

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE
VIRE

Mitja FERLAN

**MOŽNOST UPORABE DIGITALNE FOTOGRAFIJE
HEMISFERE ZA OCENJEVANJE
SVETLOBNIH RAZMER V GOZDOVIH V
SUBOPTIMALNIH RAZMERAH**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

LJUBLJANA, 2006

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Mitja FERLAN

**MOŽNOST UPORABE DIGITALNE FOTOGRAFIJE
HEMISFERE ZA OCENJEVANJE SVETLOBNIH RAZMER
V GOZDOVIH V SUBOPTIMALNIH RAZMERAH**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**ESTIMATION OF SOLAR RADIATION IN FOREST FROM
DIGITAL HEMISPHERICAL PHOTOGRAPHY IN SUBOPTIMAL
CONDITIONS**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2006

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija gozdarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za gojenje gozdov Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer smo preučili možnost uporabe digitalne fotografije hemisfere za ocenjevanje svetlobnih razmer v gozdovih v suboptimalnih razmerah. Terenska snemanja so bila izvedena na raziskovalnih ploskvah v GE Dol-Moravče.

Študijska komisija Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire je za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Jurija Diacija in za recenzenta doc. dr. Davida Hladnika.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Mitja Ferlan

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dn
 DK GDK 111.21:181.2+585(043.2)
 KG fotografija hemisfere/optimalne razmere/delež direktnega in difuznega sončnega sevanja/WinScanopy/SideLook/RGBFisheye
 AV FERLAN, Mitja
 SA DIACI, Jurij (mentor)
 KZ SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
 ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
 LI 2006
 IN MOŽNOST UPORABE DIGITALNE FOTOGRAFIJE HEMISFERE ZA OCENJEVANJE SVETLOBNIH RAZMER V GOZDOVIH V SUBOPTIMALNIH RAZMERAH
 TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
 OP XI, 59 str., 17 pregl., 23 sl., 5 pril., 17 vir.
 IJ sl
 JI sl/en
 AI Ena izmed metod za ocenjevanje sončnega sevanja v gozdovih temelji na fotografiji hemisfere. Pomemben dejavnik pri uspešni uporabi te metode je optimalen čas snemanja. V nalogi predstavljamo možnost uporabe digitalne fotografije hemisfere, ob jasnih dnevih, v suboptimalnih razmerah, za dva različna tipa sestojev v ravnini. Prvo ploskev smo postavili pod sklenjen sesto, kjer se krošnje dreves večinoma stikajo, drugo pa v veliko vrzel, katere ocenjena velikost je 1500 m². Na vsako ploskev smo postavili mrežo 25 točk velikosti 5 x 5 m. Dnevni čas smo razdelili na 7 intervalov glede na konec navtičnega mraka in v teh intervalih smo posneli digitalne fotografije hemisfere na vseh 50 točkah. Obdelavo in analizo slik smo izvedli ločeno za vsako ploskev. Za obdelavo smo uporabljali naslednje programe: WinScanopy 2004b pro, SideLook 1.1, RGBFisheye 2005. 3 in Corel Photopaint 9.0. Analizo obdelanih fotografij smo izvedli s programom WinScanopy 2004b pro in izvrednotili dejavnika ISF in DSF. Merili smo tudi porabo časa za obdelavo in analizo fotografij hemisfere v posameznem programu. Snemanja pod sklenjenim sestojem lahko pričnemo 3 h pred koncem navtičnega mraka in jih moramo zaključiti 1 h pred njegovim koncem. Za obdelavo fotografij je najprimernejši program SideLook 1.1. S snemanji v velikih vrzelih lahko pričnemo 2 h pred koncem navtičnega mraka in jih moramo zaključiti 0,5 h pred njegovim koncem. Za obdelavo fotografij, posnetih v velikih vrzelih, je najprimernejši program WinScanopy 2004b pro. V nalogi predvidevamo tudi primerne intervale snemanj na celotnem območju dejavnikov ISF in DSF.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
 DC FDC 111.21:181.2+585(043.2)
 CX hemispherical photography/optimal conditions/diffuse and direct site factor/
 WinScanopy/SideLook/RGBFisheye
 AU FERLAN, Mitja
 AA DIACI, Jurij (supervisor)
 PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
 PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Forestry and
 Renewable Forest Resources
 PY 2006
 TI ESTIMATION OF SOLAR RADIATION IN FOREST FROM DIGITAL
 HEMISPHERICAL PHOTOGRAPHY IN SUBOPTIMAL CONDITIONS
 DT Graduation Thesis (University studies)
 NO XI, 59 p., 17 tab., 23 fig., 5 ann., 17 ref.
 LA sl
 AL sl/en
 AB One of the methods for estimating solar radiation in forests is based on
 hemispherical photography. However, photographs must be taken under optimal conditions
 for this method to be successful. In this thesis, we examine the possibility of estimating
 solar radiation using hemispherical photographs taken under clear-sky and suboptimal
 conditions in a canopy gap (1500m²) and closed canopy conditions. In both areas, we set
 up a 5 by 5 m grid and established 25 sampling points at the grid intersections. For each
 sampling point, we took 1 hemispherical photograph during each of 7 intervals divided
 over the course of a day, defined by the ending of the daily nautical twilight. For
 processing the photographs, we use the following programs: WinScanopy 2004b pro,
 SideLook 1.1, RGBFisheye 2005. 3, and Corel Photopaint 9.0. All analyses were done
 with WinScanopy 2004b pro in order to calculate ISF and DSF. We also measured the time
 needed for processing and analysing the images in each program. Under the closed canopy,
 the results show that photographs should be taken during a two-hour interval beginning 3
 hours before the end of the nautical twilight. For processing these pictures, the most
 appropriate program was SideLook 1.1. In the gap, hemispherical pictures should be taken
 during a 1.5-hour interval beginning two hours before the end of the nautical twilight. For
 processing these pictures, the most appropriate program was WinScanopy 2004b pro.
 Finally, we also provide the most appropriate intervals for taking hemispherical pictures in
 the entire range of ISF and DSF.

KAZALO VSEBINE

	KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
	KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
	KAZALO VSEBINE	V
	KAZALO PREGLEDNIC	VIII
	KAZALO SLIK	IX
	KAZALO PRILOG	X
	OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XI
1	UVOD	1
2	PREGLED OBJAV	3
2.1	SVETLOBA KOT OKOLJSKI DEJAVNIK	3
2.1.1	Sestava sončnega sevanja	3
2.1.2	Količina fotosintetsko aktivne svetlobe	4
2.2	METODE IN INSTRUMENTI ZA MERJENJE IN OCENJEVANJE SONČNEGA SEVANJA	7
2.2.1	Ocenjevanje in posredno ugotavljanje sončnega sevanja	8
2.2.2	Princip deformacije bimetala	8
2.2.3	Destilacija	8
2.2.4	Fotokemične metode	8
2.2.5	Termoelektrične metode	9
2.2.6	Fotoelektrične metode	9
2.2.7	Preslikava nebesnega svoda in sončnih poti	9
2.3	NAJPRIMERNEJŠI ČAS SNEMANJA FOTOGRAFIJ HEMISFERE	11
2.4	UPORABA DIGITALNE ALI KLASIČNE FOTOGRAFIJE HEMISFERE?	13
2.5	VPLIV KAKOVOSTI IN VELIKOSTI DIGITALNE FOTOGRAFIJE HEMISFERE NA PARAMETRE, KI JIH LAHKO IZLOČIMO IZ LE TE	14
2.6	RAČUNALNIŠKO PODPRTI PROGRAMI ZA VREDNOTENJE FOTOGRAFIJ HEMISFERE	15
2.6.1	HemIMAGE	15
2.6.2	RGB Fisheye 2005. 3	16
2.6.3	SideLook 1.1	17

2.6.4	Gap Light Analyzer (GLA) 2.0	17
2.6.5	HemiView 2.1	19
2.6.6	WinScanopy 2004b pro	20
3	MATERIALI IN METODE	22
3.1	OBJEKT RAZISKAVE	22
3.2	FOTOGRAFIJA HEMISFERE	22
3.3	ANALIZA FOTOGRAFIJ HEMISFERE	25
3.3.1	Winscanopy 2004b pro	25
3.3.2	SideLook 1.1-celotna slika	26
3.3.3	SideLook 1.1-slika po delih	27
3.3.4	RGBFisheye 2005. 3	27
3.3.5	Corel Photopaint 9.0	28
3.4	PRIPRAVA REFERENČNIH VREDNOSTI	28
3.5	PORABA ČASA	29
3.6	STATISTIČNA ANALIZA	29
4	REZULTATI	30
4.1	OSNOVNI PODATKI	30
4.2	NAJUSTREZNEJŠI POSTOPEK	31
4.2.1	Izbira najustreznejšega postopka za Zastor in dejavnik DSF	32
4.2.2	Izbira najustreznejšega postopka za Zastor in dejavnik ISF	33
4.2.3	Izbira najustreznejšega postopka za Veliko vrzel in dejavnik DSF	34
4.2.4	Izbira najustreznejšega postopka za Veliko vrzel in dejavnik ISF	35
4.3	ČASI OBDELAVE	36
4.4	OBJEKTIVNOST POSTOPKA	36
4.5	NAJPRIMERNEJŠI ČAS SNEMANJA OB UPORABI POSAMEZNEGA POSTOPKA	37
4.5.1	Najprimernejši čas snemanja za ploskev Zastor in dejavnik DSF	38
4.5.2	Najprimernejši čas snemanja za ploskev Zastor in dejavnik ISF	39
4.5.3	Najprimernejši čas snemanja za ploskev Velika vrzel in dejavnik DSF	40
4.5.4	Najprimernejši čas snemanja za ploskev Velika vrzel in dejavnik ISF	41
4.5.5	Prikaz dejavnika DSF na ploskvi Zastor ločeno za posamezen postopek in serijo	42

4.5.6	Prikaz dejavnika ISF na ploskvi Zastor ločeno za posamezen postopek in serijo	43
4.5.7	Prikaz dejavnika DSF na ploskvi Velika vrzel ločeno za posamezen postopek in serijo	44
4.5.8	Prikaz dejavnika ISF na ploskvi Velika vrzel ločeno za posamezen postopek in serijo	45
4.5.9	Linearne regresije za postopek SLpd na ploskvi Zastor	46
4.5.10	Linearne regresije za postopek SLpd na ploskvi Velika vrzel	47
4.5.11	Vrednosti dejavnika ISF za postopek SLpd in RGB	48
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	50
6	POVZETEK	55
7	VIRI	58
	ZAHVALA	
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Serije in njihov pričetek	23
Preglednica 2: Friedmanov test: Izbira najustrežnejšega postopka za Zastor in dejavnik DSF.	32
Preglednica 3: Friedmanov test: Izbira najustrežnejšega postopka za Zastor in dejavnik ISF.	33
Preglednica 4: Friedmanov test: Izbira najustrežnejšega postopka za Veliko vrzel in dejavnik DSF.	34
Preglednica 5: Friedmanov test: Izbira najustrežnejšega postopka za Veliko vrzel in dejavnik ISF.	35
Preglednica 6: Čas obdelave oz. priprave fotografije v binarnem formatu.	36
Preglednica 7: Obdelava fotografije s programom Winscanopy 2004b pro.	36
Preglednica 8: Skupni čas obdelave posamezne fotografije s posameznim postopkom.	36
Preglednica 9: Friedmanov test: Izbira uporabnih serij za ploskev Zastor in dejavnik DSF po postopkih.	38
Preglednica 10: Friedmanov test: Izbira uporabnih serij za ploskev Zastor in dejavnik ISF po postopkih.	39
Preglednica 11: Friedmanov test: Izbira uporabnih serij za ploskev Velika vrzel in dejavnik DSF po postopkih.	40
Preglednica 12: Friedmanov test: Izbira uporabnih serij za ploskev Velika vrzel in dejavnik ISF po postopkih.	41
Preglednica 13: Linearne regresije za dejavnik DSF postopka SLpd na ploskvi Zastor.	46
Preglednica 14: Linearne regresije za dejavnik ISF postopka SLpd na ploskvi Zastor.	46
Preglednica 15: Linearne reg. za dejavnik DSF postopka SLpd na ploskvi Velika vrzel.	47
Preglednica 16: Linearne reg. za dejavnik ISF postopka SLpd na ploskvi Velika vrzel.	47
Preglednica 17: Uporabne serije za posamezno ploskev in postopek.	52

KAZALO SLIK

Slika 1: Primerjava relativne spektralne občutljivosti.	5
Slika 2: Program HemIMAGE.	15
Slika 3: Program RGBFisheye 2005. 3.	16
Slika 4: Program SideLook 1.1.	17
Slika 5: Program Gap Light Analyzer (GLA) 2.0.	17
Slika 6: Program Hemi View.	19
Slika 7: Program WinScanopy 2004b pro.	20
Slika 8: Digitalni fotoaparat z objektivom 'ribje oko'.	24
Slika 9: Referenčne vrednosti za delež direktnega sončnega sevanja (DSF).	30
Slika 10: Referenčne vrednosti za delež difuznega sončnega sevanja (ISF).	30
Slika 11: Vrednosti dejavnika DSF na ploskvi Zastor za posamezen postopek v optimalnih serijah.	32
Slika 12: Vrednosti dejavnika ISF na ploskvi Zastor za posamezen postopek v optimalnih serijah.	33
Slika 13: Vrednosti dejavnika DSF na ploskvi Velika vrzel za posamezen postopek v optimalnih serijah.	34
Slika 14: Vrednosti dejavnika ISF na ploskvi Velika vrzel za posamezen postopek v optimalnih serijah.	35
Slika 15: Prikaz dejavnika DSF na ploskvi Zastor.	42
Slika 16: Prikaz dejavnika ISF na ploskvi Zastor.	43
Slika 17: Prikaz dejavnika DSF na ploskvi Velika vrzel.	44
Slika 18: Prikaz dejavnika ISF na ploskvi Velika vrzel.	45
Slika 19: Vrednosti dejavnika ISF za postopek SLpd na ploskvi Zastor.	48
Slika 20: Vrednosti dejavnika ISF za postopek RGB na ploskvi Zastor.	48
Slika 21: Vrednosti dejavnika ISF za postopek SLpd na ploskvi Velika vrzel.	49
Slika 22: Vrednosti dejavnika ISF za postopek RGB na ploskvi Velika vrzel.	49
Slika 23: Uporabnost posamezne serije.	53

KAZALO PRILOG

Priloga A: Obrazca za snemanja v dopoldanskem in popoldanskem času.	61
Priloga B: Obrazec za snemanje na ploskvi Zastor z izračuni začetka posamezne serije.	63
Priloga C: Fotografije hemisfere posnete na ploskvi Zastor.	64
Priloga D: Fotografije hemisfere posnete na ploskvi Velika vrzel	65
Priloga E: Primer obrazca za snemanje fotografij hemisfere v popoldanskem času.	66

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

PAR	fotosintetsko aktivno sevanje
PUR	fotosintetsko uporabno sevanje
DSF	delež direktnega sončnega sevanja
ISF	delež indirektnega (razpršenega) sončnega sevanja
WinS	Postopek obdelave in analize fotografij s programom Winscanopy 2004b pro.
SLcs	Postopek obdelave fotografije na enkrat v programu SideLook 1.1 in analize obdelane fotografije v programu Winscanopy 2004b pro.
SLpd	Postopek obdelave fotografije po delih v programu SideLook 1.1 in analize obdelane fotografije v programu Winscanopy 2004b pro.
RGB	Postopek obdelave fotografije v programu RGBFisheye 2005. 3 in analize obdelane fotografije v programu Winscanopy 2004b pro.
photo	Postopek obdelave fotografije v programu Corel Photopaint 9.0 in analize obdelane fotografije v programu Winscanopy 2004b pro.

1 UVOD

Sončno sevanje pomeni edini vir energije, ki je dostopen zelenim rastlinam in ga lahko uporabljajo v procesih metabolizma. Sončno sevanje neposredno vpliva na večino okoljskih dejavnikov, posredno pa na praktično vse dejavnike žive in nežive narave (Diaci, 1999a; Kotar, 2005). Izraz sončno sevanje bomo v nadaljevanju razumeli kot celoten spekter valovnih dolžin, ki prihajajo od Sonca prek atmosfere na zemeljsko površino. Sončno sevanje pa vpliva na svetlobo, toploto, vodo itd., kot okoljske dejavnike (Kotar, 2005). V literaturi se pojavlja tudi pojem svetlobne razmere. Pod tem pojmom bomo v nadaljevanju razumeli porazdelitev za človeka vidne svetlobe v sestoji (380-780 nm) (Diaci, 1999a).

Pri ekoloških raziskavah v gozdovih zato ne moremo iti mimo merjenja ali ocenjevanja parametrov sončnega sevanja. Tudi mnoge raziskave potrjujejo velik pomen poznavanja razporeditve sončnega sevanja v gozdovih za razumevanje razvoja vegetacije. Pri praktičnem gojenju gozdov pa je poznavanje količine sončnega sevanja v sestojih pomembno, še najbolj pa pri uvajanju sestojev v obnovo (Diaci, 1999a).

