanja in teptanja
 ↑ značilno povišane vrednosti parametra pod vplivom zasneževanja/teptanja
 ↓ značilno znižane vrednosti parametra pod vplivom zasneževanja/teptanja

5. RAZPRAVA

5.1. FIZIOLOŠKI ODZIV PREISKOVANIH VRST

5.1.1. Fotosinteza

Rastline, ki uspevajo v višje ležečih predelih, so pogosto izpostavljene stresnim odmerkom okoljskih dejavnikov, predvsem veliki intenziteti sevanja (vidne svetlobe in UV), ekstremnim temperaturnim razmeram, pomanjkanju vode, hranil, zračnemu onesnaženju in mehanskim vplivom. Odgovor rastline na okoljske dejavnike je kompleksen. Na rast in razvoj rastlin so na naših preiskovanih ploskvah, poleg mikroklimatskih razmer okolja, vplivali tudi drugi zunanji dejavniki, kot sta košnja in paša.

Vrednosti neto fotosinteze so bile pri vseh treh preiskovanih rastlinah in na vseh treh ploskvah najvišje v fazi cvetenja in plodenja, najnižje pa na začetku in na koncu vegetacijske sezone. Na začetku vegetacijske sezone je fotosinteza manjša ker listi še niso dosegli popolne velikosti in sprejemajo premalo svetlobe potrebne za fotosintezo, njihovi kloroplasti niso polno aktivni in proces karboksilacije še ni dosegel viška. V fazi senescence prihaja do razpada klorofila in degeneracije kloroplastov, kar vodi do postopnega prenehanja fotosinteze. Pri hitro rastočih zelnatih rastlinah neprestana rast in razvoj listov omogočata stalen privzem ogljika in rastlina je sposobna vzdrževati stabilno raven fotosintezne aktivnosti (Larcher 2003).

Najvišjo fotosintezno aktivnost smo zabeležili na ploskvi, ki v zimski sezoni ni zasneževana je pa teptana (P2). Negativne vplive na neto fotosintezo smo pri šentjanževki in navadnem rmenu zabeležili na ploskvi, ki je tako dodatno zasneževana kot tudi teptana (P3). Pri ripeči zlatici tega nismo opazili. Vse to sovпада z dejstvom, da so rastline na tej ploskvi najbolj izpostavljene stresnim dejavnikom. Najpogostejši in najverjetneje najvplivnejši ekstremni dejavniki za rast in razvoj rastlin so mehanske poškodbe (Newesely in sod. 2000, Rixen in sod. 2003, Wipf in sod. 2005), zmrzal in temperaturne spremembe tal (Cernusca in sod. 1990, Lichtenegger 1993, Newesely 1997, Gadiant in sod. 2000, Rixen in sod. 2001, 2003, Stöckli in sod. 2002), pomanjkanje kisika – anoksija (Cernusca in sod. 1990, Newesely 1997, Newesely in sod. 1994, 2000, Gadiant in sod. 2000, Rixen in sod. 2003, Stöckli in sod. 2002), ki je največkrat posledica povečane

količine vode v tleh, ter vnos hranil in drugih snovi v tla (Newesely in sod. 2000, Stöckli in sod. 2002, Rixen in sod. 2003, Wipf in sod. 2005).

Vomáčka in Pospíšilova (2003) sta dokazali, da tudi vodni stres značilno vpliva na stopnjo fotosinteze. Nekateri avtorji navajajo, da v rastlinski produkciji na nezasneževanih in zasneževanih smučiščih ni razlik (Stöckli in sod. 2002), oziroma da umeten sneg nima vplivov na rastlinsko produkcijo (Rixen in sod. 2002; Wipf in sod. 2005). Vendar nekateri drugi avtorji navajajo zmanjšanje biomase pod vplivom mehanske obremenitve (Maher 1990).

5.1.2. Transpiracija

Najvišje vrednosti transpiracije smo pri vseh treh preiskovanih rastlinah zabeležili v fazi cvetenja in plodenja, najnižje pa na začetku ali na koncu vegetacijske sezone. To bi lahko razložili z nepopolno razvitostjo prvih listov v začetku vegetacijske sezone in z večjo rigidnostjo listnih rež v fazi senescence. Na transpiracijo vplivajo trenutne razmere na rastišču, kot so vlažnost in temperatura zraka ter gibanje zračnih mas v okolici lista (Larcher 2003). Kljub temu pa naši rezultati kažejo, da obstaja povezava med zasneževanjem/teptanjem in potekom transpiracije. Najnižje vrednosti transpiracije smo pri šentjanževki in navadnem rmanu zabeželi na ploskvi, ki je v zimski sezoni samo zasneževana (P2). Izjema je bila ripeča zlatica, kjer smo najnižje vrednosti zabeležili na ploskvi, ki je v zimski sezoni samo teptana. Razlog za takšen rezultat je morda dejstvo, da so različne vrste rastlin drugače prilagojene rastišču na katerem rastejo, oziroma da posamezna vrsta razvije strategijo preživetja, ki ji v določenih mikroklimatskih razmerah omogočajo najzaneslivejše preživetje. V takšnih primerih se srečamo s prednostmi fenotipske aklimacije pred evlucijskimi adaptacijami (Totland in Alatalo 2002).

5.1.3. Učinkovitost izrabe vode (UIV)

Vnos CO₂ in izparevanje vode skozi listne reže potekata sinhrono. S stomatalno redukcijo transpiracije, je reducirana tudi vnos CO₂ potreben za fotosintezo. Povezava med asimilacijo CO₂ in porabo vode je izražena kot razmerje med stopnjo fotosinteze in stopnjo transpiracije, oziroma kot učinkovitost izrabe vode (UIV). Pri naravnih pogojih je gradient vode iz rastline do 20-krat višji kot gradient CO₂ v rastlino. Iz tega razloga poteka

evaporacija vode dosti hitreje kot sprejem CO₂. Pri maksimalno odprtih listnih režah je sprejem CO₂ veliko manjši kot je transpiracija. Najboljše razmerje med transpiracijo vode in vnosom CO₂ je doseženo, ko so listne reže delno odprte. To se najbolje opazi, ko se začnejo razmere pomanjkanja vode. Takrat sta oba procesa nekoliko omejena in je razmerje Fs/Tr največje (Larher 2003). Določena stopnja vodnega stresa povečuje UIV (Yu in sod. 2004). Pri skoraj zaprtih listnih režah se UIV močno zmanjša, ker je vnos CO₂ dosti bolj omejen kot transpiracija. Na rastišču je UIV odvisna od klimatskih razmer. V zgodnjih jutranjih urah je ponavadi UIV najvišja, ker je zrak še precej vlažen, stopnja fotosinteze pa je že dosegla svoj maksimum. Čez dan se relativna vlažnost zraka zmanjša, evaporacija je zaradi mešanja zračnih mas pospešena in razmerje Fs/Tr upade. Padeč razmerja Fs/Tr je, skladno z ontogenetskim razvojem, pri mnogih rastlinskih vrstah mogoče opaziti v fazi cvetenja, najkasneje pa v fazi plodenja. Razlog za to je padeč fotosintezne kapacitete (Larher 2003). Poleg vodnega stresa tudi vnos hranil v tla vpliva na razmerje Fs/Tr. Pri večjem vnosu hranil v tla je UIV večja kot pri manjšem vnosu (Yu in sod. 2004). Pri naših meritvah smo pri navadnem rmanu, skladno z ontogenetskim razvojem, opazili trend naraščanja UIV do druge polovice faze cvetenja oziroma pri ripeči zlatici do faze plodenja. Po tem so vrednosti UIV padale. Pri šentjanževki tega trenda nismo opazili. Pri analizi vpliva posameznih dejavnikov na UIV smo ugotovili, da so bile najnižje vrednosti tega parametra pri preiskovanih vrstah, posledica različnih dejavnikov. Tako za nobenega od dejavnikov ne moremo posplošeno trditi, da ima negativen vpliv na potek UIV pri rastlinah. Tudi v tem primeru se srečamo z različno prilagoditvijo rastlinskih vrst na rastišče na katerem rastejo.

5.1.4. Potencialna fotokemična učinkovitost PS2

Potencialna fotokemična učinkovitost PS2 je vrednotena posredno preko meritev klorofilne fluorescence. Pri listih, ki se razvijajo pri velikih intenzitetah sevanja, je maksimalna vrednost potencialne fotokemične učinkovitosti PS2 (Fv/Fm) med 0,80 in 0,83. Pri listih s senčnih rastišč se vrednosti gibljejo med 0,83 in 0,85. Vrednosti, ki so manjše od 0,72, so posledica fotoinhibicije (Critchley 1998). Fotoinhibicija se pojavi pri rastlinah, ki so izpostavljene stresnim razmeram. Mehanizmi fotoinhibicije so različni. Dinamična (kratkotrajna) fotoinhibicija je posledica poškodb proteina D1, ki jih povzroči sevanje. Ob

presežni intenziteti sevanja, ki se ne porablja sproti za regeneracijo ATP in NADH_2 , niti se v zadostni meri ne sprošča v obliki toplote, temveč vodi do razgradnje D1, hitrost razgradnje proteina D1 presega hitrost ponovne sinteze tega proteina. Rezultat je zmanjšana fotokemična učinkovitost PS2 (Demmig-Adams & Adams 1992). Kronična (dolgotrajna) fotoinhibicija pomeni fotooksidacijske poškodbe gradnikov fotosistema. Do kronične fotoinhibicije pride, kadar sproščanje presežne ekscitacijske energije ni zadostno, energija sevanja se porablja za fotokemično delo, vendar pa ni na razpolago dovolj NADP. Zato pride do aktiviranja kisika in nastajanja aktivnih kisikovih oblik, ki poškodujejo fotosintezni aparat. Mehanizmi sproščanja presežne ekscitacijske energije so oddajanje energije v obliki toplote (posledica prehajanja violaksantina v zeaksantin), v manjšem obsegu fluorescenca, Mehlerjeva in askorbat-peroksidazna reakcija ter fotorespiracija (Björkman & Demmig-Adams 1994, Adams & Barker 1998). Nizke temperature inhibitorno delujejo na encimsko aktivnost, zato se upočasnijo popravljalni procesi in tudi fiksacija ogljikovega dioksida v Calvinovem ciklu. Potreba po ATP in NADPH_2 se zmanjša, akceptorji elektronov ostajajo reducirani, elektroni se prenašajo na molekularni kisik ter druge molekule, pri čemer nastajajo prosti radikali in fotooksidacijske poškodbe kloroplasta se povečajo (Huner in sod. 1993, Bornman in sod. 1999). Po nekaterih avtorjih vodni stres vpliva na zmanjšanje fotokemične učinkovitosti PS2 (Murali & Teramura 1986), spet drugi pa navajajo, da vodni stres nanj nima značilnega vpliva (Vomáčka in Pospíšilova 2003). V našem primeru so bile izmerjene vrednosti potencialne fotokemične učinkovitosti PS2 le nekoliko manjše od 0,72, kar kaže na manjšo izpostavljenost stresnim razmeram. Pri analizi vplivov dejavnikov zasneževanja in/ali teptanja, je bila potencialna fotokemična učinkovitost PS2 preiskovan parameter, ki je pri vseh treh vrstah rastlin kazal neodvisnost od vpliva dejavnikov teptanja in zasneževanja. Vrednosti so bile na različnih ploskvah bolj ali manj enake. Torej to ni parameter občutljiv za določanje vpliva zasneževanja/taptanja na rastline. Potencialna fotokemična učinkovitost PS2 je bila v našem primeru sicer nekoliko zmanjšana, kar pa lahko pripišemo nekoliko spremenjenim razmeram na rastišču.