Prve meritve svetlobnih razmer v gozdnih sestojih zasledimo konec 19. stoletja. Od takrat pa do danes so razvili številne metode in instrumente (Diaci, 1999a). Ena izmed metod je tudi ocenjevanje svetlobnih razmer na principu preslikave nebesnega svoda in sončnih poti. V to skupino spada tudi fotografija hemisfere, to je fotografija krošenj s skrajno širokokotnim objektivom, imenovanim tudi 'ribje oko', usmerjenim naravnost proti zenitu. Fotografije so krožne in predstavljajo projekcijo okolice pod zornim kotom do 180° (Diaci, 1999b). Kot ostale metode v raziskovalnem delu ima tudi ta metoda določene omejitve. Pomembne omejitve, ki včasih zelo podražijo in podaljšajo čas ocenjevanja svetlobnih razmer, se nanašajo na optimalne razmere snemanja. Ustrezne so namreč le tiste fotografije, kjer je kontrast med nebom in vegetacijo največji. Diaci in sod. (1999b) menijo, da je možno najboljše rezultate doseči, kadar je nebo enakomerno prekrito z oblaki. Pomembna alternativa tem razmeram je fotografiranje pri jasnem nebu, vendar pred pojavom sonca v vidnem polju objektivu, oziroma zvečer, ko se sonce že umakne iz vidnega polja objektivu. Kontrastne fotografije omogočajo lažje in pravilnejše ločevanje

slikovnih elementov med nebom in krošnjami. Obdelana fotografija hemisfere prikazuje nebo kot bele slikovne elemente in krošnje kot črne slikovne elemente. Z analizo tako obdelane fotografije lahko ocenimo svetlobne razmere in še nekatere druge parametre na mestu snemanja. Obdelava in analiza fotografij poteka večinoma s pomočjo računalniških programov.

Za fotografiranje hemisfere se lahko uporablja klasičen fotoaparat s črno-belim filmom večje občutljivosti. Razvoj digitalne fotografije je omogočil dostop do digitalne fotografije hemisfere, ki ima kar nekaj prednosti pred klasično fotografijo, saj pri obdelavi fotografij izpustimo časovno zamuden del skeniranja filmov, to je pripravo fotografij za nadaljnjo računalniško obdelavo, in se izognemo tudi napakam, ki bi lahko nastale pri skeniranju. Rezultat snemanja z digitalnim fotoaparatom in objektivom 'ribje oko' je digitalna fotografija hemisfere, ki je že primerna za nadaljnjo računalniško obdelavo. Rezultati primerjave med klasično fotografijo hemisfere in digitalno fotografijo hemisfere kažejo na možnost zamenjave klasične fotografije z digitalno, saj obe metodi dajeta enako dobre ocene svetlobnih razmer v gozdovih (Hale in Edwards, 2001). Vzporedno z razvojem digitalne fotografije hemisfere se je razvijala tudi programska oprema za vrednotenje fotografij hemisfere, ki ponuja različne metode obdelave.

Ob vsem tem hitrem razvoju strojne in programske opreme za obdelavo fotografij hemisfere, se postavlja vprašanje glede spremembe optimalnega časa snemanja fotografij hemisfere. V nalogi želimo podrobneje preveriti, ali je mogoče v jasnem vremenu čas snemanja fotografij hemisfere, s primerno strojno opremo in obdelavo teh fotografij s primerno in dostopno programsko opremo, podaljšati v suboptimalne razmere. Zanimala nas bosta tudi čas obdelave posamezne fotografije z določenim programskim orodjem in objektivnost posameznega programskega orodja.

Predvidevamo, da lahko z uporabo barvne digitalne fotografije hemisfere in izbiro primerne programske opreme za njihovo obdelavo čas snemanja v jasnem vremenu podaljšamo v suboptimalne razmere, ko je sonce že v vidnem polju objektiva (po sončnem vzhodu) oziroma v razmere, ko je sonce še v vidnem polju objektiva (pred sončnim zahodom).

2 PREGLED OBJAV

2.1 SVETLOBA KOT OKOLJSKI DEJAVNIK

Rastiščni dejavniki, kot so klima, relief, tla in biocenoza, se močno povezujejo z okoljskimi dejavniki, med katere štejemo svetlobo, toploto, vodo, kemijske dejavnike in mehanske dejavnike. Rastiščni in okoljski dejavniki v povezanosti delujejo na posamezno drevo (Kotar, 2005). Uvodoma smo že pojasnili, da sončno sevanje močno vpliva na okoljske dejavnike. Zato je smiseln podrobnejši pregled njegove sestave.

2.1.1 Sestava sončnega sevanja

Sonce oddaja ogromne količine energije v obliki elektromagnetnih valov različnih valovnih dolžin. Spekter sončnega sevanja obsega naslednje valovne dolžine (Kotar, 2005):

kratkovalovno gama sevanje (0,003 nm)

ultravijolični del spektra (do 380 nm)

vijoličasti del spektra (380-450 nm)

modri del spektra (450-510 nm)

zeleni del spektra (510-550 nm)

rumeni del spektra (575-585 nm)

oranžni del spektra (585-620 nm)

rdeči del spektra (620-760 nm)

infrardeči del spektra (760-5000 nm)

Do zemeljske površine pride samo tisti del sončnega sevanja, ki obsega valovne dolžine med 290 nm in 5000 nm, Vidni del spektra ima valovne dolžine med 390 in 760 nm, od tega je za rastline uporabni del spektra med 320 in 750 nm. Sonce izžareva vsako sekundo $4,1868 \cdot 10^{26}$ J energije. Od tega pride vsako sekundo do zemeljske atmosfere približno 0,1350 J energije na cm^2 . To vrednost imenujemo solarna konstanta in sezonsko variira do 3 % zaradi eliptične oblike zemeljske tirnice. Solarno konstanto pogosto zapisujemo tudi v W na m^2 in sicer $1350 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Ko sončno sevanje prodira skozi atmosfero, se zmanjša zaradi refleksije, absorpcije in razpršitve. Kolikšen delež sevanja doseže zemeljsko

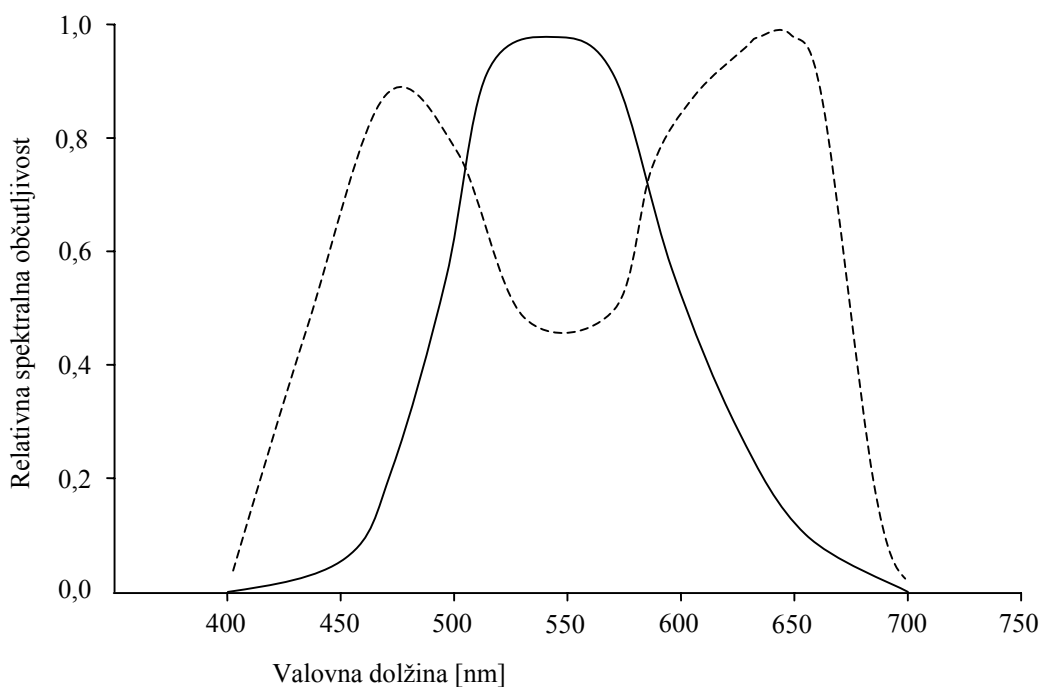
površino je odvisno še od geografske širine, časa, vremena, ekspozicije, nagiba. Tako doseže ob 12 uri pri jasnem nebu pri 40° severne geografske širine zemeljsko površino le še 12-50 % solarne konstante (Kotar, 2005).

Sončno sevanje, ki dospe na določeno mesto na zemeljski površini, delimo na direktno sončno sevanje in na difuzno oziroma razpršeno sončno sevanje. V jasnem sončnem dnevu znaša količina difuzne svetlobe, ki prispe do tal, le 5 % od celotne svetlobe, v povprečnih vremenskih razmerah znaša delež difuzne svetlobe 17 %, v popolnoma oblačnem vremenu pa prispe do zemeljske površine le difuzna svetloba (100 %) (Diaci, 1999a; Kotar, 2005).

Ko prispe sončno sevanje do zemeljske površine, ga ta reflektira ali pa absorbira. Odstotek reflektiranega sevanja se imenuje albedo in je največji pri svežem snegu 95 % in najmanjši pri oceanih in gozdovih (3 %). Vendar pa določena površina ne reflektira enako močno v vseh valovnih dolžinah sončnega spektra. Sneg npr. reflektira enakomerno ves vidni del spektra, medtem ko zelene rastline bolj kot ostale dele spektra reflektirajo zeleni del. Sončno sevanje, ki ga zemeljska površina ne reflektira, absorbirajo živi organizmi, voda, zemlja, skale itd. Zaradi absorbirane energije se poviša temperatura tal, kar poveča evaporacijo vode iz tal. Del te energije pa se v procesu fotosinteze uskladišči v energijsko bogatih molekulah. Klorofil močno absorbira modri (450 - 510 nm) in rdeči (620 - 760 nm) del sončnega spektra (Kotar, 2005).

2.1.2 Količina fotosintetsko aktivne svetlobe

Spremembo energije sevanja sonca v kemično energijo pri procesu fotosinteze imenujemo fotoprodukcija in je pomembna za rast drevesa in gozdov (Kotar, 2005). Pri kvantifikaciji fotoprodukcije je predpogoj, da poznamo količino energije sevanja, ki jo v časovni enoti absorbirajo listi (Mitscherlich, 1971, cit. po Kotar, 2005). To sevanje oziroma količino sevanja imenujemo fotosintetsko aktivno sevanje (angl. Photosynthetically Active Radiation – PAR) in ga rastline lahko uporabijo pri procesu fotosinteze. Zelene rastline pa PAR ne izkoriščajo na celotnem območju enakovredno. Kot je razvidno iz slike 1 je fotosintetska aktivnost pri valovni dolžini okoli 550 nm slabša, kajti zelene rastline fotone zelenega spektralnega območja nadpovprečno prepuščajo in odbijajo (Diaci, 1999a).



Slika 1: Primerjava relativne spektralne občutljivosti. Črtkana krivulja je za zelene rastline, polna črta za človeško oko (prirejeno po Diaci, 1999a:111).

Poznavanje PAR nam koristi predvsem pri oblikovanju modelov rasti drevesa in gozda, potek izračuna PAR poteka preko naslednjih enačb (Kotar, 2005).

Najprej je potrebno izračunati ali določiti višino (višinski kot) Sonca (kot β), to je kot med Soncem in obsevalno površino. PAR je namreč odvisna od višine Sonca, ta pa od geografske širine in dnevnega časa. Čim večji je kot β , tem manjša je izguba energije zaradi absorpcije v atmosferi. PAR tako izračunamo po enačbi:

$$PAR = 1350 \cdot 0,47 \cdot C \cdot \sin \beta \cdot e^{\frac{0,15}{\sin \beta}} \quad \dots(1)$$

C = zmanjšanje sevanja zaradi oblačnosti ($0 < C \leq 1$);

1350 = solarna konstanta v W/m^2 ;

0,47 = delež sončne radiacije, ki dospe do talne površine.

Enačba (1) velja za ravno površino. Na nagnjenih površinah pa je PAR odvisno še od ekspozicije in nagiba.

$$\rho = \cos(L - 20,4) \cdot \cos \gamma + \sin(L - 20,4) \cdot \sin \gamma \cdot \sin \alpha - 0,5 \quad \dots(2)$$

ρ = sprememba intenzitete sevanja zaradi nagiba in ekspozicije glede na sevanje, ki je merjeno pravokotno na površino;

L = geografska širina v stopinjah;

γ = nagib terena;

α = ekspozicija (vzhod = 0° , jug = 90° , zahod = 180° , sever = 270°).

Na skupno sevanje pa poleg geografske širine, časa, ekspozicije in nagiba vpliva tudi nadmorska višina (Kotar, 2005).

Količina fotosintetsko aktivnega sevanja (PAR), ki pade na vrh krošenj gozdnega sestoja in jo lahko izmerimo ali pa izračunamo po zgoraj navedenih modelnih enačbah, se s prodiranjem proti gozdnim tlem spremeni tako v smislu intenzitete, kot tudi v smislu kakovosti. Vrhovi krošenj absorbirajo tisti del PAR, ki je z vidika fotosinteze zelo kakovosten, prepustijo pa fotosintetsko manj aktiven del svetlobe. Bukovo listje absorbira več kot 90 % rdečega ter modrovijoličastega dela spektra, prepusti pa rumeni in zeleni del spektra (Kotar, 2005).

Tudi pojemanje sončnega sevanja pri prehodu skozi vegetacijsko odejo so poskušali zapisati v matematični obliki. Pojemanje poteka v skladu z Lambert-Beerovim zakonom pojemanja (Diaci, 1999a).

$$I = I_0 \cdot e^{-k \cdot LAI} \quad \dots(3)$$

I = prepuščeno sevanje na določeni višini pod vegetacijsko odejo;

I_0 = vpadno sevanje na vrhu krošenj;

k = koeficient pojemanja za različne rastlinske združbe;

LAI = kumulativni indeks listne površine.

Z zgoraj navedenimi enačbami je ugotavljanje intenzitete in skupne količine sončnega sevanja na neki določeni lokaciji nezanesljivo, saj nanju vpliva prevelika količina dejavnikov. Poleg geografske širine, dnevnega in letnega časa, nadmorske višine, nagnjenosti in ekspozicije terena, oblačnosti in onesnaženosti zraka, vpliva na skupno količino in intenziteto sončnega sevanja še oblika horizonta, ki pa se spreminja od kraja do kraja. Nekaterih od zgoraj navedenih dejavnikov skoraj ni mogoče kvantificirati saj se njihove vrednosti pojavljajo v izredno širokih razponih (Kotar, 2005). Precej bolj zanesljivo in razmeroma enostavno pa lahko količino sevanja ugotovimo z različnimi metodami in inštrumenti, ki jih bomo spoznali v nadaljevanju.

2.2 METODE IN INŠTRUMENTI ZA MERJENJE IN OCENJEVANJE SONČNEGA SEVANJA

Od prvih meritev sončnega sevanja v gozdovih, ki so se pojavila konec 19. stoletja in so temeljila na uporabi fotografskega papirja in merjenja časa potrebnega za obarvanje le tega, je šel razvoj metod in inštrumentov za ocenjevanje svetlobnih razmer v gozdovih v dveh smereh. Prva smer je razvoj natančnih in s tem tudi dražjih postopkov, primernih za zahtevnejše ekološke raziskave, druga smer pa je razvoj enostavnejših postopkov z omejeno natančnostjo in ugodnejšo ceno. Glede na to, katero komponento sončnega sevanja merimo (globalno sevanje, direktno sevanje, difuzno sevanje, fotosintetsko aktivno sevanje, fotosintetsko uporabno sevanje, vidno svetlobo, trajanje osončenja), je potrebno izbrati primeren inštrument oziroma metodo. Opisati moramo vse parametre in način snemanja ter oceniti natančnost in uporabnost pridobljenih podatkov, saj ima vsak inštrument oziroma metoda svoje prednosti in slabosti (Diaci, 1999a).

Zgoraj omenjene komponente sončnega sevanja lahko merimo na tri različne načine (Diaci, 1999a):

- zvezne meritve (Vrednosti sevanja se trajno zapisujejo skozi daljše časovno obdobje);
- integrativne meritve (Vrednosti sevanja sproti seštevamo);
- trenutne meritve (Rezultat te meritve je trenutna vrednost sevanja).

V nadaljevanju navajamo kratek pregled različnih metod in inštrumentov za ocenjevanje svetlobnih razmer v gozdovih (po Diaci 1999a).

2.2.1 Ocenjevanje in posredno ugotavljanje sončnega sevanja

Gre za najstarejše in pogosto uporabljene metode za ocenjevanje sončnega sevanja v gozdu in temeljijo na oceni deleža s krošnjami nezastritega neba. Ocenjevanje je mogoče na terenu ali pa iz karte tlorisov krošenj. Objektivnejšo oceno zastiranja krošenj je mogoče dobiti tudi na podlagi interpretacije aerofotoposnetkov.

2.2.2 Princip deformacije bimetala

Instrument se imenuje Fuess-Robitzschejev aktinograf. Sprejemni element instrumenta je dvobarvna bimetalna ploščica, zaščitena s stekleno polkroglo. Ploščica se pod vplivom sončnega sevanja krivi, deformacije pa se preko mehanskega vzvoda in pisala prenašajo na papir. Instrument počasi reagira na spremembe sevanja, je nenatančen in relativno drag. Z njim je možno izvajati le integrativne meritve.

2.2.3 Destilacija

Na principu destilacije deluje Bellanijev piranometer. Sestavljen je iz dveh koncentričnih steklenih krogel, ki sta spojeni s cevko. Alkohol iz počrnjene notranje krogle pod vplivom sončnega sevanja izpareva v zunanjo kroglo in tam kondenzira. Količina alkohola, ki preide iz notranje v zunanjo kroglo, je sorazmerna količini absorbirane sončne energije. Z instrumentom lahko izvajamo le integrativne meritve sončnega sevanja.

2.2.4 Fotokemične metode

Fotokemične metode so razvili konec 19. stoletja in so prve metode, s katerimi so uspešno merili sončno sevanje v gozdovih. Temeljijo na analizi fotokemične razgradnje različnih spojin v raztopinah (klorofil, hidroksil celuloza, antracen, fotografski papir, uranil-oksalat, uranil-nitrat itd.), ki so jih predhodno izpostavili sončnemu sevanju. Metode omogočajo meritve dnevnih vrednosti sevanja.

2.2.5 Termoelektrične metode

Termoelektrične metode delujejo na principu meritve temperaturnih razlik med črno in belo površino s termoelementi. Primera instrumentov, ki delujeta na principu termoelektričnih metod, sta Kipp-Zonenov in Eppleyev pirheliometer. Električna napetost, ki jo merimo na sistemu termoelementov, je sorazmerna energiji globalnega sončnega sevanja. S temi metodami lahko izvajamo zelo natančne zvezne meritve sončnega sevanja.

2.2.6 Fotoelektrične metode

Instrumenti v tej skupini metod delujejo na principu meritve potencialnih razlik na mejni plasti med kovino in polkovino. Z instrumenti lahko opravljamo trenutne, integrativne in zvezne meritve. Večina instrumentov ima spektralno občutljivost prilagojeno človeškemu očesu, vendar so možne korekcije z uporabo različnih filtrov. V ekoloških študijah je najbolj pogosta uporaba naslednjih skupin instrumentov:

- Luksmetri (fotometri);
- PAR tipala;
- PUR (angl. Photosynthetically Usable Radiation) tipala.

2.2.7 Preslikava nebesnega svoda in sončnih poti

Pri tej metodi gre za posredno ocenjevanje sončnega sevanja na osnovi fotografije krošenj dreves na celotni hemisferi. Prve poskuse s fotografiranjem drevesnih krošenj najdemo že ob koncu 19. stoletja. S pomočjo več skupaj sestavljenih fotografij drevesnih krošenj so ocenjevali zastiranje oziroma osvetljenost sestojev. Po razvitju objektiva 'ribje oko' leta 1924 se je metodologija hitro razvijala. Objektiv 'ribje oko' nam namreč omogoči preslikavo celotne hemisfere na ravno podlago fotografskega papirja.

Do danes se je na principu preslikave nebesnega svoda in sončnih poti uveljavilo več metod, najbolj pogosto uporabljane pa so naslednje:

- fotografiranje nebesnega svoda (hemisfere) z objektivom 'ribje oko';
- preslikava hemisfere z uporabo horizontoskopa oziroma izboljšanega horizontoskopa;
- inštrument LI-2000 Plant Canopy Analyzer, ki so ga razvili v podjetju LI-COR.

Princip ocenjevanja sončnega sevanja v gozdu na podlagi preslikave celotne hemisfere s pomočjo objektiva 'ribje oko' poteka na naslednji način: Celotno hemisfero, ki je bolj ali manj prekrita s krošnjami dreves in jo objektiv 'ribje oko' preslika na ravno podlago, prekrijemo s projekcijo sončnih poti na določeni geografski širini za določene mesece oz. dneve. Preštujemo število ur, ko sonce ni skrito za krošnjami dreves in na ta način dobimo oceno relativnega trajanja potencialnega direktnega sončnega sevanja na mestu meritve v primerjavi z direktnim sevanjem na prostem (angl. Direct Site Factor, DSF). Na isto projekcijo hemisfere prenesemo tudi t.i. pajkovo mrežo za ocenjevanje deleža difuznega sevanja na mestu meritve v primerjavi z razmerami na prostem (angl. Indirect Site Factor, ISF).

Zamudno ročno vrednotenje zgoraj omenjenih parametrov danes poteka s pomočjo računalniških programov, ki nam z uporabo različnih metod omogočajo izvedenotenje še nekaterih drugih parametrov. Katere parametre lahko izvednotimo iz hemisferičnih fotografij je opisano v poglavju 2.6, kjer navajamo nekatere programe za analizo fotografij hemisfere.

Preden začnemo z ocenjevanjem parametrov iz posamezne fotografije hemisfere je potrebno fotografijo obdelati. Postopek je nujen tako pri ročnem kot tudi pri računalniškem vrednotenju. Ločiti moramo namreč krošnje dreves od neba. Če smo se odločili za ročno vrednotenje, to storimo na fotografiji kar s primernim pisalom. V veliki meri pa se danes odločamo za uporabo računalnika. Če smo fotografijo posneli s klasičnim fotoaparatom, moramo negative ali pa že razvite fotografije skenirati in jih shraniti na računalniški medij. Pri digitalnem fotografiranju ta postopek ni potreben in fotografije le prenesemo iz digitalnega fotoaparata na računalnik. Tako pripravljene fotografije so primerne za nadaljnjo računalniško obdelavo. V primernem programu za obdelavo fotografij hemisfere odpremo fotografijo hemisfere in jo po navodilih programa obdelamo. Od programa in njegovih zmožnosti je odvisno, ali uporabljamo barvne ali črno-bele fotografije. Rezultat, ki ga moramo dobiti, je slika, ki ima le dvoje vrednosti slikovnih elementov: bele in črne. Beli slikovni elementi naj zamenjajo vse slikovne elemente, ki pripadajo nebu, črni slikovni elementi pa vse slikovne elemente, ki pripadajo krošnjam in ostalim delom vegetacije. Slika, ki jo dobimo na zaslonu, nima več črno-belih slikovnih elementov

(grayscale) in ne barvnih (RGB), v kolikor smo uporabljali barvno fotografijo, ampak le črne in bele slikovne elemente (Bi-level oz. binary). Iz tako pripravljene fotografije nam računalniški program za obdelavo fotografij hemisfere izračuna zelene parametre.

Določevanje meje med vegetacijo in nebom v skoraj vseh programih za obdelavo hemisferičnih fotografij poteka preko določitve mejne vrednosti sivin (threshold). Ta postopek je zelo subjektiven in pogost vir napak. Potreba po objektivnem, avtomatičnem in od operaterja neodvisnem določevanju mejne vrednosti sivin je že dolgo prisotna pri raziskovalcih, ki uporabljajo fotografijo hemisfere (Jonckheere in sod., 2005). Rešitev zgoraj omenjenega problema bi pripomogla tudi k standarizaciji uporabe fotografije hemisfere. Obstaja kar nekaj metod za avtomatizacijo tega postopka (Jonckheere in sod., 2005; Wagner, 1998; Yang in sod., 2001; Ishida, 2004; Nobis in Hunziker, 2005). Ene so bolj, druge manj primerne za uporabo pri obdelavi fotografij hemisfere. V veliki meri pa je za dobre rezultate zelo pomemben primeren čas snemanja.

2.3 NAJPRIMERNEJŠI ČAS SNEMANJA FOTOGRAFIJ HEMISFERE

Gendron in sodelavci (1998) so primerjali različne metode za ocenjevanje srednje vrednosti sončnega sevanja za rastno sezono v gozdu. Ena izmed metod je bila fotografija hemisfere, kjer so uporabljali klasičen fotoaparatus s črno-belim filmom. Zaradi želje po izboljšanju kontrasta in zmanjšanju bleska zaradi direktnega sevanja sonca so bile fotografije posnete zjutraj med 7:25 in 10:45. Po razvitju negativov in skeniranju so ugotovili, da je 14 fotografij od skupno 52 neuporabnih zaradi pomanjkljivega kontrasta med nebom in vegetacijo. Snemanje na teh točkah so morali zato ponoviti. Predvidevamo lahko, da je do pomanjkanja kontrasta med nebom in vegetacijo prišlo zaradi snemanja s črno belim filmom in zaradi snemanja v razmerah, ko je bilo sonce že nad horizontom.

Fotografija hemisfere je najboljša pod difuznimi pogoji neba, ko je svetlost listov minimalna. V nasprotnem primeru lahko pri osvetljenih listih, prihaja do ovrednotenja le teh kot nebo in ne kot del rastline (Welles, 1990). Englund in sodelavci (2000), ki so v svoji raziskavi med drugim primerjali tudi digitalno fotografijo s klasično, navajajo, da so bile vse fotografije posnete v oblačnem vremenu in sicer med 8:00 in 16:00. Tudi Frazer in

sodelavci (2001) v svoji raziskavi o preverjanju digitalne barvne in klasične fotografije ugotavljajo, da je najboljši kontrast med vegetacijo in nebom dosežen pri snemanju v oblačnem vremenu. Ta ugotovitev velja tako za barvno klasično kot za barvno digitalno fotografijo. Prav tako so Inoue in sodelavci (2004) za svojo raziskavo o primerjavi tipa fotoaparata, velikosti in kakovosti slike posneli fotografije hemisfere v oblačnem vremenu.

Enako ugotovitev so zapisali Diaci in sodelavci (1999b), ki so pri primerjavi različnih metod na osnovi projekcij hemisfere neba in krošenj pri fotografiranju hemisfere uporabljali klasičen fotoaparat s črno-belim filmom. Navajajo, da je največji kontrast med nebom in krošnjami dreves dosežen, kadar je nebo enakomerno prekrito z oblaki. Ugotavljajo, da je dobra alternativa tem razmeram jasno nebo, vendar pred pojavom sonca v vidnem polju objektiva oz. zvečer, ko se sonce iz vidnega polja objektiva že umakne.

Nekakšen povzetek vseh ugotovitev najdemo v priročniku za uporabo programa hemIMAGE (Brunner, 2002), kjer avtor priporoča snemanje fotografije hemisfere v popolnoma oblačnem vremenu. Na nebu naj ne bi bilo niti preveč svetlih oblakov, saj tudi ti lahko presvetlijo določene dele krošenj. Tako popolni pogoji pa se pojavijo le v dežju. Snemanje v dežju pa je nemogoče, saj kapljice na objektivu močno popačijo sliko. Tudi močan veter lahko popači sliko in rezultati so neuporabni. Idealni dnevi za hemisferično fotografijo so torej redki. Potrebno je torej veliko potrpežljivosti in poslušanja vremenskih napovedi ter vse to upoštevati pri planiranju terenskega dela. Alternativa oblačnim dnem je snemanje pred sončnim vzhodom, ko sonce še ni v vidnem polju objektiva, ali po sončnem zahodu, ko se sonce že umakne iz vidnega polja objektiva. Svetlobni pogoji pa se tu zelo hitro spreminjajo in zahtevajo različne čase osvetlitev pri uporabi klasičnega fotoaparata. Pri tej alternativni metodi je prav tako zelo omejen čas snemanja in zahteva delo zgodaj zjutraj in pozno zvečer.

2.4 UPORABA DIGITALNE ALI KLASIČNE FOTOGRAFIJE HEMISFERE?

Kot smo že uvodoma pojasnili je razvoj digitalne fotografije omogočil tudi digitalno fotografijo hemisfere s širokokotnimi objektivni 'ribje oko'. Seveda se ob tem postavlja vprašanje, kakšne so razlike v oceni parametrov fotografije hemisfere, pridobljenih s klasično oz. digitalno fotografijo.

Englund in sodelavci (2000) so primerjali klasično črno belo fotografijo z digitalno črno belo fotografijo hemisfere in ugotovili razlike, ki jih ne pripisujejo posameznemu sistemu, ampak različnim zunanjim vplivom. Snemanja so namreč potekala v 14 dnevnem zamiku, v katerem so se tudi odprtine v krošnjah že lahko zarasle. Poleg tega je lahko možen vir napak tudi nastavitev osvetlitve pri posameznem fotoaparatu in ročno spreminjanje slikovnih elementov v fotografijo v binarnem formatu. Avtorji priporočajo previdnost pri primerjavi ali sočasni uporabi digitalne in klasične fotografije. Prav tako sta Hale in Edwards (2002) primerjala uporabo klasične hemisferične fotografije z uporabo filma in digitalne fotografije hemisfere. Raziskavo sta izvedla v sestojih z različnimi gostotami dreves in sicer od 120 dreves/ha pa do 1674 dreves/ha. Pri obeh načinih snemanja je bil rezultat črno-bela fotografija hemisfere. Vse fotografije sta obdelala z računalniškim programom Hemiview 2.1 (Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK). Za ločevanje slikovnih elementov, ki pripadajo nebu ali krošnji, sta za vsako sliko posebej nastavila mejno vrednost nivoja sivin (threshold) in med drugim iz vrednotila dejavnika ISF in DSF. Rezultati raziskave so pokazali dobro povezavo med obema metodama na območju med približno 10 % in 70 % vrednosti kazalcev ISF in DSF. Analiza digitalne fotografije lahko iz vrednoti ISF vrednosti tudi nižje od 5 %, pri klasični fotografiji pa so te vrednosti 8 % in več. To nam pove, da je digitalna fotografija hemisfere bolj občutljiva od klasične fotografije hemisfere in s tem uporabna tudi za snemanja v razmerah, kjer pričakujemo nižje vrednosti ISF.

Pri primerjavi klasične barvne fotografije in digitalne barvne fotografije hemisfere pa so bile odkrite statistično značilne razlike (Frazer in sod., 2001). Avtorji priporočajo uporabo digitalne fotografije hemisfere v črno beli tehniki in v oblačnem vremenu.

2.5 VPLIV KAKOVOSTI IN VELIKOSTI DIGITALNE FOTOGRAFIJE HEMISFERE NA PARAMETRE, KI JIH LAHKO IZLOČIMO IZ LE TE

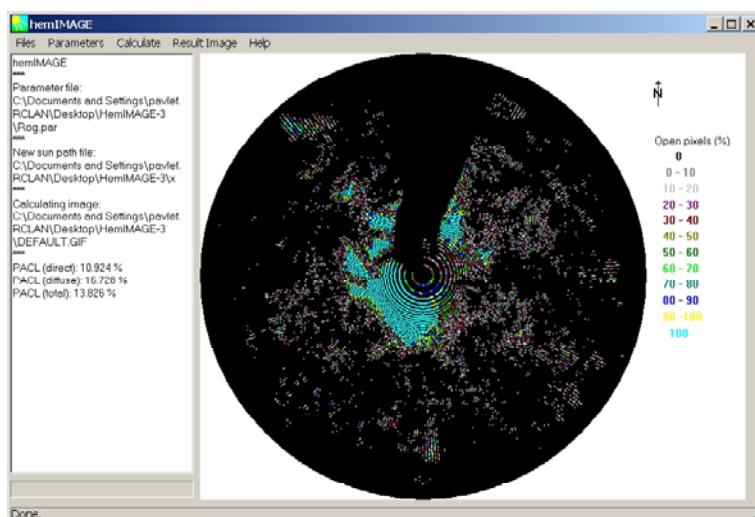
Uporaba digitalne fotografije hemisfere omogoča tudi nastavitev kakovosti in velikosti posnetka. Želje uporabnika je, da so fotografije dovolj kakovostne in da hkrati zavzemajo malo prostora na spominskih enotah. Zastavlja se torej vprašanje: Ali kakovost digitalne fotografije hemisfere vpliva na ocenjevanje parametrov, ki jih lahko iz nje izvednotimo. Izvedena je bila raziskava, v kateri so primerjali digitalne fotografije hemisfere posnete z fotoaparatom Nikon Coolpix 950 in objektivom 'ribje oko' FC-E8 (Englund in sod., 2000). Fotografije so bile posnete na štirih ravneh kakovosti, ki jih ponuja zgoraj omenjeni digitalni fotoaparat in se med seboj razlikujejo po načinu komprimiranja slikovnih elementov: High (6MB), Fine (1MB), Normal (500 KB), Basic (250 KB) in velikosti (resoluciji) 1600x1200 slikovnih elementov. Avtorji so testirali razlike med odprtini v krošnjah na vseh štirih ravneh kakovosti in niso ugotovili statistično značilnih razlik. Za nadaljnje analize priporočajo Basic kakovost in velikost 1600x1200 slikovnih elementov, saj zavzema malo prostora na spominskih enotah. Tudi Frazer in sodelavci (2001) niso ugotovili razlik v ocenah parametrov na ravneh kakovosti Fine in High pri uporabi kamere Nikon Coolpix 950. Glede velikosti slik pri primerjavi VGA, XGA in Fullsize pa so bile ugotovljene razlike.