5.2. FOTOSINTEZNI PIGMENTI

Rastlina in njeni organi so v različnih fazah razvoja različno občutljivi na posamezne stresne dejavnike (Nilsen in Orcutt 1996). Kvantitativne in kvalitativne spremembe fotosinteznih pigmentov služijo kot pokazatelj vitalnosti rastline (Lichtenthaler 1993). Mlajše rastline so ponavadi manj odporne na stresne dejavnike (temperaturni, vodni in sevalni (PAR) stres) kot odrasle rastline. Stresne razmere pospešujejo nastajanje kisikovih radikalov, ki poleg drugih škodljivih učinkov povzročajo razgradnjo klorofila (Tausz in sod. 1999). Vomáčka in Pospíšilova (2003) sta dokazali, da se vplivi vodnega stresa na zmanjšanje vsebnosti klorofila *a* in *b* kažejo šele pri zelo hudem vodnem stresu. Nizke vrednosti klorofila *a*, ki se nahaja pretežno v reakcijskem centru PS2 in klorofila *b*, ki ga izoliramo predvsem iz kompleksa antenskih pigmentov, smo pri šentjanževki zabeležili pri mladih rastlinah in rastlinah tik pred fazo senescence, ko prihaja do razpada klorofila (Larcher 2003). Na vsebnost klorofila *a* pri nobeni od preiskovanih rastlin ni imelo vpliva niti zasneževanje niti teptanje. Sklepali bi lahko, da je vsebnost klorofila *a* verjetno odvisna od sprememb svetlobnega režima na mikrolokaciji in ne od vplivov, ki bi jih lahko imelo zasneževanje ali teptanje. Vsebnost klorofila *b* je edini preiskovani parameter, ki se je pod vplivom delovanja dejavnikov na smučišču zvišal. Pri vseh treh preiskovanih rastlinskih vrstah se je vsebnost klorofila *b* pod vplivom zasneževanja zvišala. Razmerje vsebnosti klorofilov *a/b* se v povprečju giblje okoli 3 (Larcher 2003). Vrednosti so močno odvisne od okoljskih dejavnikov in razmer v katerih rastlina raste. Pri listih, ki se razvijajo pri velikih intenzitetah sevanja, so vrednosti med 3,2 do 4, pri listih s senčnih rastišč pa so vrednosti nižje in sicer v intervalu 2,5 do 2,9 (Lichtenthaler 1987). V našem primeru so bile vrednosti med 2 in 2,6. Najnižje vrednosti razmerja vsebnosti klorofilov *a/b* so se pri šentjanževki in navadnem rmanu pojavljale ob sočasnem delovanju zasneževanja in teptanja (P3), medtem ko so se pri ripeči zlati najnižje vrednosti pojavljale pod vplivom zasneževanja (P1). Demmig-Adams in Adams (1992) razlagata zmanjšanje vsebnosti klorofila *a* in povečanje vsebnosti klorofila *b* kot del zaščitnega mehanizma, ki varuje fotosintezni aparat pred fotooksidacijskimi poškodbami.

5.3. RAST IN RAZVOJ RASTLIN

Iz analize fenološkega razvoja rastlin smo ugotovili, da so vse tri preiskovane vrste rastlin z razvojem začele najkasneje na ploskvi, ki je v zimskem obdobju dodatno zasneževana in teptana. Zaradi večjih količin in daljšega obležanja snega so bile začetne faze vegetacijskega razvoja na tej ploskvi, v primerjavi s ploskvama, ki nista teptani, zakasnjene. V našem primeru smo zabeležili približno enotedensko zakasnitev, nekateri avtorji (Cernusca in sod. 1990, Rixen in sod. 2004) pa navajajo tudi štirinajstdnevno zakasnitev začetka vegetacijskega razvoja. Zamik fenoloških faz je bil opazen še v začetku faze cvetenja, ko so rastline na neteptanih ploskvah že začele s cvetenjem, rastline na zasneževani in teptani pa še ne. Z začetkom faze plodenja so se faze vegetacijskega razvoja ujele pri večini rastlin. Med ploskvama, kjer ni sočasnega učinka zasneževanja in teptanja, praktično ni bilo razlik v časovnem poteku vegetacijskega razvoja. Iz tega lahko povzamemo, da dodatno zasneževanje samo po sebi v našem primeru ni bil tisti dejavnik, ki je omejeval vegetacijski razvoj, temveč je bil to sočasen učinek dodatnega zasneževanja in priprave smučarskih prog s teptanjem snega. Posledica tega je skrajšanje vegetacijske sezone rastline zaradi zakasnjene okopnitve. Do podobnih zaključkov so prišli tudi Rixen in sod. (2003), ki so prav tako ugotovili, da umeten sneg sam po sebi ne povzroča zakasnjene vegetacijskega razvoja, temveč da prihaja do zamika v razvoju rastlin zaradi močno zakasnjene okopnitve, ki je rezultat priprave smučarskih prog. V primeru teptanja snega se namreč njegova gostota zelo hitro dvigne. Pri temperaturah nad 0°C, ko je razmočenost snega večja, tudi nad 600 kg/m³ (Newesely 1997). Velike količine vodne mase na dodatno zasneženih progah pa vodijo do zakasnjene okopnitve in s tem skrajšanja vegetacijskega obdobja rastlin (Newesely in sod. 1994, Rixen in sod. 2001). Poleg zakasnjene razvoja ima teptanje, katerega rezultat je gostejša in tanjša snežna odeja s povečano toplotno prevodnostjo in zmanjšano prepustnostjo za pline (Newesely 1997, Rixen 2002), na rastline tudi druge neposredne vplive kot so poškodbe zaradi zmrzali, primankljaj kisika, okužbe z glivami in patogeni ter mehanske poškodbe rastlinskih tkiv (Cernusca in sod. 1990, Newesely 1997). Posledica je spremenjena vrstna sestava rastlin in zmanjšana biodiverziteta (Wipf in sod. 2005).

Zamik fenološke faze cvetenja ima lahko za posledico, da rastline nimajo dovolj časa, da bi semena dozorela, kar ima vpliv na reprodukcijski uspeh rastline (Kudo 1991, 1993). V našem primeru sta šentjanževka in ripeča zlatica, kljub paši in košnji in ne glede na zasneževanje in teptanje, uspeli razviti plodove na vseh treh ploskvah, medtem ko jih navadni rman ni. Število plodov, ki omogočajo nadaljnje razmnoževanje rastline s pomočjo semen, je po časovni lestvici naraščalo. Zaradi paše in košnje primerjava po ploskvah pri ripeči zlatici ni bila mogoča, medtem ko se je pri šentjanževki do košnje in paše največ semen razvilo na ploskvi, ki ni dodatno zasneževana je pa teptana. Ne glede na napisano pa ne moremo z gotovostjo trditi da bi enake rezultate dobili tudi v primeru, če bi rastline same uspešno zaključile vegetacijsko sezono. Ne gre namreč prezreti dejstva, da je največje število plodov na določen datum morda le posledica hitrejšega fenološkega razvoja. Z gotovostjo lahko povemo le, da je pri šentjanževki in ripeči zlatici bilo razmnoževanje mogoče tudi s pomočjo semen, medtem ko je bilo pri navadnem rmanu to manj verjetno. Kot je razvidno iz rezultatov, navadni rman z izjemo ploskve, ki ni zasneževana, ni plodil niti leta 2001 niti leta 2002. Nekateri avtorji so pri svojih raziskavah opazili upad cvetenja in slabšo kaljivost pri rastlinah na smučišču (Hofer 1981). Kot so ugotovili Newesely in sod. 2000, določene vrste rastlin, zaradi zakasnitve okopnitve, do prve košnje ne dosežejo stopnje plodenja pomembne za pojavljanje vrste v naslednjem letu. Veliko študij je potrdilo, da je uspešnost razmnoževanja alpskih in arktičnih vrst rastlin odvisna od časa okopnitve, ker le-ta močno vpliva na začetek cvetenja (Kudo 1991, 1993; Galen in Stanton 1991, 1999). Kljub temu pa se rastline vsako leto znova pojavijo na rastišču. Tukaj odigra pomembno vlogo nepoškodovan koreninski sistem. Z vidika varovanja korenin pred mehanskimi vplivi ima lahko umeten sneg celo pozitiven vpliv, saj debelejša snežna odeja nudi zaščito pred mehanskimi poškodbami (Rixen in sod. 2003). Mehanske poškodbe rastlin in tal zmanjšujejo odstotek pokrovnosti rastlin in s tem povečajo možnost za erozijo (Wipf in sod. 2004). Tudi odsotnost cvetenja lahko ima za posledico zmanjšanje številčnosti vrste in s tem pokrovnosti tal. Rastlinskim vrstam, ki se niso sposobne fenotipsko prilagoditi novim okoljskim pogojem v smislu rasti in reprodukcije, se gostota pojavljanja na rastišču zmanjša (Totland in Alatalo 2002). Razmere na dodatno zasneženih smučiščih favorizirajo rastlinske vrste s kratko vegetacijsko periodo (Wipf in sod. 2002, 2005, Stöckli in sod. 2002).

Pri vseh treh preiskovani vrstah so bile rastline najvišje na ploskvi, ki je v zimskem obdobju zasneževana in teptana. Zaradi največjega okoljskega stresa bi lahko pričakovali, da rastline na tej ploskvi ne bodo kazale takšnega trenda. Najverjetneje je vzrok za takšen rezultat način priprave snega s snowmi, ki na rastline delujejo kot nutrienti. Ploskev, kjer so rastline kazale najvišji trend rasti se nahaja na območju smučarske proge, ki je v zimskem času utrjevana za tekmovalne namene. Utrjevanje smučarskih prog poteka s pripravki, ki vsebujejo nutriente za rastline (urea, NPK, PTX). Poleg tega pa je tudi sam umeten sneg obogaten z minerali, ki so pomembni za rast rastlin (Newesely in sod. 2000). Kljub temu dejstvu pa nekateri avtorji (Wipf in sod. 2005) ugotavljajo, da rastlinska produkcija na dodatno zasneženih progah ni nič višja kot na progah z naravnim snegom. Predvsem pa ima vnos hranil v tla na rastline različne učinke. Pri določenih vrstah rastlin pospešuje prirast biomase pri drugih pa jo zavira (Rixen in sod. 2003).

5.4. POVZETEK VPLIVOV POSAMEZNIH DEJAVNIKOV

Kot je bilo razvidno iz analize vplivov zasneževanja in/ali teptanja na preiskovane parametre se pri šentjanževki in navadnem rmanu pojavlja podoben vzorec. Razliko smo opazili le v primeru parametra UIV. Zasneževanje ali zasneževanje v kombinaciji s teptanjem je bil pri šentjanževki in navadnem rmanu tisti dejavnik, ki je povzročil značilno znižanje ali zvišanje vrednosti preiskovanega parametra (neto FS, TR, UIV, kl *b* in kl *a/b*). Pri večini preiskovanih parametrov se je na račun zasneževanja pokazalo značilno znižanje vrednosti parametra. Le vrednosti klorofila *b* so se pod vplivom zasneževanja zvišale. Pri ripeči zlatici vplivov zasneževanja v kombinaciji s teptanjem nismo opazili pri nobenem preiskovanem parametru. Glede na to, da so razmere na smučišču običajno posledica sočasnega delovanja zasneževanja in teptanja, bi lahko zaljučili, da je ripeča zlatica morda tista, ki je izmed treh preiskovanih vrst rastlin najbolj prilagojena na značilne mikroklimatske razmere na smučišču. Zanimivo je tudi, da na potencialno fotokemično učinkovitost PS2 in vsebnost klorofila *a* pri nobeni od preiskovanih rastlin ni imelo vpliva niti zasneževanje niti teptanje. Sklepali bi lahko, da sta potencialna fotokemična učinkovitost PS2 in vsebnost klorofila *a* verjetno odvisna od sprememb svetlobnega režima na mikrolokaciji in ne od vplivov, ki bi jih lahko imelo zasneževanje ali teptanje.

6. SKLEPI

Kot kažejo rezultati naše raziskave se pri šentjanževki in navadnem rmanu pojavlja podoben vzorec vplivov zasneževanja in/ali teptanja na preiskovane parametre, medtem ko je ripeča zlatica kazala drugačne odzive. Pri ripeči zlatici vplivov zasneževanja v kombinaciji s teptanjem nismo opazili pri nobenem preiskovanem parametru.

Na potek neto fotosinteze je pri šentjanževki in navadnem rmanu značilno vplivalo zasneževanje v kombinaciji s teptanjem. Najvišja fotosintezna aktivnost je bila večinoma zabežena na ploskvi, ki je zimski sezoni le teptana. Sočasen vpliv zasneževanja in teptanja je vrednosti neto fotosinteze značilno znižal. Najnižje vrednosti neto fotosinteze smo zabeležili na ploskvi, ki je tako dodatno zasneževana kot tudi teptana. Vse to sovпада z dejstvom, da so rastline na tej ploskvi najbolj izpostavljene stresnim dejavnikom. Pri ripeči zlatici na neto fotosintezo nista imela vpliva ne zasneževanje ne teptanje.

Na vrednosti transpiracije je pri šentjanževki in navadnem rmanu vplivalo zasneževanje, ki je povzročilo značilno znižanje parametra, medtem ko samo teptanja ali zasneževanje v kombinaciji s teptanjem ni imelo vpliva na preiskovan parameter. Najvišje vrednosti transpiracije smo v večini primerov zabeželi na ploskvi, ki je zimski sezoni le teptana. Pri ripeči zlatici pa je teptanje značilno znižalo vrednosti transpiracije, medtem ko zasneževanje v kombinaciji s teptanjem na preiskovan parameter ni imelo vpliva.

Parameter UIV se je pod vplivom zasneževanja pri šentjanževki značilno znižal, medtem ko se je pri navadnem rmanu vrednost parametra značilno znižala pri sočasnem vplivu zasneževanja in teptanja, pri ripeči zlatici pa pod vplivom teptanja. Pri šentjanževki in navadnem rmanu so bile vrednosti UIV večinoma najvišje na ploskvi, ki je v zimskem obdobju le teptana.

Pri analizi vplivov dejavnikov zasneževanja in/ali teptanja potencialna fotokemična učinkovitost PS2 ni kazala odvisnosti od vpliva dejavnikov zasneževanja in/ali teptanja. Vrednosti so bile na različnih ploskvah bolj ali manj enake. Iz tega lahko sklepamo, da je potencialna fotokemična učinkovitost PS2 verjetno odvisna od sprememb svetlobnega

režima na mikrolokaciji in ne od vplivov, ki bi jih lahko imelo zasneževanje ali teptanje, oziroma je parameter, ki ni občutljiv za določanje vpliva zasneževanja/taptanja na rastline.

Tudi vsebnost klorofila *a* ni kazala odvisnosti od vpliva dejavnikov zasneževanja in/ali teptanja pri nobeni preiskovani rastlinski vrsti. Vsebnosti klorofila *b* so se pod vplivom zasneževanja značilno zvišale pri vseh treh preiskovanih rastlinskih vrstah. Na razmerje klorofilov *a/b* je pri šentjanževki in navadnem rmanu vplivalo zasneževanje v kombinaciji s teptanjem, ki je značilno znižalo vrednosti parametra. Pri ripeči zlati je na razmerje klorofilov *a/b* imelo vpliv zasneževanje, ki je vrednost parametra značilno znižalo.

Iz analize fenoloških faz rastlin smo ugotovili, da so vse tri preiskovane vrste rastlin z razvojem začele najkasneje na ploskvi, ki je v zimskem obdobju dodatno zasneževana in teptana. Zabeležili smo približno enotedensko zakasnitev. Zamik fenoloških faz je bil opazen tudi v začetku faze cvetenja. Z začetkom faze plodenja so faze vegetacijskega razvoja sovpadale pri večini rastlin. Med ploskvama, kjer ni sočasnega učinka zasneževanja in teptanja, praktično ni bilo razlik v časovnem poteku vegetacijskega razvoja. Iz tega lahko povzamemo, da dodatno zasneževanje ali teptanje samo po sebi v našem primeru ni bil tisti dejavnik, ki je omejeval vegetacijski razvoj, temveč je bil to sočasen učinek dodatnega zasneževanja in priprave smučarskih prog s teptanjem snega.

Gledano z vidika uspešnosti reprodukcije sta šentjanževka in ripeča zlatica, kljub paši in košnji, uspeli razviti plodove na vseh treh ploskvah, medtem ko jih navadni rman ni. Šentjanževka je do košnje in paše največ semen razvila na ploskvi, ki ni dodatno zasneževana je pa teptana. Ne glede na napisano pa ne moremo z gotovostjo trditi, da bi enake rezultate dobili tudi v primeru, če bi rastline same uspešno zaključile vegetacijsko sezono. Ne moremo namreč prezreti dejstva, da je največje število plodov na določen datum morda le posledica hitrejšega fenološkega razvoja na določeni ploskvi. Z gotovostjo lahko povemo le, da je pri šentjanževki in ripeči zlati bilo razmnoževanje mogoče tudi s pomočjo semen, medtem ko je bilo pri navadnem rmanu to manj verjetno.

Pri vseh treh preiskovani vrstah so bile rastline najvišje na ploskvi, ki je v zimskem obdobju zasneževana in teptana. Zaradi največjega okoljskega stresa bi lahko pričakovali,

da rastline na tej ploskvi ne bodo kazale takšnega trenda. Najverjetneje je vzrok za takšen rezultat vnos snovi v tla, ki se uporabljajo za pripravo snega za tekmovalne namene, in na rastline delujejo kot nutrienti.

Pri šentjanževki in navadnem rmanu je bilo torej zasneževanje kot samostojen dejavnik ali v kombinaciji s teptanjem tisto, kar je povzročilo značilno znižanje ali zvišanje vrednosti preiskovanih parametrov. Pri večini preiskovanih parametrov se je na račun zasneževanja pokazalo značilno znižanje vrednosti parametra. Izjema je le vsebnost klorofila *b*, ki se je pod vplivom zasneževanja zvišala.

Razmere, ki so za smučišča običajne, so posledica vplivov zasneževanja v kombinaciji s teptanjem. Glede na to, da sočasen vpliv teh dveh dejavnikov pri ripeči zlatici ni imel vpliva na nobenega od preiskovanih parametrov bi lahko zaljučili, da je ripeča zlatica morda tista, ki je izmed treh preiskovanih vrst rastlin najbolj prilagojena na značilne mikroklimatske razmere na smučišču.

Hipoteze, ki smo jih postavili na začetku naloge so bile naslednje:

- a) neobdelan umeten sneg na aktivnost in razvoj rastlin nima negativnih učinkov – *hipoteze ne moremo potrditi, saj smo pri vseh treh preiskovanih rastlinah pri določenih parametrih zabeležili znižanje vrednosti parametra na račun zasneževanja;*
- b) zaradi teptanja snega so negativni učinki na rastline možni – *hipotezo lahko potrdimo na primeru ripeče zlatice, pri šentjanževki in navadnem rmanu pa so preiskovani parametri kazali odvisnosti od dejavnika teptanja le v kombinaciji z zasneževanjem;*
- c) rastline se na različnih rastiščih začenjajo pojavljati različno hitro oziroma so fenološke faze razvoja rastlin, skladno z načinom priprave snega v zimskem obdobju, časovno zamaknjene – *hipotezo lahko potrdimo, saj so se vse tri preiskovane vrste rastlin najkasneje pojavile na ploskvi, ki je v zimskem obdobju zasneževana in teptana, fenološke faze razvoja rastlin pa so bile časovno zamaknjene vse do začetka faze plodenja.*

7. POVZETEK

Posegi v habitate na smučiščih in spremenjene lastnosti snežne odeje, zaradi smučanja in teptanja, vplivajo na vrstno sestavo, aktivnost oziroma produktivnost in razvoj rastlin. Z razmahom zimskega športa se vplivi na ekosisteme zaradi povečevanja števila in obsega smučarskih prog, mehanske priprave smučišč in uporabe umetnega snega povečujejo. Glede na to, da je smučarski turizem eden najpomembnejših ekonomskih dejavnikov v Evropski alpski regiji lahko pričakujemo, da bo vpliv smučarskih prog in potrebne spremljajoče infrastrukture na ekosisteme še naraščal.

Namen magistrske naloge je:

- primerjati sezonsko dinamiko aktivnosti in razvoja treh vrst rastlin (šentjanževke, navadnega rmana in ripeče zlatice) na treh različnih rastiščih na smučišču, ki so v času smučarske sezone različno zasnežena in teptana,
- primerjati nekatere fiziološke in biokemijske značilnosti (neto fotosintezo, transpiracijo, učinkovitost izrabe vode, fotokemično učinkovitost PS2, vsebnost fotosinteznih barvil...) med izbranimi vrstami rastlin na istem rastišču in med primerki iste vrste na treh različnih rastiščih ter na osnovi rezultatov sklepati na razlike v njihovi aktivnosti v vegetacijskem obdobju,
- prispevati k znanju o aktivnosti in razvoju izbranih rastlinskih vrst, ki zimsko sezono preživijo v spremenjenih razmerah na smučiščih.

Na območju smučišča na mariborskem Pohorju smo izbrali tri ploskve, ki se med seboj razlikujejo po tem, da so v zimski sezoni različno zasnežene in pripravljene. P1 je v zimski sezoni dodatno zasnežena in ni teptana, P2 v zimski sezoni ni dodatno zasnežena, je pa teptana in P3, ki je v zimski sezoni dodatno zasnežena in teptana. Meritve in vzorčenje so potekali na šentjanževki (*Hypericum perforatum*), ripeči zlatici (*Ranunculus acris*) in navadnem rmanu (*Achillea millefolium*). Na izbranih vrstah rastlin smo izvedli analize fotosintezne aktivnosti, transpiracije, učinkovitosti izrabe vode, potencialne fotokemične učinkovitosti PS2, fotosinteznih pigmentov, fenološkega razvoja, velikosti rastlin in uspešnosti reprodukcije. Rastline, ki uspevajo v višje ležečih predelih, so pogosto

izpostavljene stresnim odmerkom okoljskih dejavnikov, na katere se odzivajo zelo kompleksno. Na rast in razvoj rastlin so na naših preiskovanih ploskvah, poleg mikroklimatskih razmer okolja, vplivali tudi drugi zunanji dejavniki, kot sta košnja in paša.