Inoue in sodelavci (2004) so izvedli primerjavo dveh digitalnih kamer in sicer Coolpix 990 in 900 s Fish Eye FC-E8 ter primerjavo vseh velikosti in kakovosti posnetkov, ki jih ponujajo nastavitve fotoaparata. Na fotoaparatu Coolpix 900 so na voljo tri ravni kakovosti: Basic (250 KB), Normal (500 KB) in Fine (1MB) in dve velikosti: VGA in Fullsize, medtem ko na fotoaparatu Coolpix 990 izbiramo med štirimi ravnmi kakovosti: High (6MB), Fine (1MB), Normal (500 KB) in Basic (250 KB) ter tremi velikostmi VGA, XGA in Fullsize. Rezultati raziskave kažejo, da pri uporabi Coolpix 990 in 900 kakovost slike nima vpliva na oceno parametrov. Velikost slike in različen tip fotoaparata pa dajeta različne ocene parametrov. Avtorji priporočajo uporabo Basic nastavitve za kakovost saj le-ta zavzame manj prostora na spominskih enotah; pri izbiri velikosti slike pa priporočajo previdnost. Za fotoaparat Coolpix 900 priporočajo Basic kakovost in Fullsize velikost, medtem ko za Coolpix 990 priporočajo Basic kakovost in VGA velikost.

2.6 RAČUNALNIŠKO PODPRTI PROGRAMI ZA VREDNOTENJE FOTOGRAFIJ HEMISFERE

V nadaljevanju navajamo pregled nekaterih programov, ki so dostopni preko svetovnega spleta ali jih je moč kupiti pri nekaterih programerskih hišah. Prav tako pri posameznem programu navajamo parametre, ki jih je moč iz vrednotiti iz fotografij hemisfere ob njegovi uporabi.

2.6.1 HemIMAGE



Slika 2: Program HemIMAGE

Avtor programa je Andreas Brunner in v svojem priročniku (Brunner 2002), ki ga je možno dobiti skupaj s samim programom, navaja, da je program nekomercialen in napisan za osebne potrebe analize svetlobnih razmer v gozdovih iz hemisferičnih fotografij. Avtor predvideva fotografiranje s klasičnim

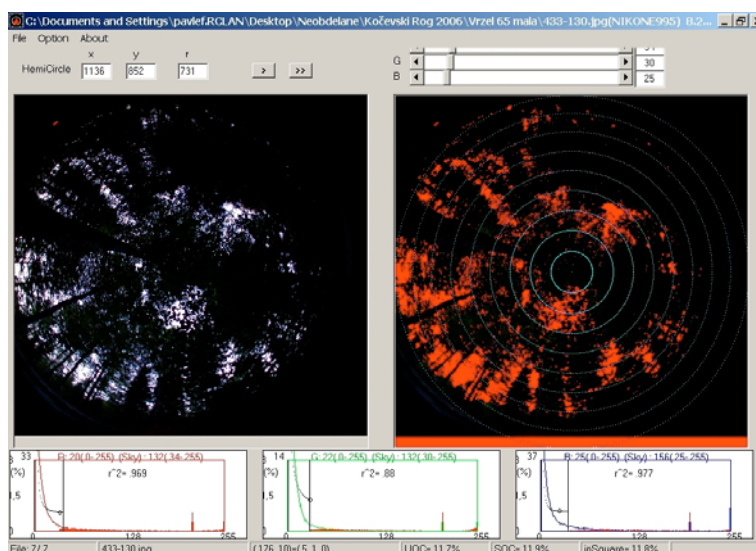
fotoaparatom in črnobelim filmom in priporoča 3 posnetke na vsaki točki meritve in sicer z različnimi časi osvetlitve (exposure). Fotoaparat je potrebno vedno obračati tako, da se sever nahaja na vrhu posnetka. Negative moramo skenirati in izbrati najbolj kontrastno fotografijo. Izbrano fotografijo nato obdelamo v programu Adobe Photoshop ob uporabi ukaza threshold in določimo mejno vrednost nivoja sivin (threshold), ter tako pripravimo fotografijo v binarnem formatu, kjer črni slikovni elementi predstavljajo vegetacijo, beli pa nebo. Mejne vrednosti sivin lahko določimo za celo fotografijo naenkrat, ali pa izločimo posamezne dele fotografije in za vsak tak del posebej določimo najbolj primerno mejno vrednost sivin. Tako obdelano fotografijo hemisfere je potrebo še obrezati (ukaz crop) in s tem ustvariti kvadratno sliko točno določenih dimenzij ter jo shraniti v formatu GIFF. Sledi

priprava izračuna sončne poti in vnos parametrov v program hemIMAGE. Nato lahko izvedemo analizo fotografij. Program lahko izvede naslednje parametre:

- delež direktnega sončnega sevanja;
- delež difuznega sončnega sevanja;
- delež skupnega sončnega sevanja.

Program omogoča tudi izris fotografije hemisfere kot graf, na katerem je prikazan procent odprtih v posamezni regiji (regije so definirane glede kota azimuta in zenita).

2.6.2 RGBFisheye 2005. 3

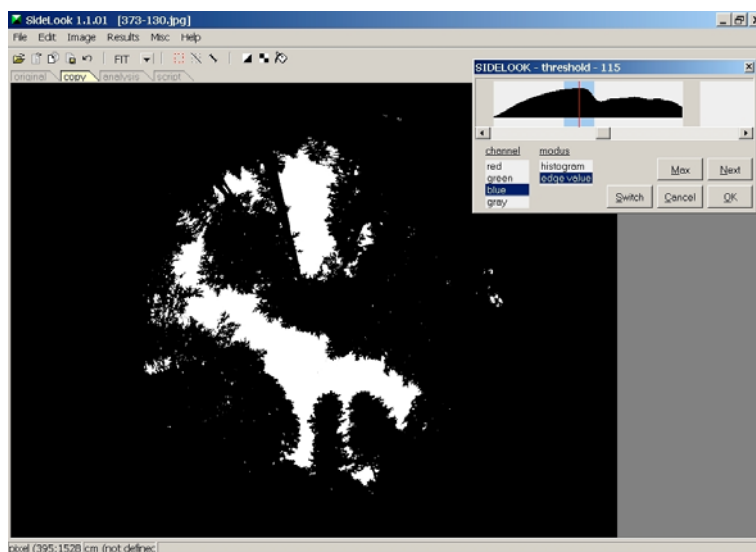


Slika 3: Program RGBFisheye 2005. 3

Program omogoča avtomatično izračunavanje procenta difuzne svetlobe iz hemisferičnih fotografij, ki so bile posnete z osvetlitvijo, nastavljeno glede na luminanco zenita neba. Pred fotografiranjem je potrebno na digitalnem fotoaparatu vključiti posebno nastavitve glede časa osvetlitve (AE-lock). Celoten postopek

nastavitve in ostale podrobnosti glede samega programa so opisane v članku avtorja Megumi Ishida (2004). Avtor članka je tudi avtor programa. Program je nekomercialen in ga je možno dobiti na svetovnem spletu skupaj s kratkim priročnikom. Omogoča tudi skupinsko obdelavo in shranjevanje obdelanih (binary) fotografij po opisanem avtomatičnem postopku. Program lahko izvede le delež difuznega sončnega sevanja.

2.6.3 SideLook 1.1

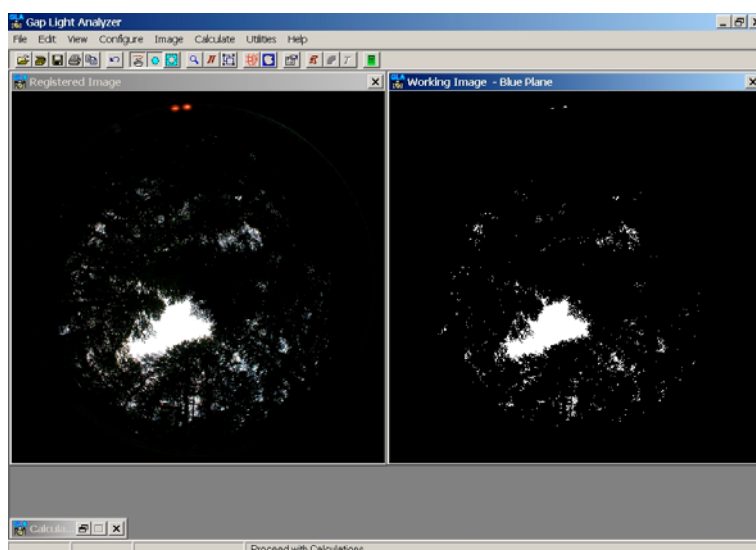


Slika 4: Program SideLook 1.1

Računalniški program SideLook 1.1 je namenjen za analizo vertikalne strukture travniških zeliščnih združb. K zadnji različici je bila dodana možnost avtomatske izbire mejne vrednosti nivoja sivin (threshold) na osnovi robnih vrednosti (edge detection). Algoritem in dodatne informacije o avtomatski izbiri mejne vrednosti nivoja

sivin najdemo v članku avtorjev Nobis M. in Hunziker U. (2005). Algoritem avtomatske izbire mejne vrednosti nivoja sivin je bil prvotno razvit za uporabo v obdelavi fotografij hemisfere. Ker program same analize fotografij hemisfere ne omogoča, je dodana možnost shranitve fotografije v binarnem formatu. S tem je omogočena analiza fotografij, ki so bile predhodno obdelane s programom SideLook 1.1, v primernem programu za obdelavo in analizo fotografij hemisfere.

2.6.4 Gap Light Analyzer (GLA) 2.0



Slika 5: Program Gap Light Analyzer (GLA) 2.0

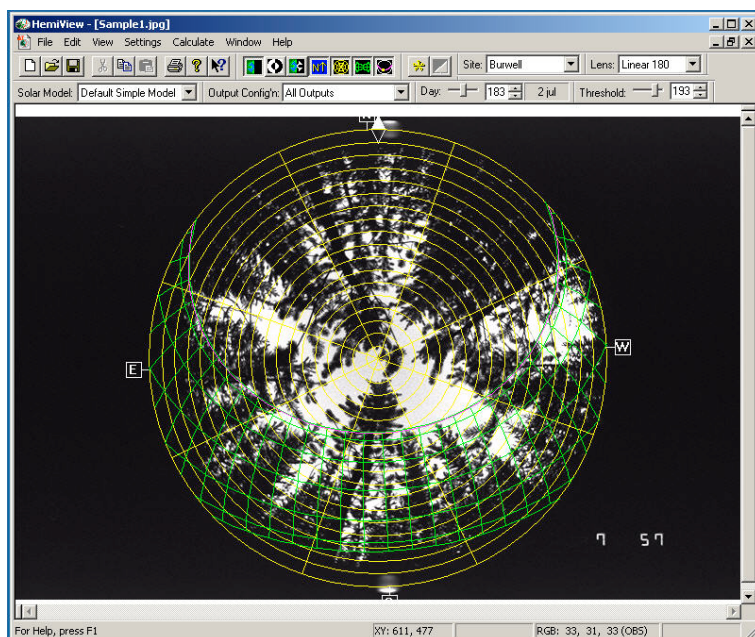
Program GLA omogoča prikaz, obdelavo in analizo hemisferičnih fotografij in je naslednik programa GLI/C. Je zelo zmogljiv in omogoča nastavitve mnogih parametrov: od lastnosti terena do nastavitve sončnih poti. Vsebuje tudi orodja za

obdelavo fotografij, podobna tistim, ki jih ponujajo ostali programi za delo s fotografijami. Priprava fotografije v binarnem formatu poteka preko ročnega določanja mejne vrednosti nivoja sivin (thresholda), ki ga lahko določimo za celo fotografijo naenkrat ali pa po delih, ki jih izločimo s pomočjo poljubnih oblik. Program omogoča tudi uporabo maske za izločitev dela fotografije iz analize. Fotografije moramo posneti tako, da je sever vedno na vrhu posnetka. Uporabljamo lahko katerikoli fotoaparati, ki ima goriščno razdaljo krajšo od 8 mm in omogoča montažo objektiv 'ribje oko'. Sistem je lahko digitalen ali klasičen oziroma barvni ali črno-beli, poznati moramo le njegovo projekcijsko napako. S programom GLA lahko iz fotografije hemisfere iz vrednotimo naslednje parametre:

- delež odprtega neba brez upoštevanja terena (canopy openness);
- delež odprtega neba glede na obliko terena (site openness);
- indeks listne površine (LAI);
- količino direktnega, difuznega in skupnega sevanja nad krošnjami z upoštevanjem lastnosti terena;
- količino direktnega, difuznega in skupnega sevanja nad krošnjami brez upoštevanja lastnosti terena;
- količino prepuščenega direktnega, difuznega in skupnega sevanja glede na lastnosti terena;
- delež direktnega sončnega sevanja;
- delež difuznega sončnega sevanja;
- delež skupnega sončnega sevanja

Program omogoča tudi enostavno predstavitev nekaterih parametrov v obliki grafikonov, kar mu daje še posebno prednost pred ostalimi. Programsko orodje GLA je nekomercialno in ga je možno dobiti preko svetovnega spleta oziroma od avtorjev (Frazer in sod. 1999).

2.6.5 HemiView 2.1



Slika 6: Program Hemi View

HemiView 2.1 je zelo uporaben in zmogljiv program, primerljiv s programom GLA, in so ga razvili v ameriškem podjetju Delta-T Devices Ltd. v sodelovanju s Helios Environmental Modelling Institute. Program je možno kupiti, brezplačna različica pa omogoča obdelavo le nekaj 10 fotografij hemisfere.

Fotografije so lahko posnete v barvni ali črno-beli različici, orientirane pa morajo biti tako, da je sever na vrhu posnetka. Program omogoča obdelavo fotografije z nastavitvijo mejne vrednosti nivoja sivin (threshold). Z analizo obdelanih fotografij lahko izvednotimo naslednje parametre:

- odprtine v krošnjah (gap fraction);
- indeks listne površine (LAI);
- delež direktnega sončnega sevanja;
- delež difuznega sončnega sevanja;
- delež skupnega sončnega sevanja.

Program omogoča tudi enostavno predstavitev ovrednotenih parametrov, saj je datoteka, kamor se zapisujejo rezultati, združljiva s programskim orodjem Microsoft Excel.

XLScanopy, ki ga vključimo v Microsoft Excel. Parametri, ki jih je moč iz vrednotiti iz hemisferičnih fotografij s pomočjo programa WinScanopy 2004b pro, so naslednji:

- odprtine v krošnjah in delež neba (gap fraction in openness);
- več indeksov listne površine (LAI), izračunanih preko različnih metod in podatki, ki se nanašajo nanje;
- količina direktnega, difuznega in skupnega sevanja nad krošnjami z upoštevanjem lastnosti terena;
- količina prepuščenega direktnega, difuznega in skupnega sevanja glede na lastnosti terena;
- delež direktnega sončnega sevanja;
- delež difuznega sončnega sevanja;
- delež skupnega sončnega sevanja;
- velikost vrzeli v kvadratnih metrih;
- izberemo lahko tudi določen del fotografije in zanj iz vrednotimo nekatere parametre (gap region data).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 OBJEKT RAZISKAVE

Raziskovalne ploskve smo postavili v odsek U01, ki zavzema del nižinskega dela katastrske občine Kleče in pripada gozdnogospodarski enoti Dol-Moravče, ta pa gozdnogospodarskemu območju Ljubljana. Naravni gozdni združbi v tem ravninskem delu sta *Salici populetum* in *Alnetum glutinose-incanae*. Odsek U01 je izločen sredi kmetijskih površin in leži na desni strani kolovozne poti, ki pelje iz vasi Kleče proti reki Savi. To je razmeroma širok pas ob presahli studenčnici, ki se je pri starem mlinu izlivala v potok Mlinjščico.