Analize vplivov zasneževanja in/ali teptanja na preiskovane parametre so pokazale, da se pri šentjanževki in navadnem rmanu pojavlja podoben vzorec. Pri obeh rastlinah je bilo zasneževanje kot samostojen dejavnik ali v kombinaciji s teptanjem tisto, ki je povzročilo značilno razliko pri preiskovanih parametrih. Pri večini preiskovanih parametrov se je na račun zasneževanja pokazalo značilno znižanje vrednosti parametra. Le vrednosti klorofila *b* so se pod vplivom zasneževanja zvišale pri vseh treh preiskovanih vrstah rastlin. Pri ripeči zlatici vplivov zasneževanja v kombinaciji s teptanjem nismo opazili pri nobenem preiskovanem parametru. Glede na to, da so ravno takšne razmere za smučišča običajne, bi lahko zaljučili, da je ripeča zlatica morda tista, ki je izmed treh preiskovanih vrst rastlin najbolj prilagojena na značilne mikroklimatske razmere na smučišču. Zanimivo je tudi, da na potencialno fotokemično učinkovitost PS2 in vsebnost klorofila *a* pri nobeni od preiskovanih rastlin ni imelo vpliva niti zasneževanje niti teptanje. Sklepamo lahko, da sta ta dva parametra verjetno odvisna od sprememb svetlobnega režima na mikrolokaciji in ne od vplivov, ki bi jih lahko imelo zasneževanje ali teptanje.

Vpliv umetnega snega na rastline je predvsem odvisen od tega v kakšnem stanju se nahajajo rastline na smučišču. V primeru da so mehanske poškodbe zaradi teptanja snega ali robnikov smuči glavni problem, potem je dodatna zaščita s pomočjo umetnega snega dobrodošla. Po drugi strani, pa bi za ogrožene habitate z nizko razpoložljivostjo nutrientov, dodaten vnos le-teh ob taljenju umetnega snega lahko imel negativne posledice.

8. SUMMARY

Interventions in ski areas and changes in characteristics of snow cover, as a consequence of skiing and snow grooming, influence plant diversity, productivity and development. Expansion of winter sports progressively intensifies the impact of snow preparation and artificial snow production on ski slopes. As ski tourism is one of the most important economical factors in European Alps region, we can expect further impact of skiing activities on the ecosystems.

The aims of this master thesis were:

- to compare the seasonal dynamics of plant activity and development of three plant species (*Hypericum perforatum*, *Achillea millefolium* and *Ranunculus acris*) in three different ski locations, with different snow preparations during the winter season,
- to compare physiological and biochemical characteristics (net photosynthesis, transpiration, water use efficiency, photosystem II photochemical efficiency, photosynthetic pigments content) in chosen plant species to evaluate the winter practices on the plant fitness
- to contribute to the knowledge on plant activity and development of the chosen plant species, living in anthropologically changed ecosystem

We have chosen three experimental plots in a ski area of Pohorje that differ in snow preparations during the winter season. Plot 1 is artificially snowed and ungroomed, plot 2 is groomed but not artificially snowed, while plot 3 is artificially snowed and groomed during the winter. Measurements and sampling were performed on three representative species: *Hypericum perforatum*, *Achillea millefolium* and *Ranunculus acris*. We analyzed physiological and biochemical characteristics (net photosynthesis, transpiration, water use efficiency, photosystem II photochemical efficiency, photosynthetic pigments content) of the chosen plant species. We also followed phenological development and reproduction success of the plants. Plants are regularly exposed to environmental stress, which can respond in a complex way. Plant growth and development on the experimental plots were influenced by the microclimatic conditions, as well as mowing and grazing.

Analysis of impact of artificial snowing and/or snow grooming on the examined parameters showed a similar pattern in *H. perforatum* and *A. millefolium*. Both plant species showed negative effects of artificial snowing or in combination with snow grooming on the examined parameters. Only chlorophyll *b* content was increased under the impact of the artificial snow. Artificial snowing in combination with snow grooming showed no effect on examined parameters in *R. acris*, which could imply that *R. acris* is the most adapted of the examined plant species, to the conditions on ski slopes. As photosystem II photoefficiency and chlorophyll *a* content showed no impact of the artificial snowing and snow grooming in any of the examined species, we can conclude that photosystem II photoefficiency and chlorophyll *a* content are probably influenced by other microclimate conditions.

Impact of the artificial snow on alpine plants is mainly dependent on the fitness of the plants. It can protect the plants against the mechanical damage as a result of the snow grooming and skiing, in providing greater depth of the snow cover. In contrast it can also lead to increase nutrient inflow, which can have negative effects in nutrient poor environments.

9. VIRI

1. Björkman O., Demmig-Adams B. 1994. Regulation of photosynthetic light energy capture, conversion, and dissipation in leaves of higher plants. *Ecophysiology of Photosynthesis* (ed. Sulze, M.M. Caldwell, eds.). Springer Verlag, Berlin, 17-48
2. Bornman J.F., Olsson L.C., Han T., Vogelmann T. C. 1999. UV-B radiation reduces susceptibility of *Brassica napus* to photoinhibition during cold stress as measured by microscale photoacoustics and radiolabelled carbon dioxide. Doc. dissertation, Lund University.
3. Bruland O., Maréchal D., Sand K., Killingveit A. 2001. Energy and water balance studies of a snow cover during snowmelt period at a high arctic site. *Theoretical and Applied Climatology*. Springer Verlag, 70, 53-63.
4. Cenčič L. 1993. Naravni park Pohorje, koncept razvoja s smernicami za razglasitev. *Gozdno gospodarstvo Maribor*
5. Cernusca A., Angerer H., Newesely C., Tappeiner U. 1990. Ökologische Auswirkungen von Kunstschnee – Eine Kausalanalyse der Belastungsfaktoren. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* (Osnabrück 1989), 19, 746-757.
6. CIPRA-info št.48, marec 1998
http://slovenski.cipra.org/texte_s/publikationen/info_48/CI48_snowmax.htm. Dostop november 2001
7. Critchley C. 1998. Photoinhibition. *Photosynthesis: a comprehensive treatise*. (A.S. Ragheendra, ed.) Cambridge, University Press, 264-272
8. Demmig-Adams B., Adams W.W. 1992. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annual Review of Plant physiology and Plant Molecular Biology*, 43, 599-626
9. Gadiant F., Keller T., Stähli M. 2000. Auswirkungen von intensiver Pistenbearbeitung auf die Bodentemperatur am Beispiel Brunni-Haggenegg. *ETH Zürich, Inst. für Terrestrische Ökologie*,
10. Galen C., Stanton M.L. 1991. Consequences of emergence phenology for reproductive success in *Ranunculus adoneus* (Ranunculaceae). *American Journal of Botany*, 78, 978-988

11. Galen C., Stanton M.L. 1999. Seedling establishment in Alpine Buttercups under experimental manipulations of growing-season length. *Ecology*, 80/6, 2033-2044
12. Genty B., Briantais J.M., Baker N.R. 1989. The relationship between quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochem. Biophys. Acta* 990, 87-92
13. Harbecke M., Physik von Schnee und Eis: Wachstum von Eiskristallen, Halos und Lawinen, Verteilungsstudie Wintersemester 2000/01, 21 s., URL:<http://www.uni-muenster.de/Physik/DP/Seminare>, dostop februar 2004
14. Hawkesford M.J., Buchner P. 2001. Molecular analysis of plant adaptation to the environment, Kluwer Academic Publishers
15. Hinterlechner-Ravnik A. 1995. O geologiji Pohorja. *Proteus*, 57, 334-339
16. Hofer H. 1981. Der Einfluß des Massenschilaufes auf alpine Sauerbodenrasen am Beispiel der Gurgler Heide (Ötztal, Tirol) und Beobachtungen zur Phänologie des *Curvuletums*. *Berichte des Naturwissenschaftlich-Medizinischen Vereins in Innsbruck*, 68, 31-56
17. <http://maribor.uni-mb.si/pohorje/1250/turistic/pohorje/lega.htm>, dostop marec 2005
18. <http://maribor.uni-mb.si/pohorje/1250/turistic/pohorje/planje.htm>, dostop marec 2005
19. <http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals>, dostop februar 2004
20. <http://www.technoalpin.com>, dostop junij 2004
21. Huner N.P.A., Öquist G., Hurry V.M., Krol M., Falk S., Griffith M. 1993. Photosynthesis, photoinhibition and low temperature acclimation in cold tolerant plants. *Photosynthesis Research*, 37, 19-39
22. Jeffrey S.W., Humphrey G.F. 1975. New Spectrophotometric Equations for Determining Chlorophylls a, b, c1 and c2 in Higher Plants, Algae and Natural Phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanz.*, 167(8), 191-194
23. Jež M. 1995. Pohorje, *Proteus*, 57, 334-339
24. Kajfež Bogataj L. 1995. Umetni sneg. *Gea*, letnik 5, 11, 8
25. Kavnik A. 2004. Primerjava floristične sestave navadnega travnika in obrasti na smučišču na Pohorju ter njihova mikoriznost. Diplomsko delo, BF, Oddelek za biologijo, 4-8
26. Körner C. 2003. *Alpine Plant Life*. Springer Verlag, Berlin

27. Krause G.H., Weis F. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 42, 313-349
28. Kudo G. 1991. Effects of snow-free period on the phenology of alpine plants inhabiting snow patches. *Arctic and Alpine Research*, 23, 436-443
29. Kudo G. 1993. Relationship between flowering time and fruit set of the entomophilous alpine shrub *Rhododendron aureum* (Ericaceae) inhabiting snow patches. *American Journal of Botany*, 80, 1300-1304
30. Larcher W. 2003. *Physiological Plant Ecology*, Fourth edition, Springer Verlag, 506 s.
31. Lichtenegger E. 1993. *Beschneigung und Vegetation: Bisherige Erfahrung über die Auswirkung der Beschneigung auf die Vegetation*. Selbstverlag Pflanzensociologisches institut, Klagenfurt
32. Lichtenthaler H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids - pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382
33. Lichtenthaler H.K. 1993. The plant prenyllipids, including carotenoids, chlorophylls, and preylquinones. *Lipid metabolism in plants* (T.S. Moore, ed.). CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo, 427-470
34. Maher I. 1990. *Vpliv smučišč na okolje*, Diplomsko delo, BF, Oddelek za biologijo, 153 s.
35. Martinčič A., Wraber T., Jogan N., Ravnik V., Podobnik A., Turk B., Vreš B. 1999. *Mala flora Slovenije*, Tehniška založba Slovenije
36. Maxwell K., Johnson G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51/345, 659-668
37. McKersie B.D., Leshem Y.Y. 1994. *Stress and stress coping in cultivated plants*, Kluwer Academic Publishers
38. Murali N.S., Teramura A.H. 1986. Effectiveness of UV-B radiation on the growth and physiology of field-grown soybean modified by water stress. *Photochemistry and Photobiology*, 44, 215-219
39. Newesely C. 1997. *Auswirkungen der künstlicher Beschneigung von Schipisten auf Aufbau, Struktur und Durchlässigkeit der Schneedecke, sowie auf den Verlauf der Bodentemperatur und das Auftreten von Bodenfrost*. Dissertation Univ. Innsbruck