V odseku U01 smo poiskali večjo odprto površino, za katero smo okularno ocenili vrednost dejavnikov ISF in DSF okoli 60 %. To ploskev smo poimenovali *Velika vrzel*. Ocenjena velikost vrzeli znaša 1500 m² in je orientirana v smeri S-J. Zgornja višina dreves na robu vrzeli je 18 m. V okolici omenjene ploskve smo v sestoji tanjšega debeljaka velikega jesena in črne jelše izbrali drugo ploskev, in sicer v predelu, kjer se krošnje stikajo ter smo okularno ocenili, da je vrednost dejavnikov ISF in DSF okoli 10 %. Ploskev smo poimenovali *Zastor*. Gostota dreves na tej ploskvi je okoli 1900 osebkov na hektar, zgornja višina sestoja pa znaša 18 m. Obe raziskovalni ploskvi se nahajata v ravnini (naklon: 0), in sicer na nadmorski višini 260 m. Na vsako raziskovalno ploskev smo v smeri S-J in V-Z postavili mrežo 5 x 5 m in sicer tako, da smo dobili petindvajset točk. Točke smo na vsaki ploskvi oštevilčili od 1 do 25.

3.2 FOTOGRAFIJA HEMISFERE

Za potrebe snemanja smo si pripravili posebna obrazca in sicer za snemanja v dopoldanskem času in za snemanja v popoldanskem času (priloga A). Čas v dnevu smo razdelili na serije od A do J. Pri tem smo se opirali na začetek navtične zore oziroma na konec navtičnega mraka. Zvečer se navtični mrak začne, ko se Sonce spusti več kot 6° pod obzorje in konča, ko se Sonce spusti 12° pod obzorje. Zjutraj se navtična zora začne, ko je Sonce manj kot 12° pod obzorjem in konča, ko je Sonce 6° pod obzorjem. Točen čas začetka navtične zore oz. konca navtičnega mraka za izbrani dan, ko so potekala snemanja

smo odčitali iz primerne koledarja. Na svetovnem spletu pa je na voljo tudi več preprostih programov, ki omogočajo take izračune. Trajanje posamezne serije je omejeno s pričetkom naslednje serije, kar je razvidno iz preglednice 1.

Preglednica 1: Serije in njihov pričetek. Znak * pomeni začetek navtične zore (dopoldan) oziroma konec navtičnega mraka (popoldan), prištete oz. odštete ure pomenijo čas po začetku navtične zore oz. čas pred koncem navtičnega mraka.

Serijska	Pričetek serije-dopoldan	Pričetek serije-popoldan
serijska A	*+06:30	*-07:00
serijska B	*+05:30	*-06:00
serijska C	*+04:30	*-05:00
serijska D	*+03:30	*-04:00
serijska E	*+02:30	*-03:00
serijska F	*+02:00	*-02:30
serijska G	*+01:30	*-02:00
serijska H	*+01:00	*-01:30
serijska I	*+00:30	*-01:00
serijska J	*	*-00:30

Na vsaki raziskovalni ploskvi (Zastor in Velika vrzel) smo v izbranih serijah posneli petindvajset fotografij. Snemati smo pričeli ob začetku serije in vsako minuto posneli eno fotografijo na posamezni točki. Dolžina snemanja v posamezni seriji je bila torej petindvajset minut.

Snemanja so potekala 1. septembra 2005 na ploskvi Zastor in 6. septembra 2005 na ploskvi Velika vrzel in sicer v popoldanskem času, saj je snemanja zjutraj onemogočala megla. Snemanja so vedno potekala v jasnem, sončnem vremenu, saj smo le tako lahko zajeli celoten spekter razmer: od suboptimalnih do optimalnih. Na ploskvi Velika vrzel so snemanja potekala v serijah A, D, E, F, G, H, I in J, na ploskvi Zastor pa v serijah C, D, E, F, G, H, I in J. Fotografije posnete v seriji J so bile pretemne in smo jih zato izločili iz nadaljnje obdelave. V prilogi B je prikazan obrazec za snemanje na ploskvi Zastor z izračuni začetka posamezne serije na dan snemanja (1. 9. 2005).



Slika 8: Digitalni fotoaparati z objektivom 'ribje oko' nameščena na samo-uravnavnem stojalu z avtomatskim iskalcem severa

Za snemanja smo uporabljali digitalni fotoaparati Nikon Colpix E4500 s skrajno širokokotnim objektivom 'ribje oko' FC-E8. Fotoaparati z objektivom smo namestili na stojalo, ki so ga razvili v podjetju Regent's Instruments v Kanadi. Stojalo je sestavljeno tako, da postavi objektiv 'ribje oko' v horizontalen položaj in sistem je že pripravljen za snemanje fotografije hemisfere.

Na stojalu je nameščen še elektronski kompas, ki zaznava magnetni sever. Ob sprožitvi fotoaparata se na obodu stojala prižge rdeč LED indikator, ki pokaže smer magnetnega severa in tako je na posneti fotografiji že smer magnetnega severa. Pred pričetkom dela smo fotoaparati nastavili na sledeče nastavitve:

METERING : CENTER
 MODE : P
 EXP +/- : -2.0
 IMG ADJUST : STANDARD
 SENSITIVITY : ISO400

WHITEBAL : AUTO
 SHARPNESS : LOW
 QUALITY : 2272x1704 FINE
 SATURATION : 0
 FOCUS AREA : CENTER

3.3 ANALIZA FOTOGRAFIJ HEMISFERE

Serije fotografij, tako za ploskev Zastor kot za ploskev Velika vrzel, smo obdelali z različnimi programskimi orodji in sicer po petih različnih postopkih. Izbrane programe in postopke navajamo v nadaljevanju.

3.3.1 Winscanopy 2004b pro

V programu WinScanopy 2004b pro smo obdelovali slike na osnovi klasifikacije slikovnih elementov (pixel classification). Za potrebe take klasifikacije je potrebno za izbrane posnetke z istimi barvnimi odtenki pripraviti posebno datoteko, v kateri je določeno kateri, slikovni element pripada nebu in katera vegetaciji. Posamezno serijo posnetkov smo vzeli kot skupino fotografij z istimi barvnimi odtenki. To smo lahko storili zaradi kratkega časovnega intervala snemanja posamezne serije, saj je časovna razlika od snemanja prve in zadnje fotografije le 25 minut. Za pripravo datoteke s podatki o klasifikaciji slikovnih elementov smo uporabili prvo, trinajsto in zadnjo fotografijo v posamezni seriji.

Preden smo začeli z analizo, smo pripravili tudi masko. Program namreč omogoča, da z masko dele fotografije zakrijemo oz. izločimo iz analize. V našem primeru smo z masko prekrili del iskalca severa. Uporabili smo parametrični tip maske, kot stil smo izbrali *crescent* in celotni krog hemisfere, s konstantnim radijem maske. Kot maksimalni zenitni kot pa smo za ploskev Zastor izbrali 84° , za ploskev Velika vrzel pa 77° . Ostale programske nastavitve, ki vplivajo na samo analizo fotografij, so bile sledeče:

1. Rastna sezona je bila definirana za 365 dni.
2. Standard overcast sky (SOC) je bil uporabljen za razporeditev difuzne svetlobe.
3. Položaj sonca je bil izračunan vsake 3 minute.
4. Vrednost 1370 W/m^2 je bila izbrana kot solarna konstanta.
5. Vrednost 0,6 je bila uporabljena za prepustnost atmosfere.
6. Vrednost 0,51 je bila uporabljena kot faktor za pretvorbo Rad to PAR.
7. Vrednost 0,15 je bila uporabljena kot delež difuznega sevanja v direktnem sevanju.
8. Kot velikost sonca smo izbrali možnost *real size*.

Parametra, ki smo jih ocenjevali iz fotografij hemisfere, sta bila delež direktnega sončnega sevanja (Direct Site Factor-DSF) in delež indirektnega (difuznega) sončnega sevanja (Indirect Site Factor-ISF).

Postopek obdelave in analize fotografij s programom Winscanopy 2004b pro bomo v nadaljevanju imenovali kar postopek WinS.

3.3.2 SideLook 1.1-celotna slika

V programu SideLook 1.1 smo uporabljali možnost avtomatske izbire nivoja sivin (threshold). Ko smo v program naložili posamezno fotografijo, smo za celotno fotografijo naenkrat na listu Kopija (Copy) izbrali možnost Threshold. Po priporočilih avtorjev programa smo za analizo uporabljali modri kanal in v njem izvedli avtomatično izbiro nivoja sivin, ki poteka na osnovi robnih vrednosti (edge value) (Nobis 2005, Nobis in Hunziker 2005). Rezultat tega postopka je fotografija v binarnem formatu. To fotografijo smo shranili na spominsko enoto v formatu, ki ga ponuja SideLook 1.1 (*.bmp).

Iz vsake fotografije smo morali nato še v programu WinScanopy 2004b pro izvednotiti parametra ISF in DSF. Ker sta primerna formata za obdelavo v programu WinScanopy 2004b pro le JPEG in TIFF, smo morali predhodno vse fotografije iz BMP formata pretvoriti v JPEG format. To smo storili v programu Adobe Photoshop® cs version 8.0. V programu Winscanopy 2004b pro seveda ni bilo potrebno pripraviti posebne datoteke s klasifikacijo slikovnih elementov, saj smo imeli tokrat opravka že z obdelanimi fotografijami. Velikost mask in ostale nastavitve programa WinScanopy 2004b pro (točke 1.-8.) so ostale enake, kot smo jih navedli pri opisu postopka WinS.

Postopek obdelave fotografij s programom SideLook 1.1, kjer smo obdelovali celotno sliko naenkrat in nadaljnje analize v programu WinScanopy 2004b pro bomo v nadaljevanju imenovali kar postopek SLcs.

3.3.3 SideLook 1.1-slika po delih

Program SideLook 1.1 poleg obdelave celotne fotografije omogoča tudi obdelavo fotografije po delih. Izbrali smo si dele fotografije, ki izstopajo glede svetlosti slikovnih elementov od ostalih delov in za vsak tak del posebej izvedli avtomatično izbiro nivoja sivin. Slaba stran programa je, da je možno izbrani del označiti le z obliko pravokotnika in ne npr. kroga. Vsi ostali postopki so bili enaki kot smo jih opisali pri opisu postopka SLcs.

Postopek obdelave fotografij s programom SideLook 1.1, kjer smo obdelovali posamezne dele fotografije posebej in nadaljnje analize v programu WinScanopy 2004b pro bomo v nadaljevanju imenovali kar postopek SLpd.

3.3.4 RGBFisheye 2005. 3

Program RGBFisheye 2005. 3 je preprost za uporabo in omogoča avtomatsko izbiro nivoja sivin (Ishida, 2004). V programsko okno smo za y vpisali vrednost 1200px, za x 900px in za r (premer) vrednost 900px. To smo storili zato, da smo dobili v obdelavo celotno fotografijo hemisfere. V meniju File in avto save smo izbrali Binary (black and white) image. Ta funkcija omogoča, da se obdelana slika avtomatsko shrani v izvorno mapo z dodatkom (suffix) *-BW.bmp. Nato smo izbrali ukaz Open in označili vse fotografije in ukaz potrdili. Program je fotografije avtomatsko obdelal in jih shranil na spominsko enoto. Pred nadaljnjo analizo v programu WinScanopy 2004b pro smo morali fotografijam popraviti še velikost in format. To smo storili s programom Adobe Photoshop® cs version 8.0. Sledila je analiza fotografij in iz vrednotenja faktorjev ISF in DSF, za kar smo uporabili enake nastavitve v programu WinScanopy 2004b pro kot v postopku WinS.

Postopek obdelave fotografij s programom RGBFisheye 2005. 3 in nadaljnje analize v programu WinScanopy 2004b pro bomo v nadaljevanju imenovali kar postopek RGB.

3.3.5 Corel Photopaint 9.0

Na Oddelku za Gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, na Katedri za gojenje gozdov, so pred nakupom opreme za hemisferično fotografijo podjetja Regent's Instruments, uporabljali program hemIMAGE. Po navodilih avtorja je potrebno pred analizo fotografije spremeniti v fotografije v binarnem formatu način in sicer z ročnim določevanjem mejnih vrednosti nivoja sivin (manual thresholding) (Brunner 2002). To je razlog, da smo se odločili in vse serije obdelali tudi s programom Corel Photo-paint 9.0 in sicer na sledeč način:

1. Vsako fotografijo smo najprej spremenili iz barvne (RGB-48bit) v grayscale (8bit). To smo storili zaradi tega, ker so pri predhodnem delu na Katedri za gojenje gozdov uporabljali klasičen fotoaparatus črno-belim filmom.
2. Izbrali smo si dele fotografije, ki so izrazito izstopale s svetlimi slikovnimi elementi oziroma so vsebovale podobne sivine.
3. Izbrane dele smo vsakega posebej označili z Freehand mask tool.
4. Uporabili smo ukaz Transform in funkcijo Threshold, ter po določitvi primerne nivoja sivin izbrali možnost Bi-level in ukaz potrdili.
5. Na zgoraj opisani način smo obdelali vse, s svetlimi slikovnimi elementi izrazito izstopajoče dele hemisferične fotografije oziroma tiste s podobnimi sivinami.

Rezultat tega postopka so bile fotografije hemisfere v binarnem formatu. Te fotografije smo analizirali še s programom WinScanopy 2004b pro in iz vrednotili parametra ISF in DSF, za kar smo uporabili enake nastavitve kot pri postopku WinS.

Postopek obdelave fotografij s programom Corel Photo-paint 9.0 in nadaljnje analize v programu WinScanopy 2004b pro, bomo v nadaljevanju imenovali kar postopek photo.

3.4 PRIPRAVA REFERENČNIH VREDNOSTI

Ker so snemanja svetlobnih razmer potekala pri jasnem nebu, so nastale primerne razmere za fotografijo hemisfere šele, ko se je sonce umaknilo iz vidnega polja objektiva oziroma,

ko v vidno polje objektiva še ni vstopilo. Pri naši delitvi intervalov časa na serije so primerne razmere nastopile s serijo H. Zato smo to serijo izbrali kot referenčno. Fotografije smo obdelali na enak način, kot je opisano v postopku photo. Vsaka fotografija pa je bila obdelana dvakrat od različnega operaterja (Gendron in sod., 1998). S tem smo zmanjšali subjektivnost pri izbiri nivoja sivin. Povprečna vrednost faktorjev ISF in DSF posamezne analizirane fotografije je bila vzeta kot referenčna vrednost za posamezno točko, tako na ploskvi Velika vrzel kot tudi na ploskvi Zastor.

3.5 PORABA ČASA

Za vsak postopek obdelave smo merili tudi porabo časa in sicer tako, da smo merili skupni čas obdelave več fotografij in nato izračunali povprečno porabo časa na eno fotografijo v sekundah. Pri programu RGBFisheye 2005. 3 je potrebno upoštevati še čas za pripravo fotografije, ki bo primerna za obdelavo s programom WinScanopy 2004b pro. Ravno tako je potrebno pri programu SideLook 1.1 upoštevati še čas, ki ga računalnik porabi za spremembo tipa datoteke iz *.bmp v *.tif.

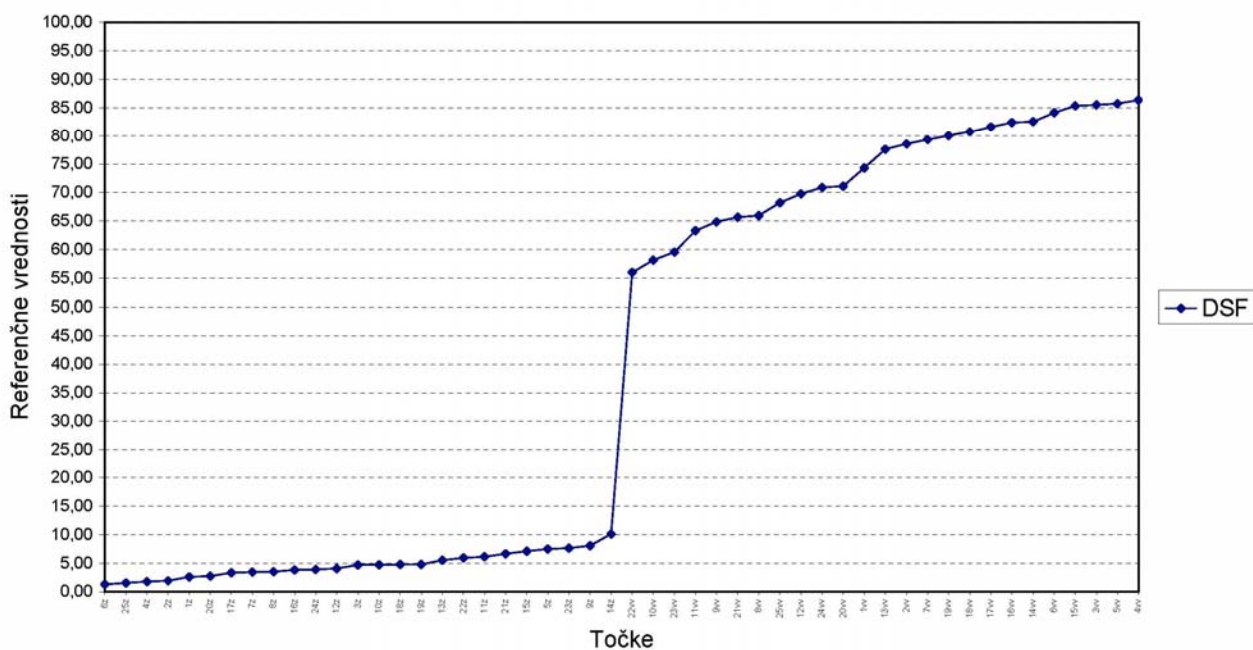
3.6 STATISTIČNA ANALIZA

Za analizo najprimernejšega postopka je bil izveden Friedmanov test (Friedman ANOVA) med optimalnimi serijami postopkov (serije H) in referenčnimi vrednostmi, ločeno za posamezno ploskev (N=25). Za analizo najprimernejšega časa snemanja znotraj posameznega postopka smo izvedli enak test, le da smo primerjali optimalno serijo posnetkov z ostalimi serijami, ločeno za posamezno ploskev (N=25) in na podlagi tega določili še uporabne serije. Za najprimernejši postopek (SLpd) na obeh ploskvah smo izračunali še linearne regresije med optimalno serijo (serijo H) in ostalimi serijami. Po standardnem t-testu smo testirali koeficienta regresije. Za vse statistične obdelave smo uporabljali program SPSS 10.0 for Windows.