40. Newesely C., Cernusca A. 2000. Auswirkungen der künstlicher Beschneigung von Schipisten auf die Umwelt. Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege, Laufener Seminarbeiträge 6/99, 29-38
41. Newesely C., Cernusca A., Bodner M. 1994. Entstehung und Auswirkung von Sauerstoffmangel im Bereich unterschiedlich präparierter Schipisten. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, 23, 277-282
42. Nilsen E.T., Orcutt D.M. 1996. Physiology Of Plants Under Stress, Abiotic Factors, John Wiley & Sons Inc.,
43. Pearce R.S. 2001. Plant Freezing and Damage. Annals of Botany, 87, 417-424
44. Pignatti S. 1993. Impact of tourism on the mountain landscape of central Italy. Landscape and Urban Planning, 24, 49-53
45. Rixen C., Haeberli W., Stoeckli V. 2004. Ground temperatures under ski pistes with artificial and natural snow. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 36/4, 419-427
46. Rixen C., Stöckli V., Wipf S. 2002. Kunstschnee und Schneezusätze: Eigenschaften und Wirkungen auf Vegetation und Boden in alpinen Skigebiten. Zusammenfassung eines Forschungsprojektes am Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos
47. Rixen Ch., Stöckli V., Ammann W. 2003. Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? A review. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 5, 219-230
48. Rixen Ch., Stöckli V., Huovinen C., Huovinen K. 2001. The phenology of four subalpine herbs in relation to snow cover characteristics, Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer Schemes and Large-Scale Hydrological Models. Proceedings of a symposium held during the sixth IAHS Scientific Assembly at Maastricht, IAHS Publ., 270, 359-362
49. Schreiber U., Bilger W., Hormann H., Neubauer C. 1998. Chlorophyll fluorescence as a diagnostic tool: basics and some aspects of practical relevance. Photosynthesis, a comprehensive treatise. (A. S. Rghavendra, ed.) University Press, Cambridge, s. 320-336
50. Stöckli V., Rixen Ch., Wipf S. 2002. Zusammenfassung des Schlussberichts »Kunstschnee und Schneezusätze: Eigenschaften und wirkungen auf Vegetation und Boden in alpinen Skigebieten«. SLF Davos

51. Tausz M., Bytnerowicz A., Weidner W., Arbaugh M.J, Padgett P., Grill D. 1999. Pigments and photoprotection in needles of *Pinus ponderosa* trees with and without symptoms of ozone injury. *Phyton* 39, 219-224
52. Totland Ø., Alatalo J.M. 2002. Effects of temperature and date of snowmelt on growth, reproduction and flowering phenology in the arctic/alpine herb, *Ranunculus glacialis*. *Oecologia*, 133, 168-175
53. Vomáčka L., Pospíšilova J. 2003. Rehydration of sugar beet plants after water stress: effect of cytokinins. *Biologia Plantarum*, 46(1), 57-62
54. Ward R.C., Robinson M. 2000. Principles of hydrology. McGraw and Hill Publishing company, 54-59
55. Wetzel R.G., Likens G.E. 1995. Limnological analyses, Second edition, New York, Berlin, s. 391
56. Wipf S., Rixen Ch., Fischer M., Schmid B., Stöckli V. 2005. Effects of ski piste preparation on alpine vegetation. *Journal of Applied Ecology*, 42, 306-316
57. Wipf S., Rixen Ch., Freppaz M., Stöckli V. 2002. Ski piste vegetation under artificial and natural snow: patterns in multivariate analysis, *Interdisciplinary Mountain Research* (Bottarin, R., Tappeiner, U., ed.), Blackwell Verlag, 170-179
58. Yamada T., Kuroda K., Jitsuyama Y., Takezawa D., Arakawa K., Fujukawa S. 2002. Roles of the plasma membrane and the cell wall in the responses of plant cells to freezing. *Planta*, 215, 770-778
59. Yu G.R., Wang Q.F., Zhuang J. 2004. Modeling the water use efficiency of soybean and maize plants under environmental stresses: application of a synthetic model of photosynthesis-transpiration based on stomatal behavior. *Journal of Plant Physiology*, 161(3). 303-318

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici prof.dr. Alenki Gaberščik za spodbudno usmerjanje, strokovno in praktično pomoč ter podporo in potrpežljivost v času izdelave magistrskega dela.

Članicama komisije za zagovor, doc.dr. Marjani Regvar in prof.dr. Lučki Kajfež Bogataj, se zahvaljujem za strokovni pregled naloge.

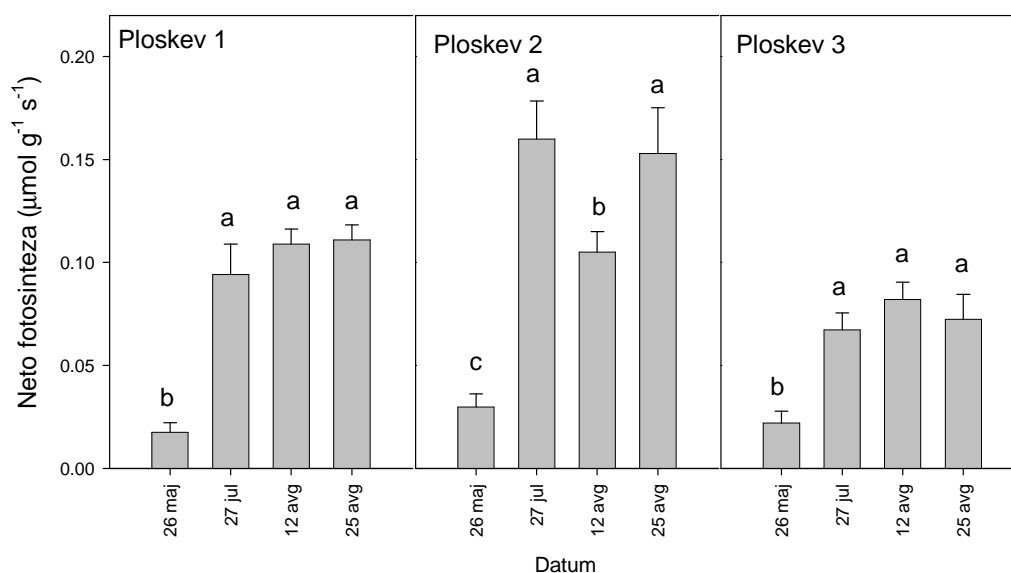
Matevž, hvala za vso pomoč pri odkrivanju skrivnostnega sveta statistike, vzpodbudne besede in moralno podporo.

Zahvaljujem se direktorju podjetja E-NET OKOLJE d.o.o., mag. Jorgu Hodaliču, da mi je omogočil podiplomski študij.

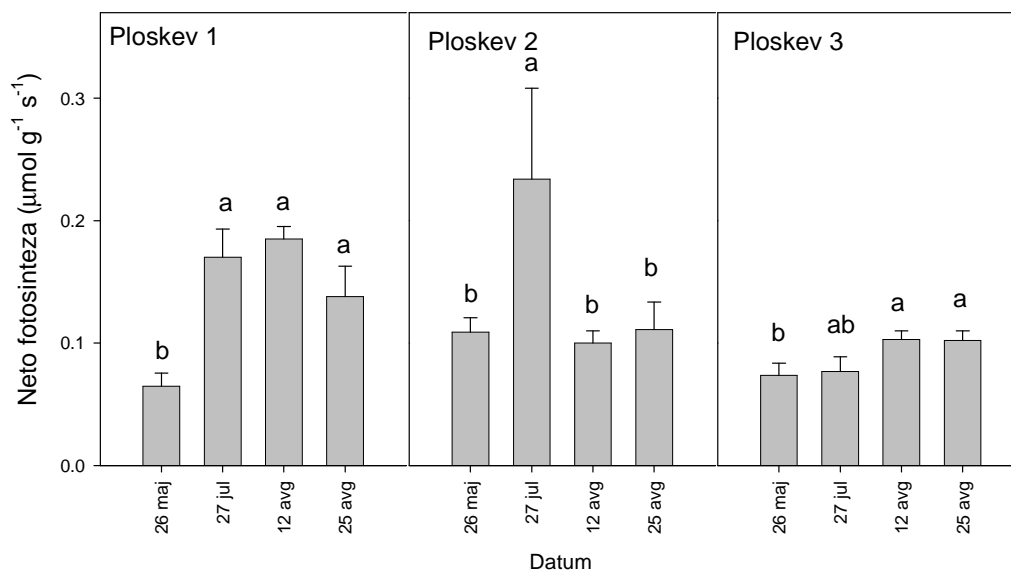
Ne nazadnje se najlepše zahvaljujem hčeri Zoji ter svojim staršem za njihovo razumevanje, pomoč in podporo ter potrpežljivost v času podiplomskega študija.

PRILOGE

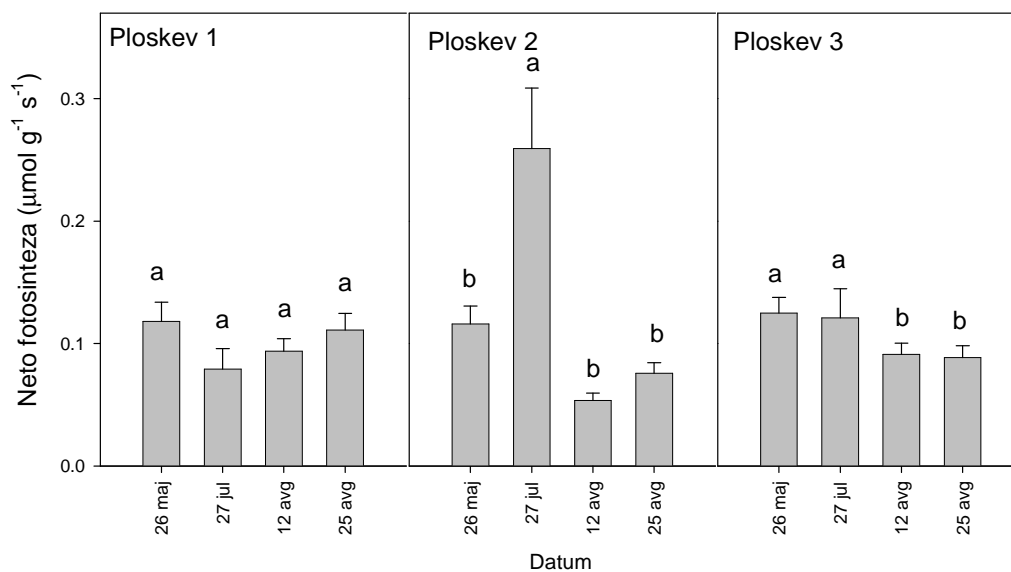
Priloga A: Grafični prikazi sezonskih potekov preiskovanih parametrov



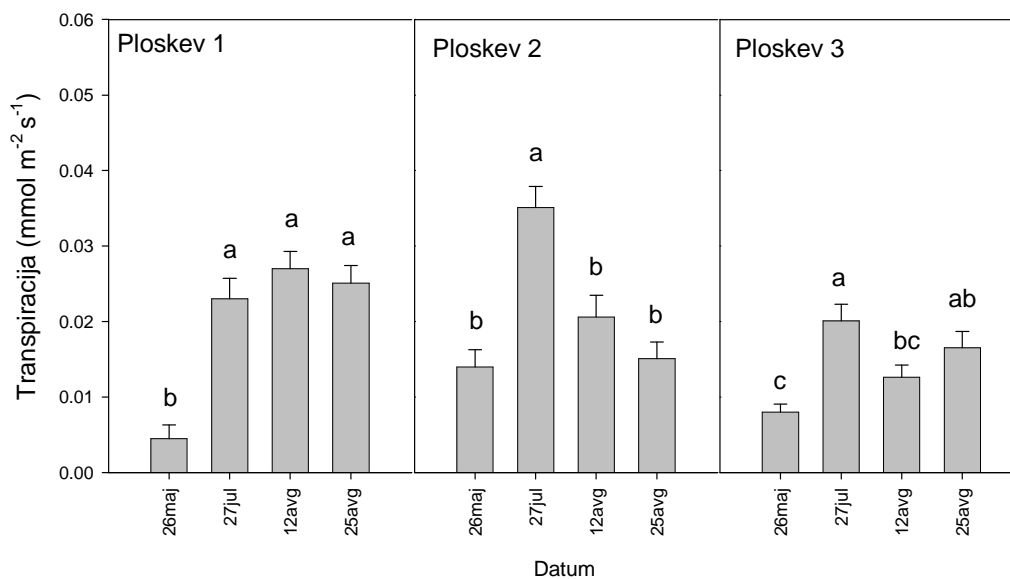
Slika A.1. Sezonski potek neto FS pri šentjanževki na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (a, b in c, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



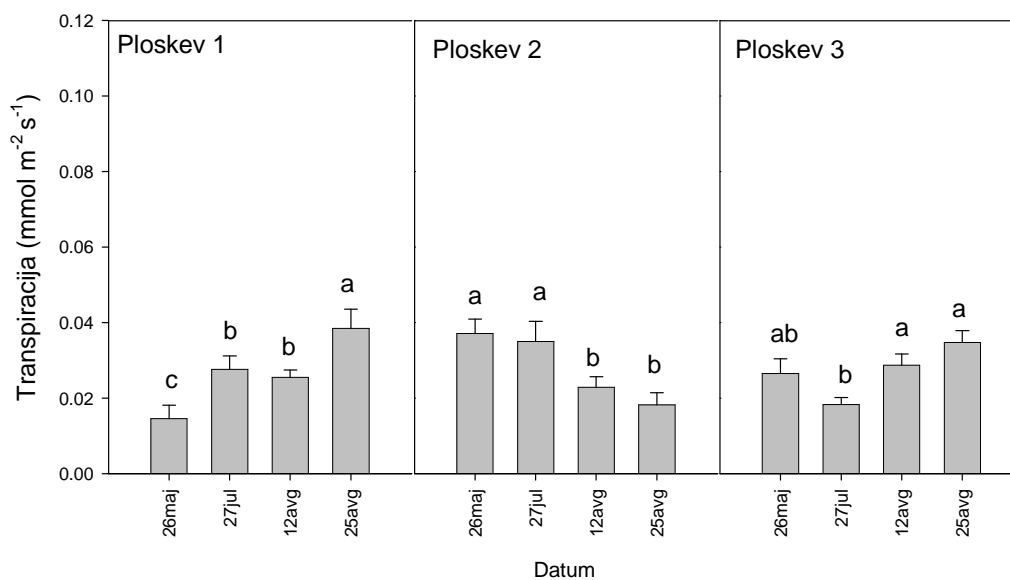
Slika A.2. Sezonski potek neto FS pri navadnem rmanu na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (a in b, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



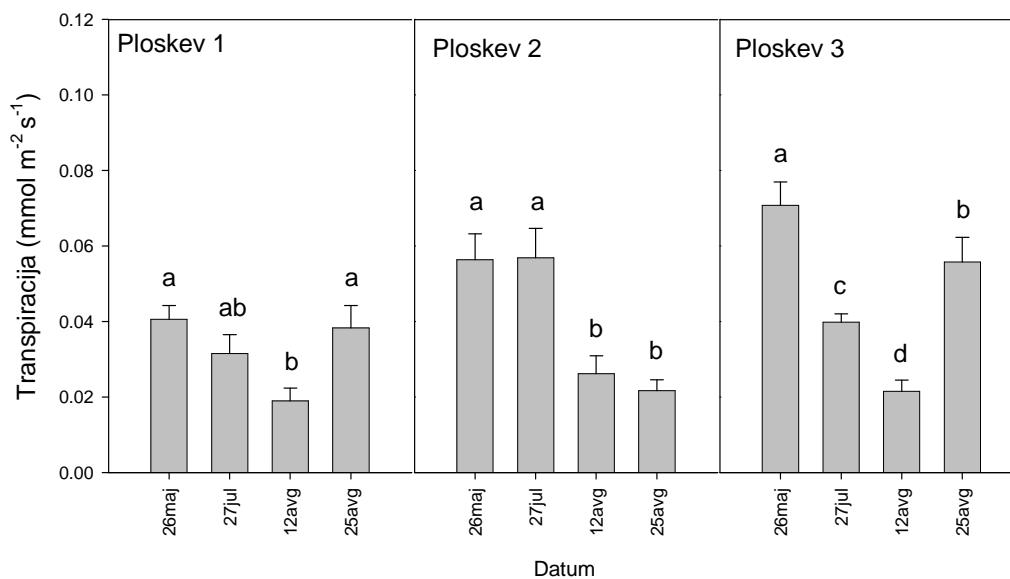
Slika A.3. Sezonski potek neto FS pri ripeči zlati na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (a in b, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



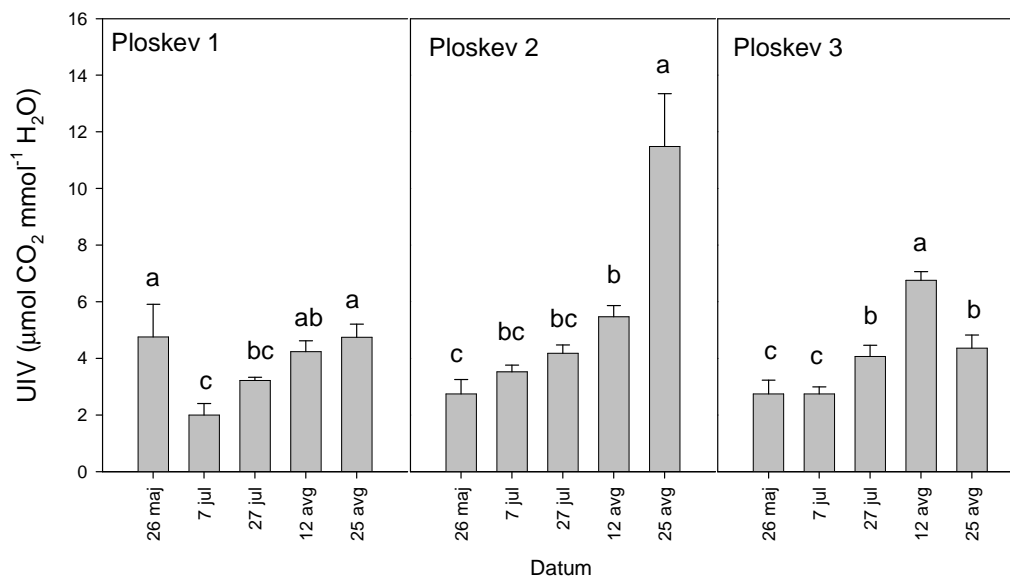
Slika A.4. Sezonski potek TR pri šentjanževki na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (a, b in c, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



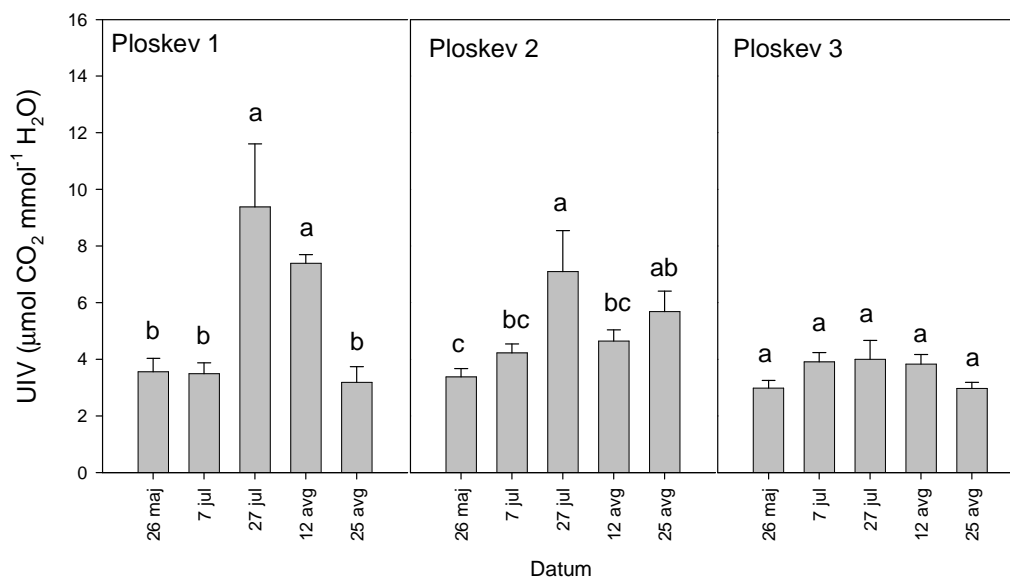
Slika A.5. Sezonski potek TR pri navadnem rmanu na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (a, b in c, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



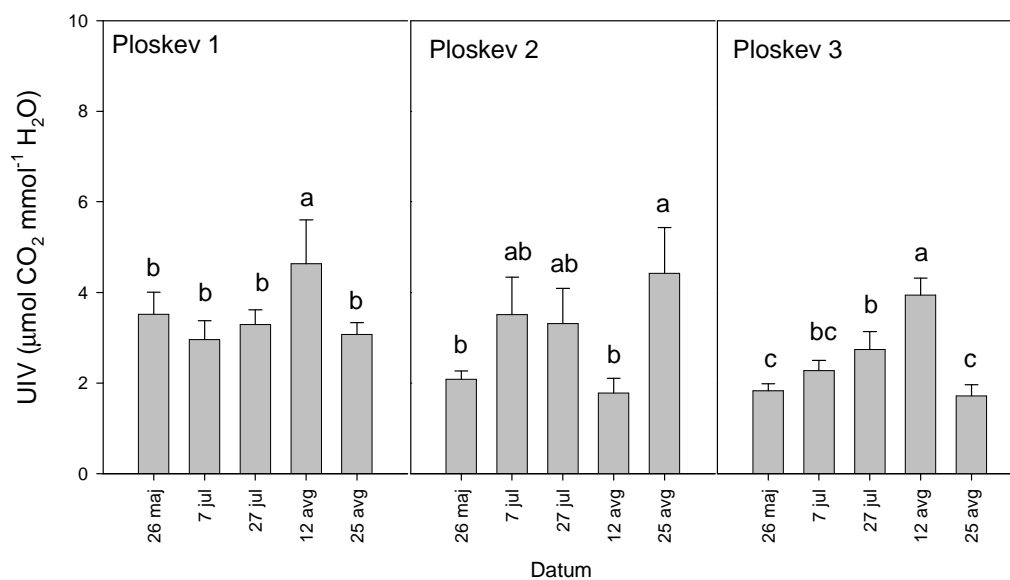
Slika A.6. Sezonski potek TR pri ripeči zlatici na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (a, b, c in d, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



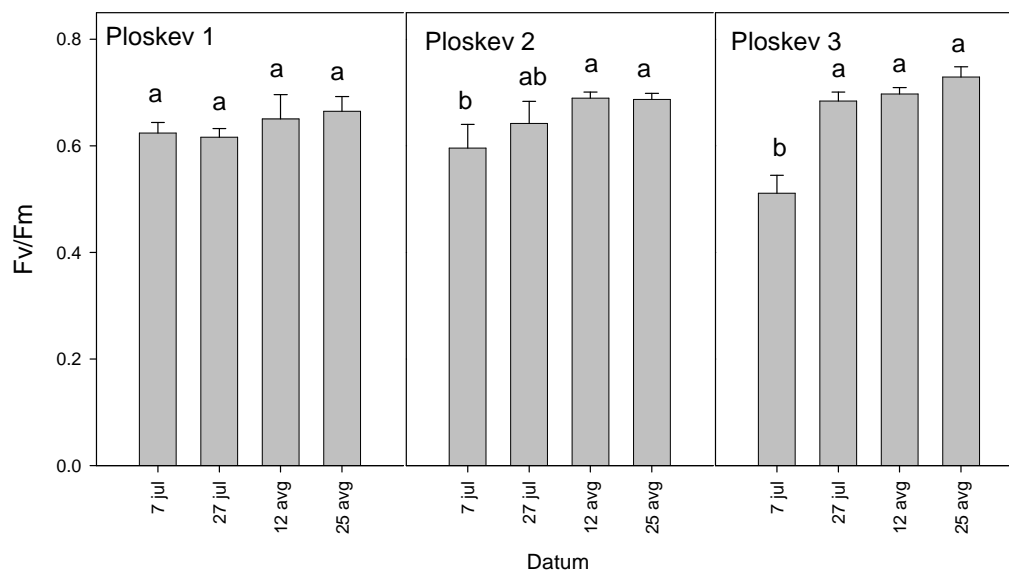
Slika A.7. Sezonski potek UIV pri šentjanževki na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (a, b in c, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