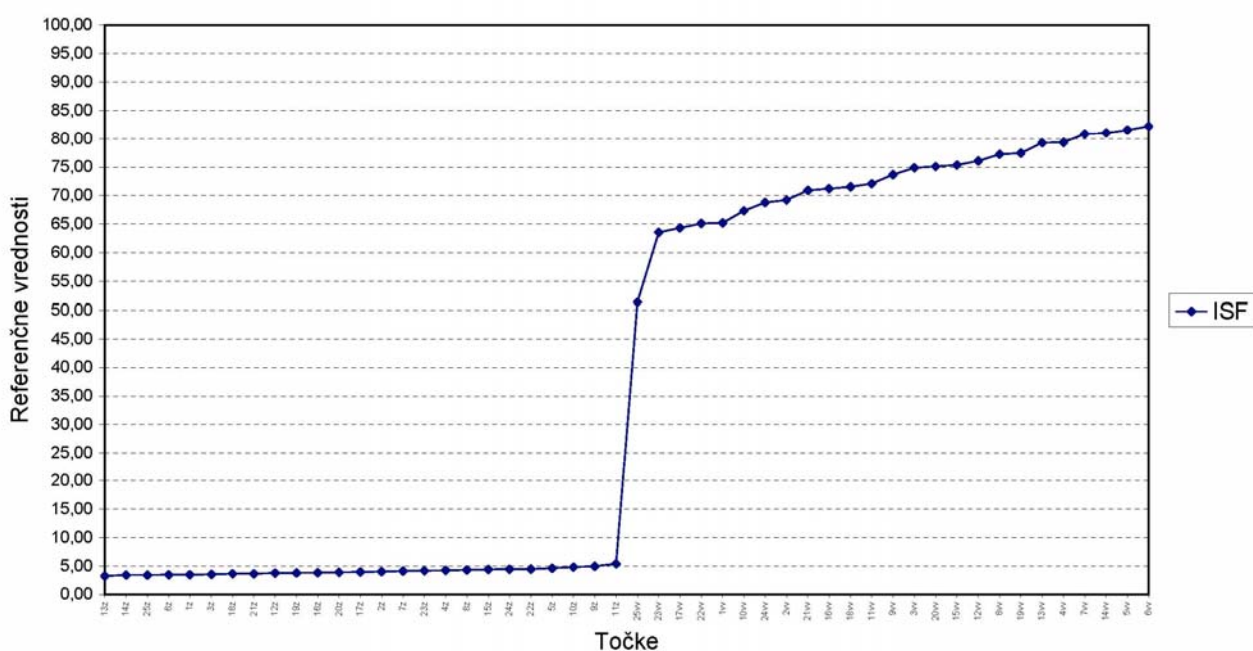
4 REZULTATI

4.1 OSNOVNI PODATKI

Meritve dejavnikov ISF (slika 10) in DSF (slika 9) na ploskvi Zastor zavzemajo vrednosti od 2 % do 10 %, na ploskvi Velika vrzel pa od 50 % do 85 %.



Slika 9: Referenčne vrednosti za delež direktnega sončnega sevanja (DSF) na obeh ploskvah.



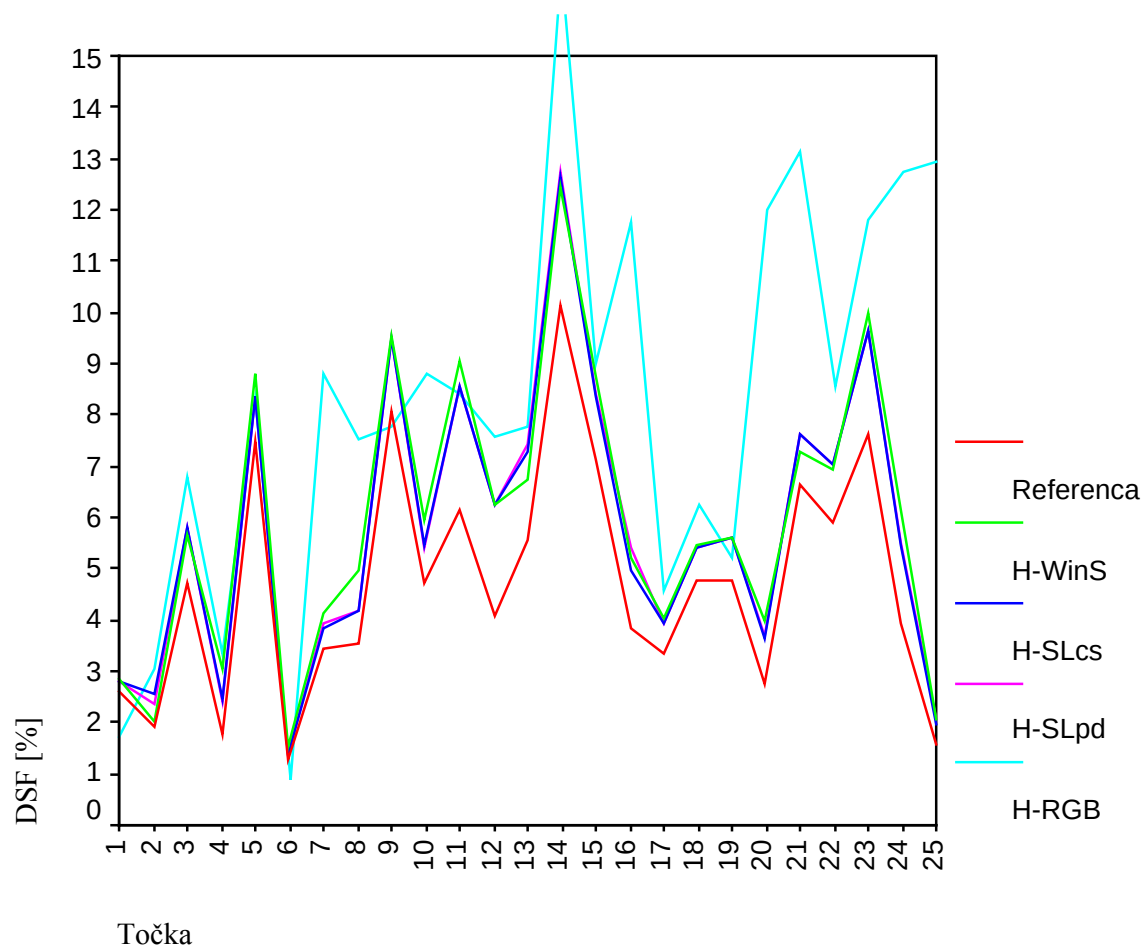
Slika 10: Referenčne vrednosti za delež difuznega sončnega sevanja (ISF) na obeh ploskvah.

Iz slik 9 in 10 je razvidno, da smo se pri snemanju osredotočili na dve skrajnosti in sicer na razmere pod zastorom in na razmere v veliki vrzeli. Ker nam podatki za male in srednje vrzeli manjkajo, smo se odločili, da v nadaljevanju obravnavamo posebej razmere pod zastorom in posebej razmere v veliki vrzeli.

4.2 NAJUSTREZNEJŠI POSTOPEK

Za določitev najustreznejšega postopka obdelave slik smo izbrali optimalno serijo posnetkov (serija H) za vsak postopek in jo primerjali z referenčnimi vrednostmi. Postopek photo smo pri tej primerjavi izpustili, saj so referenčne vrednosti pridobljene po tem postopku. Izvedli smo Friedmanov test (Friedman ANOVA), v katerem smo primerjali vse postopke med seboj in vsakega posebej z referenčnimi vrednostmi. Vrednosti dejavnikov za posamezen postopek in serijo H, na točkah smo tudi grafično predstavili.

1.1.1 Izbira najustrežnejšega postopka za Zastor in dejavnik DSF



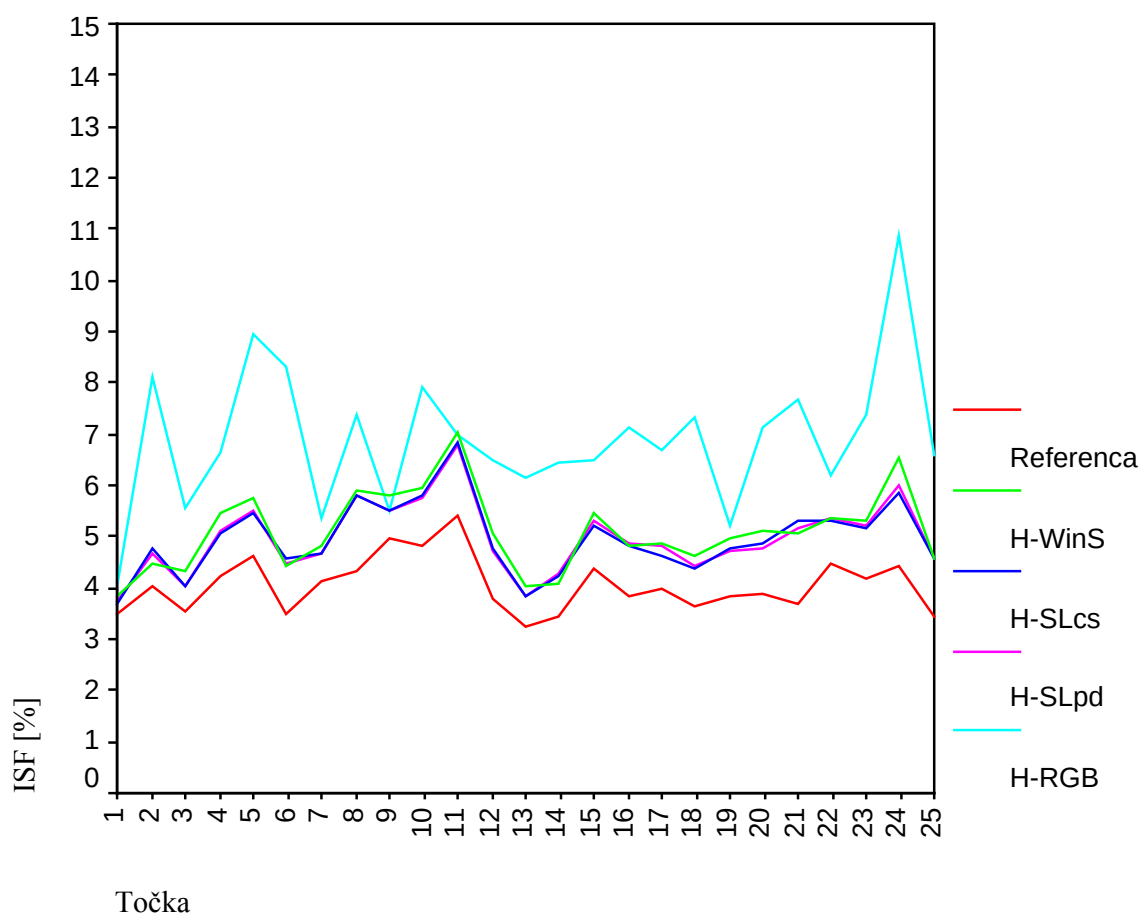
Slika 11: Vrednosti dejavnika DSF na ploskvi Zastor za posamezen postopek v optimalnih serijah.

Preglednica 2: Friedmanov test med optimalnimi serijami in referenčnimi vrednostmi: Izbira najustrežnejšega postopka za Zastor in dejavnik DSF.

Testirana razlika	N	χ^2	Stopinje prostosti	p	Povprečni rang
vsi postopki	25	54,754	4	0,000	-
H-WinS	25	25,000	1	0,000	3,640
H-SLcs	25	25,000	1	0,000	2,880
H-SLpd	25	25,000	1	0,000	3,200
H-RGB	25	14,440	1	0,000	4,160

Med primerjanimi postopki smo odkrili statistično značilne razlike. Razlike obstajajo tudi med referenčnimi vrednostmi in posameznim postopkom. Najnižjo srednjo vrednost ranga ima postopek SLcs zato ga lahko izberemo kot najustrežnejši postopek. Sledijo mu postopki Slpd, WinS in RGB.

4.2.2 Izbira najustrežnejšega postopka za Zastor in dejavnik ISF



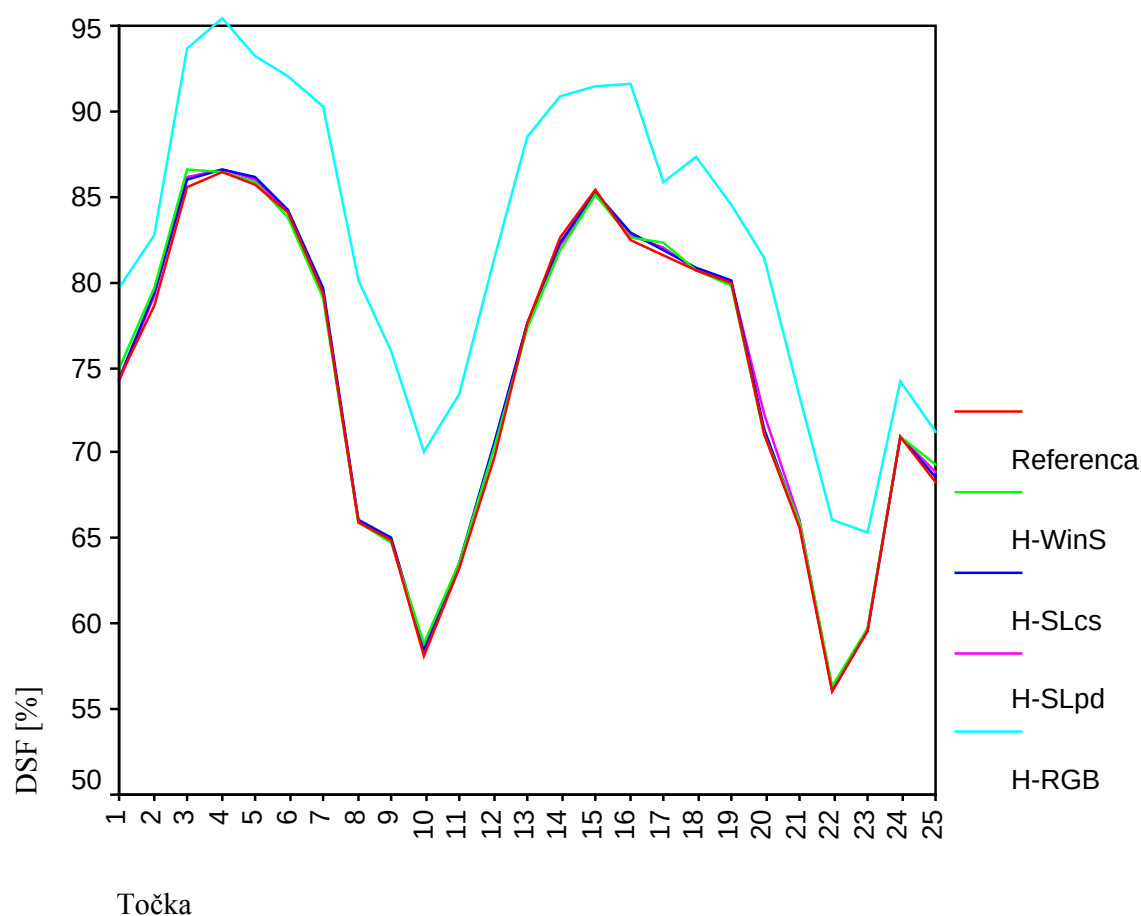
Slika 12: Vrednosti dejavnika ISF na ploskvi Zastor za posamezen postopek v optimalnih serijah.

Preglednica 3: Friedmanov test med optimalnimi serijami in referenčnimi vrednostmi: Izbira najustrežnejšega postopka za Zastor in dejavnik ISF.

Testirana razlika	N	χ^2	Stopinje prostosti	p	Povprečni rang
vsi postopki	25	81,988	4	0,000	-
H-WinS	25	25,000	1	0,000	3,680
H-SLcs	25	25,000	1	0,000	2,640
H-SLpd	25	25,000	1	0,000	2,820
H-RGB	25	25,000	1	0,000	4,860

Med primerjanimi postopki smo odkrili statistično značilne razlike. Razlike obstajajo tudi med referenčnimi vrednostmi in posameznim postopkom. Najnižjo srednjo vrednost ranga ima postopek SLcs in ga lahko izberemo kot najustrežnejši postopek. Sledijo mu postopki Slpd, WinS in RGB.

4.2.3 Izbira najustrežnejšega postopka za Veliko vrzel in dejavnik DSF



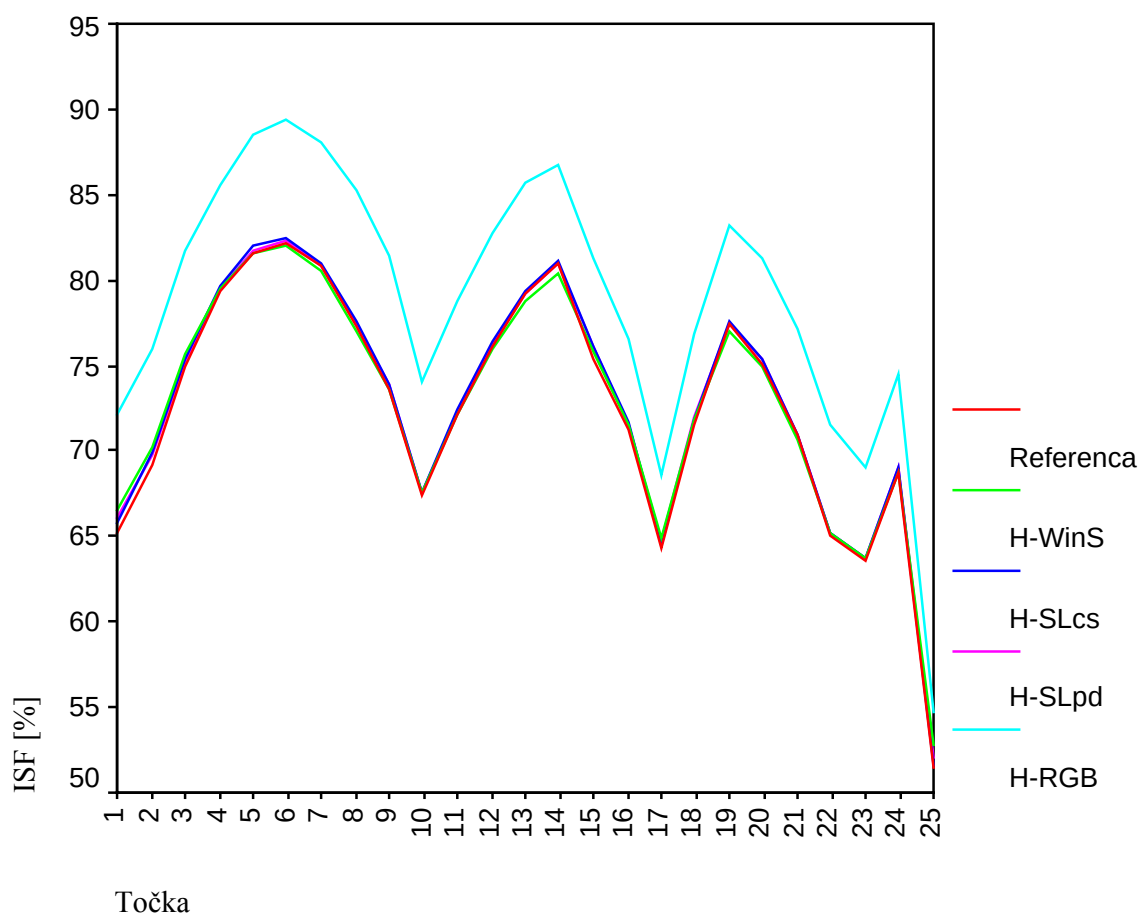
Slika 13: Vrednosti dejavnika DSF na ploskvi Velika vrzel za posamezen postopek v optimalnih serijah.

Preglednica 4: Friedmanov test med optimalnimi serijami in referenčnimi vrednostmi: Izbira najustrežnejšega postopka za Veliko vrzel in dejavnik DSF.

Testirana razlika	N	χ^2	Stopinje prostosti	p	Povprečni rang
vsi postopki	25	64,256	4	0,000	-
H-WinS	25	1,960	1	0,162	2,400
H-SLcs	25	17,640	1	0,000	3,360
H-SLpd	25	6,760	1	0,009	2,560
H-RGB	25	25,000	1	0,000	5,000

Med primerjanimi postopki smo odkrili statistično značilne razlike. Razlike smo odkrili tudi med referenčnimi vrednostmi in postopkoma SLcs in RGB. Med postopkom WinS in referenčnimi vrednostmi je statistično značilna razlika najmanjša, zato lahko ta postopek izberemo kot najustrežnejšega. Sledijo mu postopki SLpd, SLcs in RGB.

4.2.4 Izbira najustrežnejšega postopka za Veliko vrzel in dejavnik ISF



Slika 14: Vrednosti dejavnika ISF na ploskvi Velika vrzel za posamezen postopek v optimalnih serijah.

Preglednica 5: Friedmanov test med optimalnimi serijami in referenčnimi vrednostmi: Izbira najustrežnejšega postopka za Veliko vrzel in dejavnik ISF.

Testirana razlika	N	χ^2	Stopinje prostosti	p	Povprečni rang
vsi postopki	25	72,763	4	0,000	-
H-WinS	25	0,360	1	0,549	2,060
H-SLcs	25	25,000	1	0,000	3,520
H-SLpd	25	14,440	1	0,000	2,860
H-RGB	25	25,000	1	0,000	5,000

Med primerjanimi postopki smo odkrili statistično značilne razlike. Razlike smo odkrili tudi med referenčnimi vrednostmi in postopki SLcs, SLpd in RGB. Med postopkom WinS in referenčnimi vrednostmi ni statistično značilnih razlik, zato lahko ta postopek izberemo za najustrežnejši. Sledijo mu postopki SLpd, SLcs in RGB.

4.3 ČASI OBDELAVE

Preglednica 6: Čas obdelave oz. priprave fotografije v binarnem formatu s posameznim programom. (v sekundah na fotografijo).

Ploskev	Photopaint	RGBFisheye	SideLook – cela slika	SideLook – po delih
Vrzel	650	3,5+2	25+0,5	120+0,5
Zastor	450	3,5+2	25+0,5	80+0,5

Preglednica 7: Obdelava fotografije s programom Winscanopy 2004b pro (v sekundah na fotografijo).

Ploskev	Photopaint	RGBFisheye	SideLook – cela slika	SideLook – po delih	WinScanopy – pixel class
Vrzel	35	35	35	35	70
Zastor	33	33	33	33	70

Preglednica 8: Skupni čas obdelave posamezne fotografije s posameznim postopkom (v sekundah na fotografijo).

Ploskev	photo	RGB	SLcs	SLpd	WinS
Vrzel	685	40,5	60,5	155,5	70
Zastor	483	38,5	58,5	113,5	70

Glede porabe časa za obdelavo hemisferičnih fotografij si postopki od najhitrejšega do najdaljšega sledijo takole:

1. RGB
2. SLcs
3. WinS
4. SLpd
5. photo

4.4 OBJEKTIVNOST POSTOPKA

Pomemben dejavnik pri obdelavi fotografij hemisfere je tudi objektivnost posameznega postopka. Če postopke, ki so predstavljeni v tej nalogi razvrstimo, od najbolj objektivnega do najbolj subjektivnega, dobimo spodnji vrstni red. Objektivni postopek je tisti, kjer operater zelo malo posega v proces obdelave fotografije.

1. RGB
2. SLcs
3. SLpd
4. WinS
5. photo

4.5 NAJPRIMERNEJŠI ČAS SNEMANJA OB UPORABI POSAMEZNEGA POSTOPKA

S Friedmanovim testom (Friedman ANOVA) smo testirali razlike znotraj posameznega postopka in sicer med optimalno serijo posnetkov (serija H) in ostalimi serijami (serije A/C, D, E, F, G, I). Ničelno hipotezo, da razlike med serijami obstajajo, smo sprejeli, če je test izvednotil verjetnost, manjšo od 0,05 ($p < 0,05$). Serije, kjer smo odkrili razlike, smo označili kot neuporabne in predpostavili, da obdelava hemisferičnih fotografij, posnetih v tej seriji, po določenem postopku ne daje sprejemljivih rezultatov. V kolikor je bila verjetnost večja ali enaka 0,05 ($p \geq 0,05$), smo ničelno hipotezo ovrgli in predpostavili, da med primerjanima serijama ni razlik. Serije, kjer razlik nismo odkrili, smo označili kot uporabne in predpostavili, da obdelava hemisferičnih fotografij, posnetih v tej seriji, po določenem postopku daje sprejemljive rezultate. Izvedeni testi so predstavljeni v preglednicah. Na prvo mesto smo uvrstili postopek photo, nato pa so postopki razvrščeni po ustreznosti (glej poglavje 4.2) in sicer od najustrežnejšega proti najmanj ustreznemu. Za vse serije znotraj posameznega postopka smo grafično predstavili mediano, kvartila in ekstremne vrednosti. Ob vsaki seriji smo za primerjavo prikazali tudi referenčne vrednosti. Za obdelavo hemisferičnih fotografij, ki so bile posnete v razmerah, kjer pričakujemo vrednost dejavnikov ISF in DSF pod 10 % in med 50 % in 80 %, je najustrežnejši postopek SLpd (glej poglavje 4.2). Za ta postopek smo poleg Friedmanovega testa izvedli še linearne regresije za vsako ploskev in za vsak dejavnik posebej. Primerjali smo serijo H z ostalimi serijami. Statistično značilno različnost koeficientov regresije od 0 oz. 1 smo testirali s standardnim t-testom. Za postopek SLpd smo tudi grafično prikazali vrednosti dejavnika ISF za posamezno ploskev in sicer za vse serije in referenčne vrednosti. Enako smo storili tudi za najmanj ustrezen postopek RGB.

4.5.1 Najprimernejši čas snemanja za ploskev Zastor in dejavnik DSF

Preglednica 9: Friedmanov test med optimalno serijo posnetkov in ostalimi serijami znotraj posameznega postopka: Izbira uporabnih serij za ploskev Zastor in dejavnik DSF po postopkih.

Testirana razlika	N	χ^2	Stopinje prostosti	p	Povprečni rang	Uporabnost serije
vse serije	25	58,371	6	0,000	-	-
C-photo	25	1,960	1	0,162	5,320	Da
D-photo	25	4,840	1	0,028	5,000	Ne
E-photo	25	0,040	1	0,841	4,200	Da
F-photo	25	0,360	1	0,549	4,040	Da
G-photo	25	0,040	1	0,841	4,080	Da
H-photo	-	-	-	-	4,200	Da
I-photo	25	21,160	1	0,000	1,160	Ne
vse serije	25	67,707	6	0,000	-	-
C-SLcs	25	9,000	1	0,003	5,360	Ne
D-SLcs	25	4,840	1	0,028	4,880	Ne
E-SLcs	25	1,000	1	0,317	4,160	Da
F-SLcs	25	4,840	1	0,028	4,800	Ne
G-SLcs	25	2,667	1	0,102	4,300	Da
H-SLcs	-	-	-	-	3,500	Da
I-SLcs	25	25,000	1	0,000	1,000	Ne
vse serije	25	69,600	6	0,000	-	-
C-SLpd	25	9,000	1	0,003	5,520	Ne
D-SLpd	25	6,760	1	0,009	4,960	Ne
E-SLpd	25	1,960	1	0,162	4,200	Da
F-SLpd	25	3,240	1	0,072	4,640	Da
G-SLpd	25	1,960	1	0,162	4,200	Da
H-SLpd	-	-	-	-	3,480	Da
I-SLpd	25	25,000	1	0,000	1,000	Ne
vse serije	25	65,383	6	0,000	-	-
C-WinS	25	3,240	1	0,072	5,160	Da
D-WinS	25	3,240	1	0,072	5,320	Da
E-WinS	25	3,240	1	0,072	3,520	Da
F-WinS	25	1,000	1	0,317	4,800	Da
G-WinS	25	1,960	1	0,162	3,720	Da
H-WinS	-	-	-	-	4,320	Da
I-WinS	25	21,160	1	0,000	1,160	Ne
vse serije	25	69,234	6	0,000	-	-
C-RGB	25	4,840	1	0,028	5,520	Ne
D-RGB	25	9,000	1	0,003	4,400	Ne
E-RGB	25	1,000	1	0,317	4,200	Da
F-RGB	25	1,000	1	0,317	4,360	Da
G-RGB	25	0,000	1	1,000	3,700	Da
H-RGB	-	-	-	-	3,700	Da
I-RGB	25	17,640	1	0,000	1,120	Ne

4.5.2 Najprimernejši čas snemanja za ploskev Zastor in dejavnik ISF

Preglednica 10: Friedmanov test med optimalno serijo posnetkov in ostalimi serijami znotraj posameznega postopka: Izbira uporabnih serij za ploskev Zastor in dejavnik ISF po postopkih.

Testirana razlika	N	χ^2	Stopinje prostosti	p	Povprečni rang	Uporabnost serije
vse serije	25	66,137	6	0,000	-	-
C-photo	25	3,240	1	0,072	3,680	Da
D-photo	25	0,360	1	0,549	4,560	Da
E-photo	25	4,840	1	0,028	3,680	Ne
F-photo	25	1,960	1	0,162	4,580	Da
G-photo	25	0,167	1	0,683	5,280	Da
H-photo	-	-	-	-	5,140	Da
I-photo	25	25,000	1	0,000	1,080	Ne
vse serije	25	69,387	6	0,000	-	-
C-SLcs	25	1,000	1	0,317	3,380	Da
D-SLcs	25	0,040	1	0,841	4,420	Da
E-SLcs	25	0,040	1	0,841	4,280	Da
F-SLcs	25	0,040	1	0,841	4,900	Da
G-SLcs	25	4,167	1	0,041	5,600	Ne
H-SLcs	-	-	-	-	4,380	Da
I-SLcs	25	25,000	1	0,000	1,040	Ne
vse serije	25	69,253	6	0,000	-	-
C-SLpd	25	0,360	1	0,549	3,400	Da
D-SLpd	25	1,000	1	0,317	4,600	Da
E-SLpd	25	0,040	1	0,841	4,160	Da
F-SLpd	25	0,391	1	0,532	4,880	Da
G-SLpd	25	3,240	1	0,072	5,680	Da
H-SLpd	-	-	-	-	4,200	Da
I-SLpd	25	25,000	1	0,000	1,080	Ne
vse serije	25	109,783	6	0,000	-	-
C-WinS	25	21,160	1	0,000	2,960	Ne
D-WinS	25	1,690	1	0,162	5,480	Da
E-WinS	25	21,160	1	0,000	2,520	Ne
F-WinS	25	3,240	1	0,072	5,640	Da
G-WinS	25	17,640	1	0,000	4,080	Ne
H-WinS	-	-	-	-	6,120	Da
I-WinS	25	21,160	1	0,000	1,200	Ne
vse serije	25	90,472	6	0,000	-	-
C-RGB	25	14,440	1	0,000	6,160	Ne
D-RGB	25	11,560	1	0,001	5,740	Ne
E-RGB	25	1,000	1	0,317	3,960	Da
F-RGB	25	0,667	1	0,414	3,960	Da
G-RGB	25	1,500	1	0,221	3,460	Da
H-RGB	-	-	-	-	3,680	Da
I-RGB	25	21,160	1	0,000	1,040	Ne

4.5.3 Najprimernejši čas snemanja za ploskev Velika vrzel in dejavnik DSF

Preglednica 11: Friedmanov test med optimalno serijo posnetkov in ostalimi serijami znotraj posameznega postopka: Izbira uporabnih serij za ploskev Velika vrzel in dejavnik DSF po postopkih.