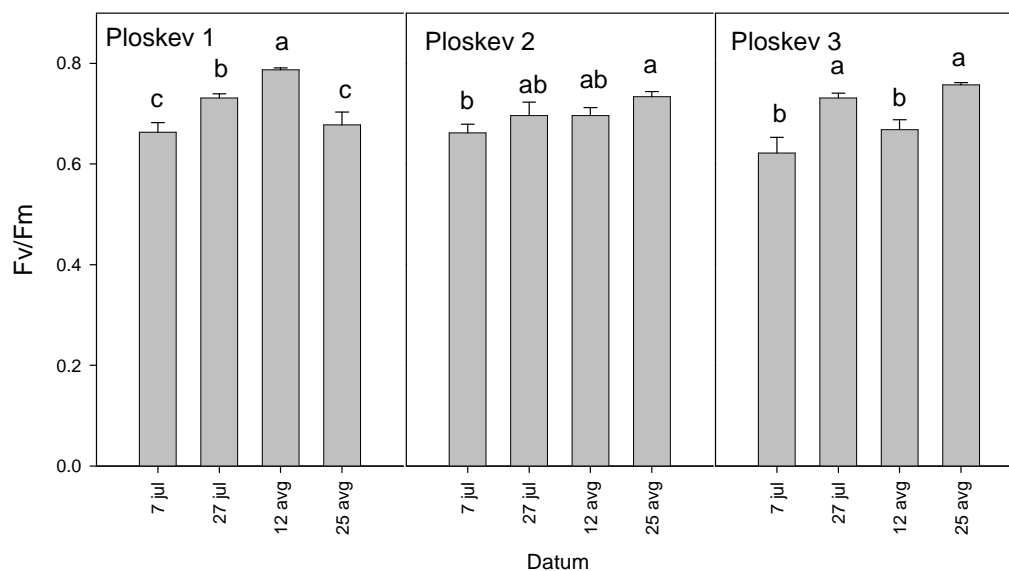
Slika A.8. Sezonski potek UIV pri navadnem rmanu na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (a, b in c, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



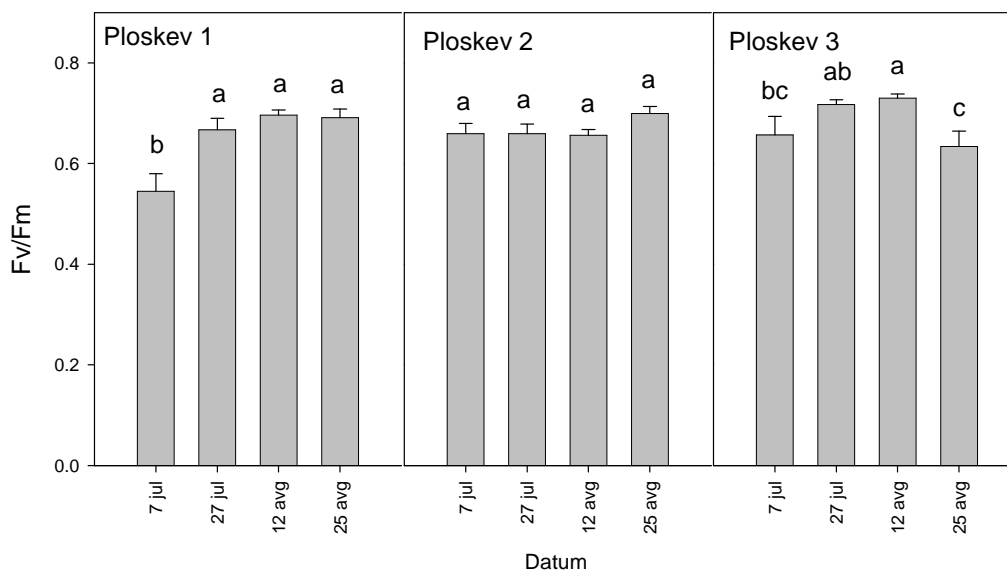
Slika A.9. Sezonski potek UIV pri ripeči zlati na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (a, b in c, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



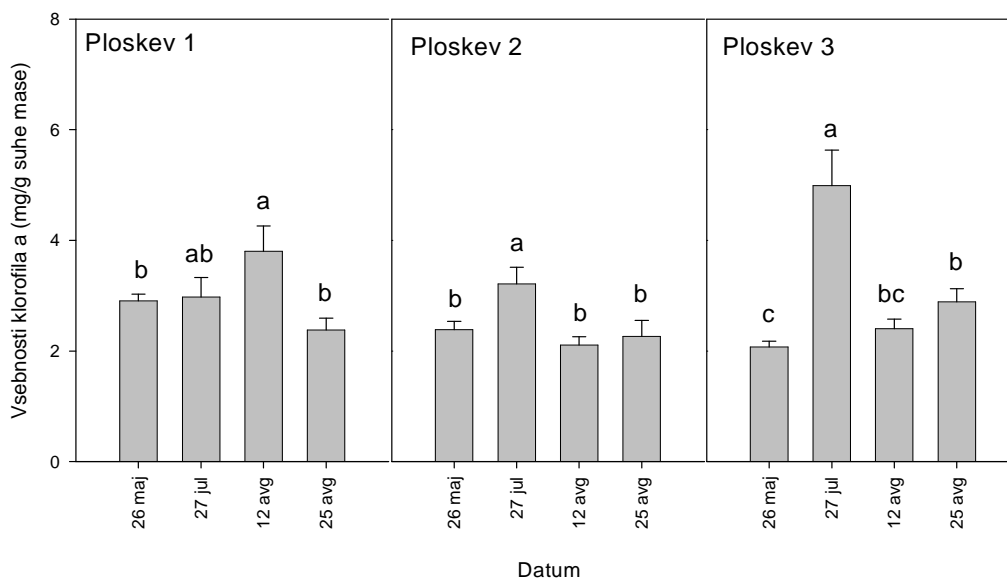
Slika A.10. Sezonski potek potencialne fotokemične učinkovitosti PS2 (Fv/Fm) pri šentjanževki na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (a in b, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



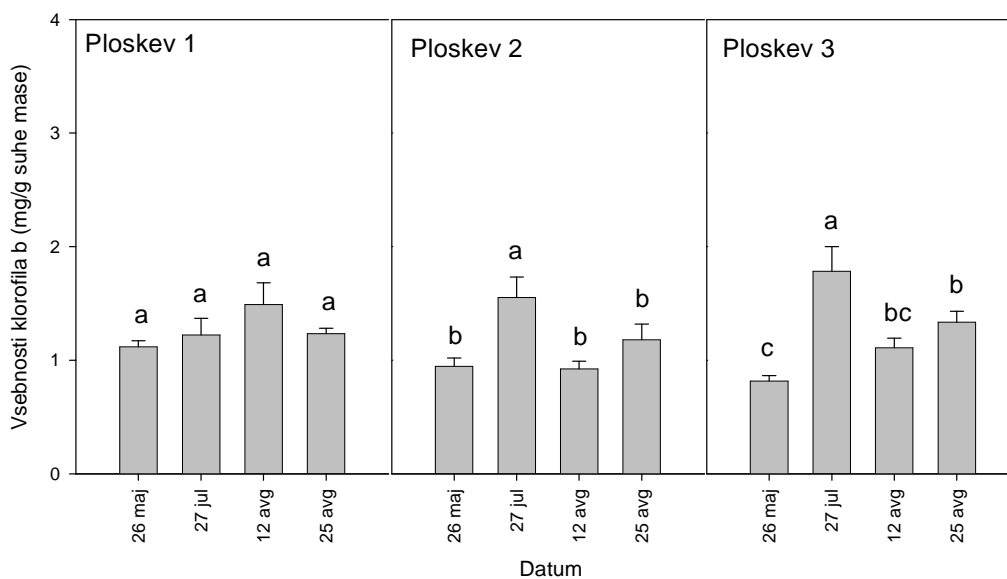
Slika A.11. Sezonski potek potencialne fotokemične učinkovitosti PS2 (Fv/Fm) pri navadnem rmanu na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (a, b in c, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



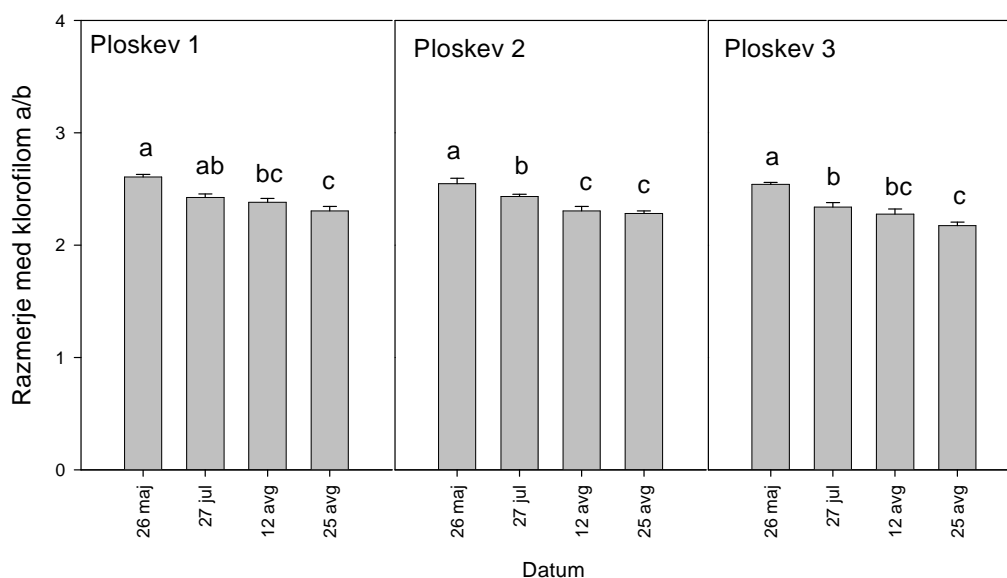
Slika A.12. Sezonski potek potencialne fotokemične učinkovitosti PS2 (Fv/Fm) pri ripeči zlati na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (a, b in c pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



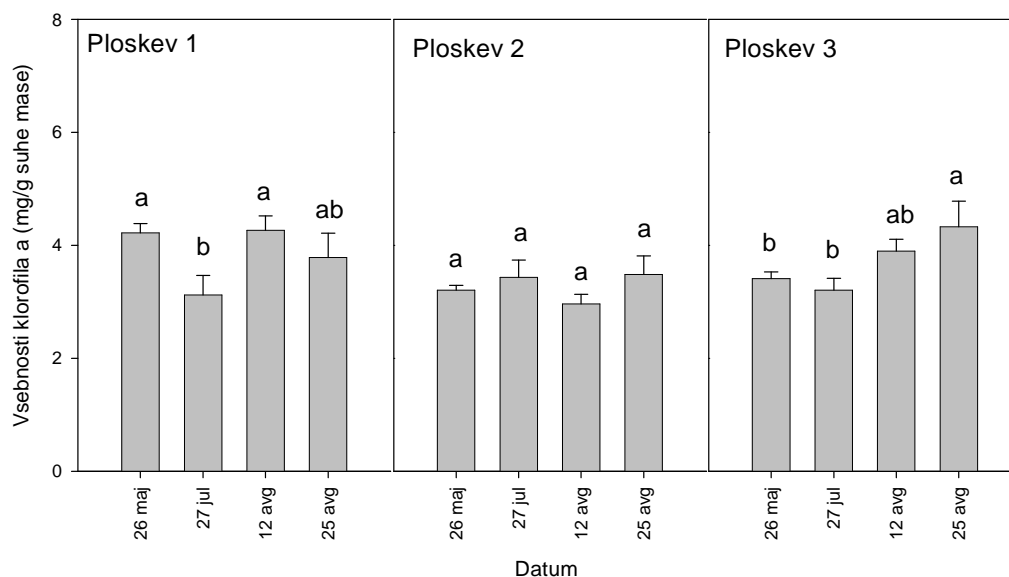
Slika A.13. Sezonski potek vsebnosti klorofila *a* pri šentjanževki na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (a, b in c, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



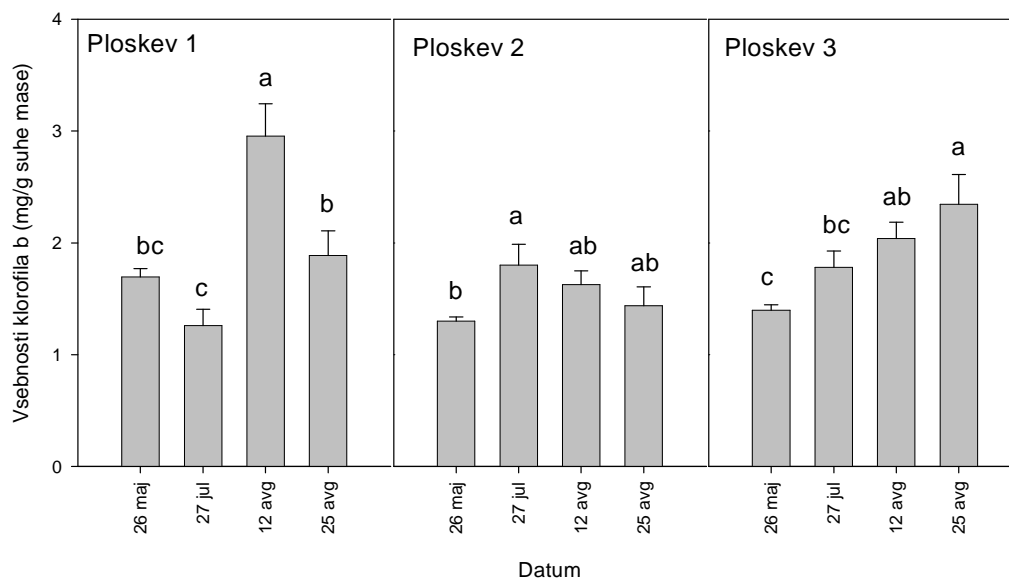
Slika A.14. Sezonski potek vsebnosti klorofila *b* pri šentjanževki na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (a, b in c, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



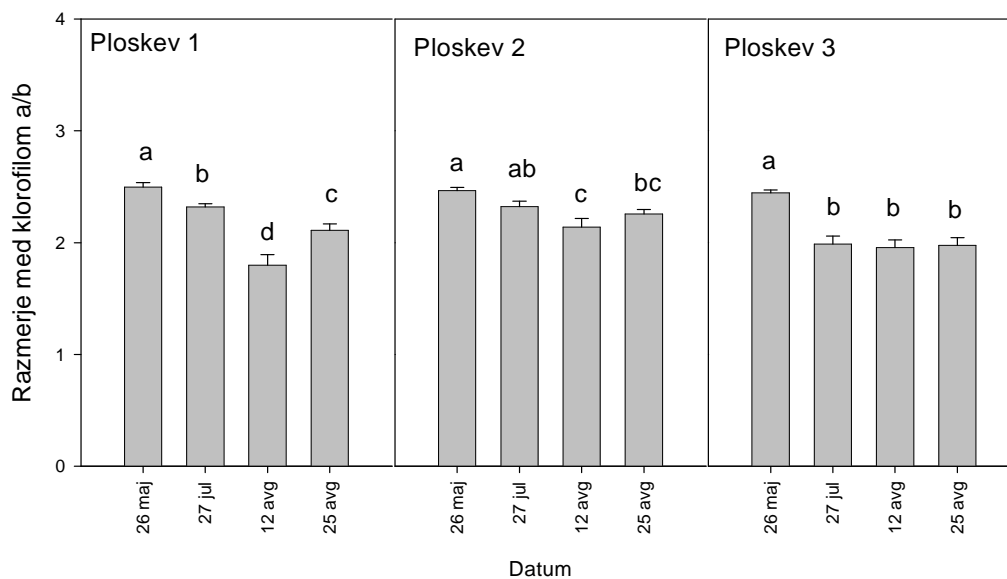
Slika A.15. Sezonski potek razmerja vsebnosti klorofilov a/b pri šentjanževki na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (a, b in c, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



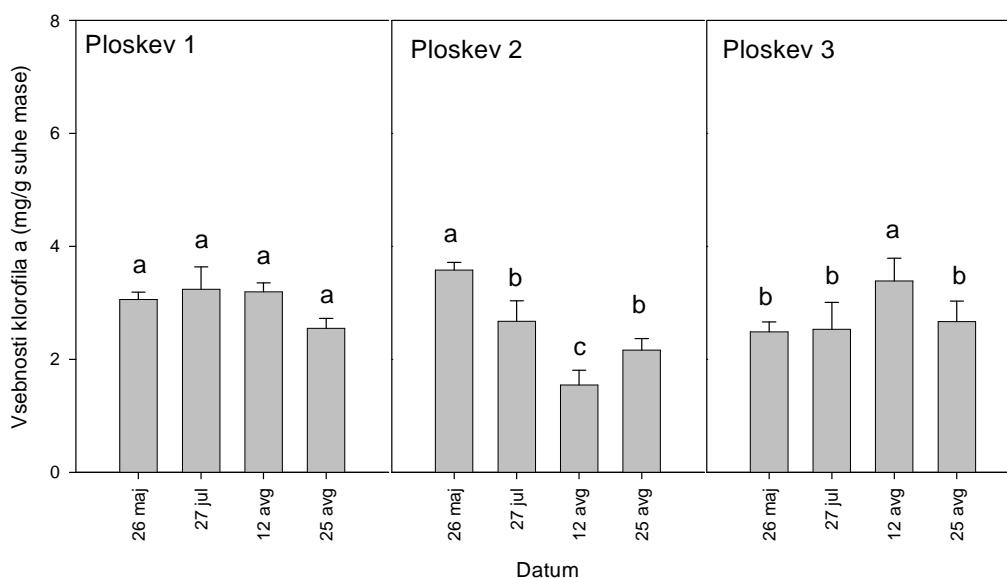
Slika A.16. Sezonski potek vsebnosti klorofila *a* pri navadnem rmanu na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (a in b, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



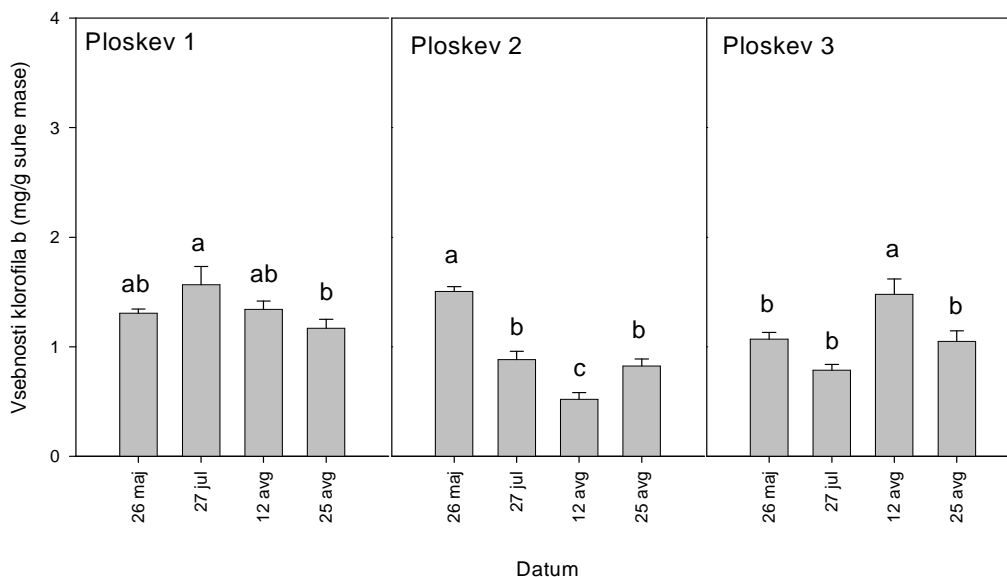
Slika A.17. Sezonski potek vsebnosti klorofila *b* pri navadnem rmanu na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (a, b in c, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



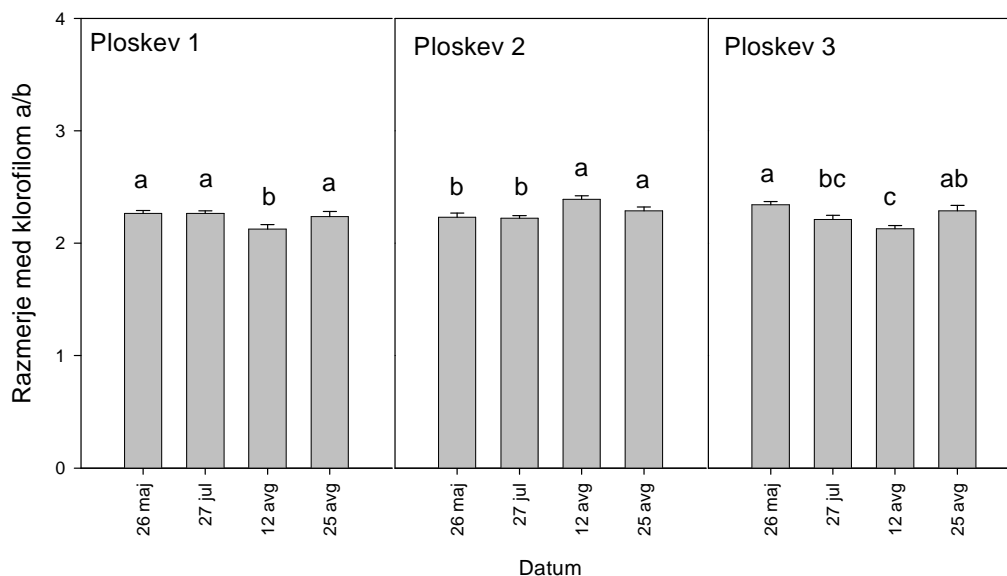
Slika A.18. Sezonski potek razmerja vsebnosti klorofilov a/b pri navadnem rmanu na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (a, b, c in d, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



Slika A.19. Sezonski potek vsebnosti klorofila a pri ripeči zlatici na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (a, b in c, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



Slika A.20. Sezonski potek vsebnosti klorofila *b* pri ripeči zlati na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (a, b in c, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).



Slika A.21. Sezonski potek razmerja vsebnosti klorofilov a/b pri ripeči zlati na treh ploskvah (SV + SN). Enosmerna ANOVA, Holm-Sidak post hoc test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (a, b in c, pri čemer je najvišja vrednost označena z »a«).