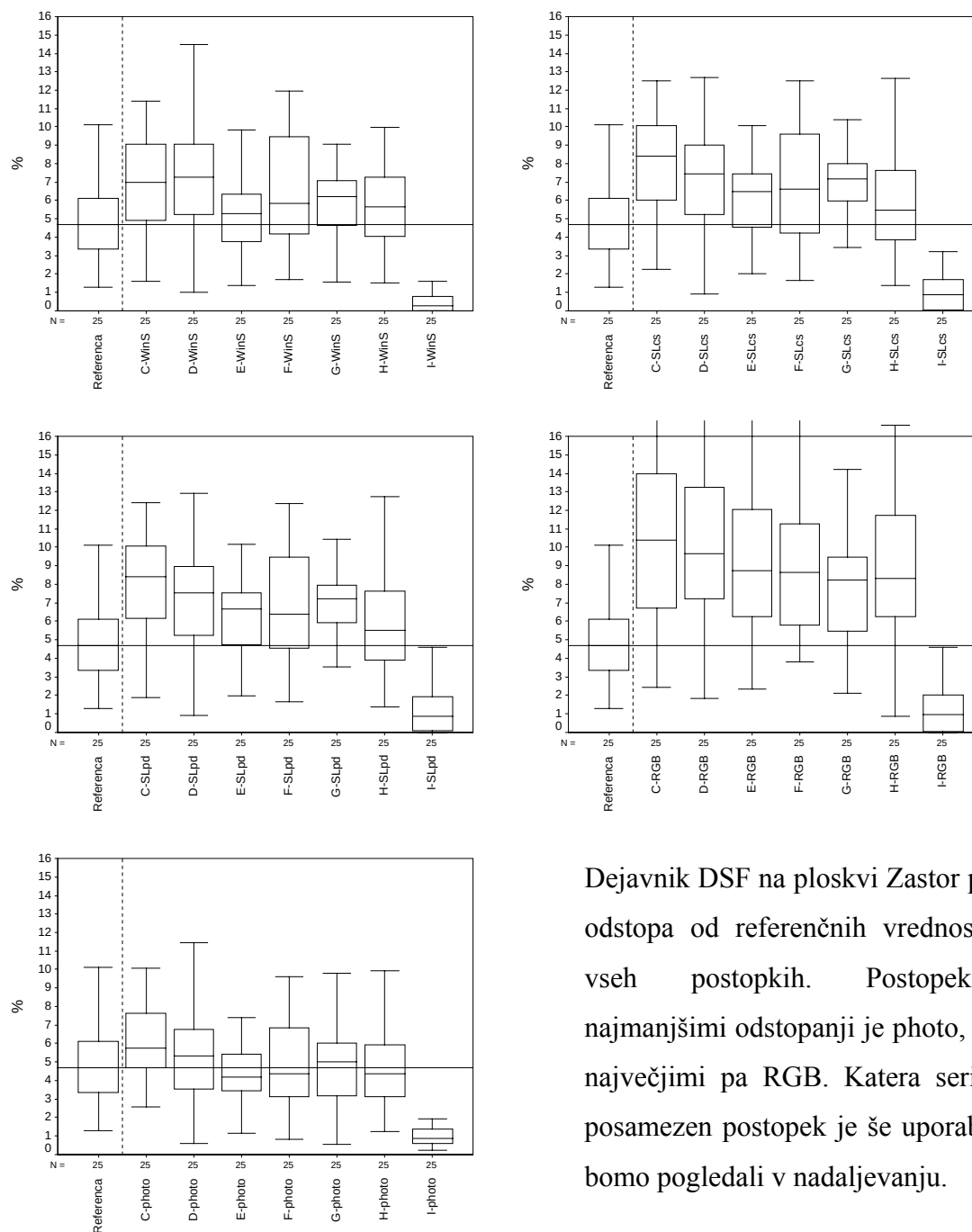
Testirana razlika	N	χ^2	Stopinje prostosti	p	Povprečni rang	Uporabnost serije
vse serije	25	31,012	6	0,000	-	-
A-photo	25	9,000	1	0,003	3,780	Ne
D-photo	25	11,560	1	0,001	3,280	Ne
E-photo	25	6,760	1	0,009	4,640	Ne
F-photo	25	14,440	1	0,000	2,840	Ne
G-photo	25	4,840	1	0,028	3,760	Ne
H-photo	-	-	-	-	5,840	Da
I-photo	25	11,560	1	0,001	3,860	Ne
vse serije	25	11,503	6	0,074	-	-
A-WinS	25	4,840	1	0,028	3,520	Ne
D-WinS	25	4,840	1	0,028	3,880	Ne
E-WinS	25	0,360	1	0,549	4,400	Da
F-WinS	25	6,760	1	0,009	3,240	Ne
G-WinS	25	1,960	1	0,162	3,760	Da
H-WinS	-	-	-	-	5,040	Da
I-WinS	25	1,960	1	0,162	4,160	Da
vse serije	25	26,329	6	0,000	-	-
A-SLpd	25	9,000	1	0,003	3,640	Ne
D-SLpd	25	11,560	1	0,001	3,240	Ne
E-SLpd	25	3,240	1	0,072	4,560	Da
F-SLpd	25	14,440	1	0,000	2,880	Ne
G-SLpd	25	4,840	1	0,028	3,960	Ne
H-SLpd	-	-	-	-	5,620	Da
I-SLpd	25	4,167	1	0,041	4,100	Ne
vse serije	25	18,584	6	0,005	-	-
A-SLcs	25	4,840	1	0,028	3,820	Ne
D-SLcs	25	4,840	1	0,028	3,540	Ne
E-SLcs	25	1,960	1	0,162	4,640	Da
F-SLcs	25	11,560	1	0,001	2,940	Ne
G-SLcs	25	3,240	1	0,072	3,780	Da
H-SLcs	-	-	-	-	5,280	Da
I-SLcs	25	3,240	1	0,072	4,000	Da
vse serije	25	105,411	6	0,000	-	-
A-RGB	25	25,000	1	0,000	7,000	Ne
D-RGB	25	14,440	1	0,000	5,680	Ne
E-RGB	25	0,360	1	0,549	4,040	Da
F-RGB	25	6,760	1	0,009	2,920	Ne
G-RGB	25	4,840	1	0,028	2,520	Ne
H-RGB	-	-	-	-	3,960	Da
I-RGB	25	17,640	1	0,000	1,880	Ne

4.5.4 Najprimernejši čas snemanja za ploskev Velika vrzel in dejavnik ISF

Preglednica 12: Friedmanov test med optimalno serijo posnetkov in ostalimi serijami znotraj posameznega postopka: Izbira uporabnih serij za ploskev Velika vrzel in dejavnik ISF po postopkih.

Testirana razlika	N	χ^2	Stopinje prostosti	p	Povprečni rang	Uporabnost serije
vse serije	25	56,931	6	0,000	-	-
A-photo	25	0,040	1	0,841	5,600	Da
D-photo	25	14,440	1	0,000	3,040	Ne
E-photo	25	6,760	1	0,009	4,060	Ne
F-photo	25	17,640	1	0,000	2,100	Ne
G-photo	25	11,560	1	0,001	3,480	Ne
H-photo	-	-	-	-	5,800	Da
I-photo	25	17,640	1	0,000	3,920	Ne
vse serije	25	27,258	6	0,000	-	-
A-WinS	25	1,000	1	0,317	5,240	Da
D-WinS	25	17,640	1	0,000	3,220	Ne
E-WinS	25	0,040	1	0,841	3,840	Da
F-WinS	25	11,560	1	0,001	3,020	Ne
G-WinS	25	3,240	1	0,072	3,140	Da
H-WinS	-	-	-	-	4,680	Da
I-WinS	25	3,522	1	0,061	4,860	Da
vse serije	25	35,472	6	0,000	-	-
A-SLpd	25	1,960	1	0,162	4,600	Da
D-SLpd	25	14,440	1	0,000	2,960	Ne
E-SLpd	25	1,000	1	0,317	4,320	Da
F-SLpd	25	10,667	1	0,001	2,280	Ne
G-SLpd	25	4,840	1	0,028	3,860	Ne
H-SLpd	-	-	-	-	5,240	Da
I-SLpd	25	0,667	1	0,414	4,740	Da
vse serije	25	31,563	6	0,000	-	-
A-SLcs	25	0,040	1	0,841	4,900	Da
D-SLcs	25	14,440	1	0,000	2,840	Ne
E-SLcs	25	1,000	1	0,317	4,340	Da
F-SLcs	25	9,000	1	0,003	2,500	Ne
G-SLcs	25	3,240	1	0,072	3,940	Da
H-SLcs	-	-	-	-	5,100	Da
I-SLcs	25	1,500	1	0,221	4,380	Da
vse serije	25	113,657	6	0,000	-	-
A-RGB	25	25,000	1	0,000	7,000	Ne
D-RGB	25	25,000	1	0,000	6,000	Ne
E-RGB	25	4,840	1	0,028	4,080	Ne
F-RGB	25	11,650	1	0,001	2,760	Ne
G-RGB	25	6,760	1	0,009	2,240	Ne
H-RGB	-	-	-	-	3,800	Da
I-RGB	25	17,640	1	0,000	2,120	Ne

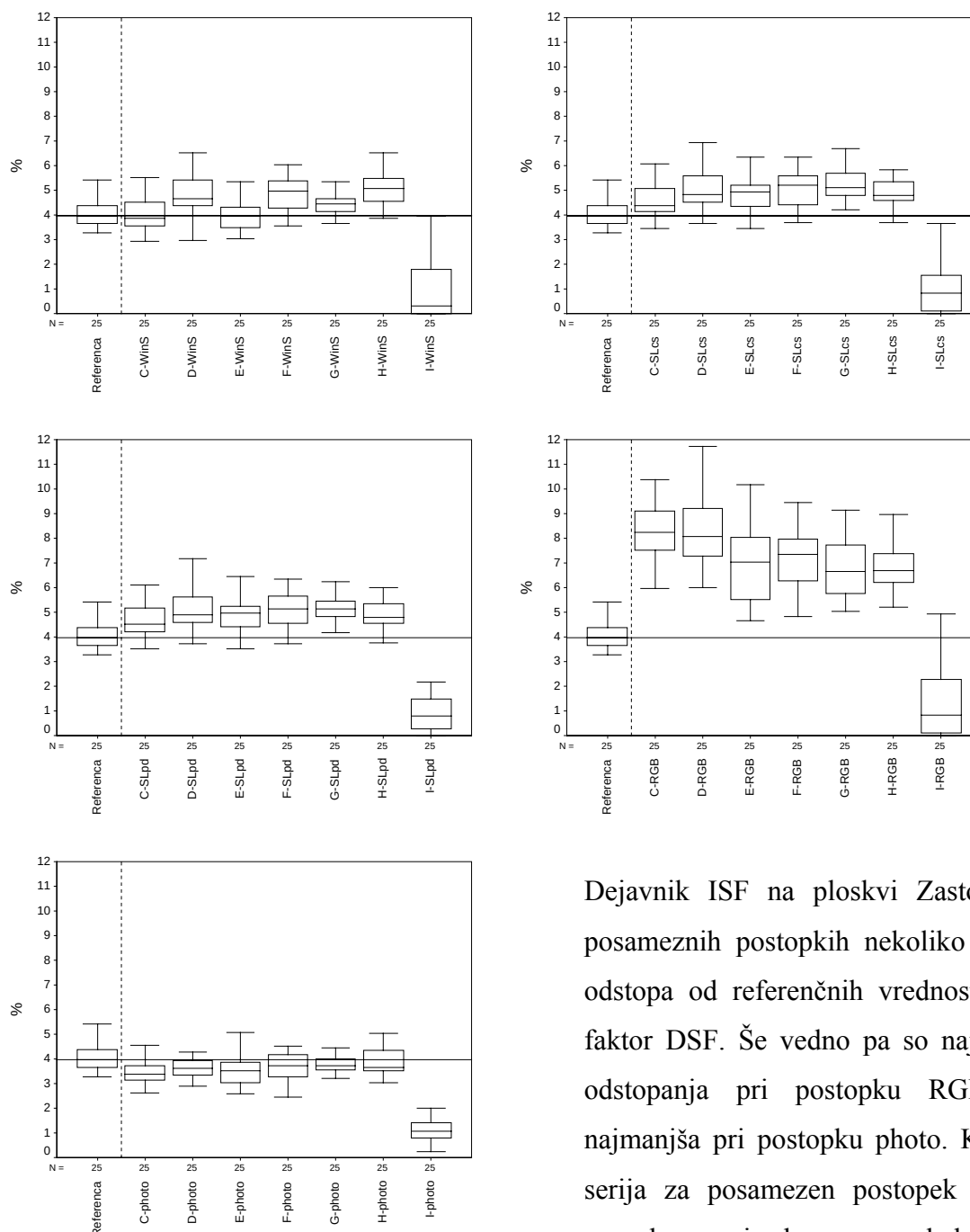
4.5.5 Prikaz dejavnika DSF na ploskvi Zastor ločeno za posamezen postopek in serijo



Dejavnik DSF na ploskvi Zastor precej odstopa od referenčnih vrednosti pri vseh postopkih. Postopek z najmanjšimi odstopanji je photo, tisti z največjimi pa RGB. Katera serija za posamezen postopek je še uporabna si bomo pogledali v nadaljevanju.

Slika 15: Prikaz dejavnika DSF na ploskvi Zastor.

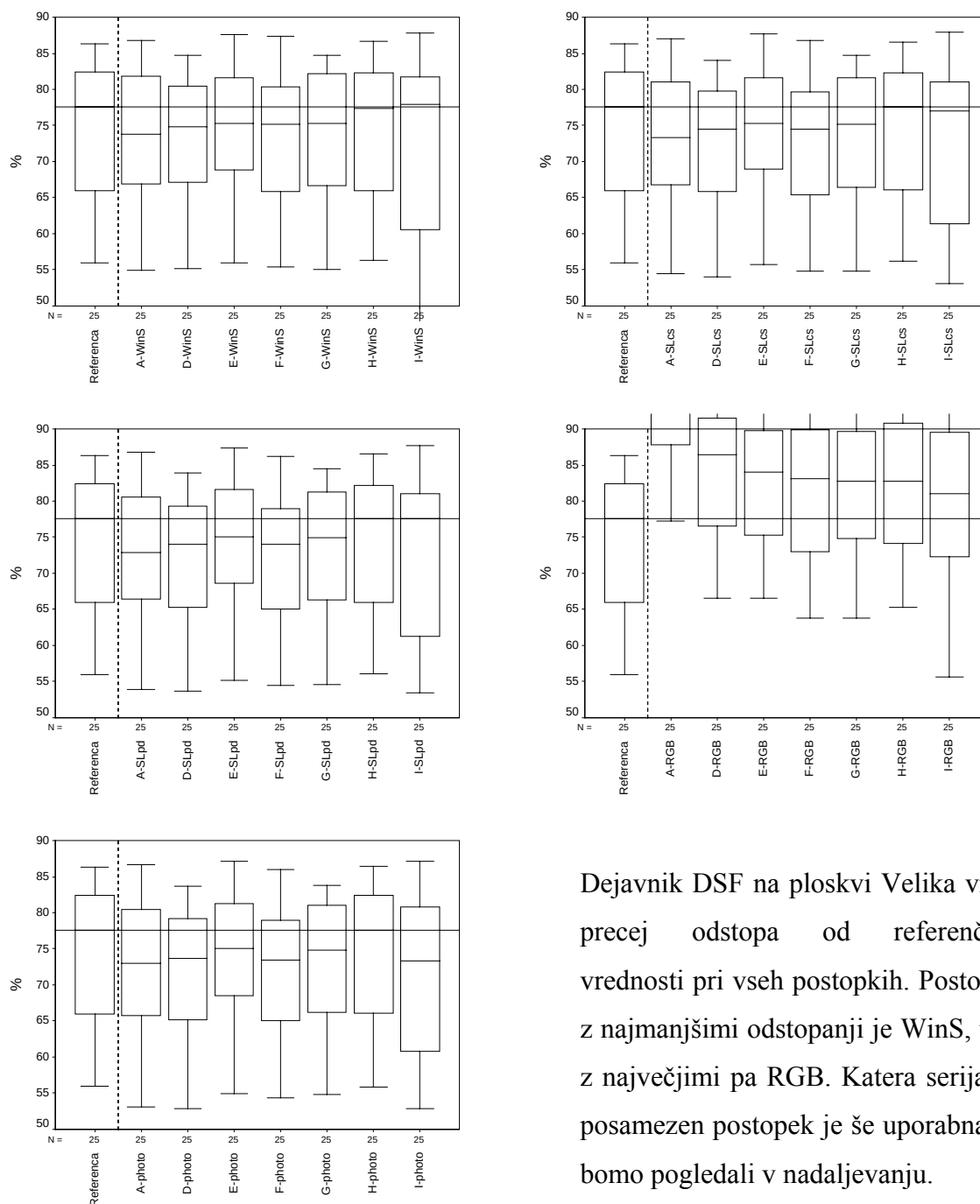
4.5.6 Prikaz dejavnika ISF na ploskvi Zastor ločeno za posamezen postopek in serijo



Dejavnik ISF na ploskvi Zastor po posameznih postopkih nekoliko manj odstopa od referenčnih vrednosti kot faktor DSF. Še vedno pa so največja odstopanja pri postopku RGB in najmanjša pri postopku photo. Katera serija za posamezen postopek je še uporabna, si bomo pogledali v nadaljevanju.

Slika 16: Prikaz dejavnika ISF na ploskvi Zastor.

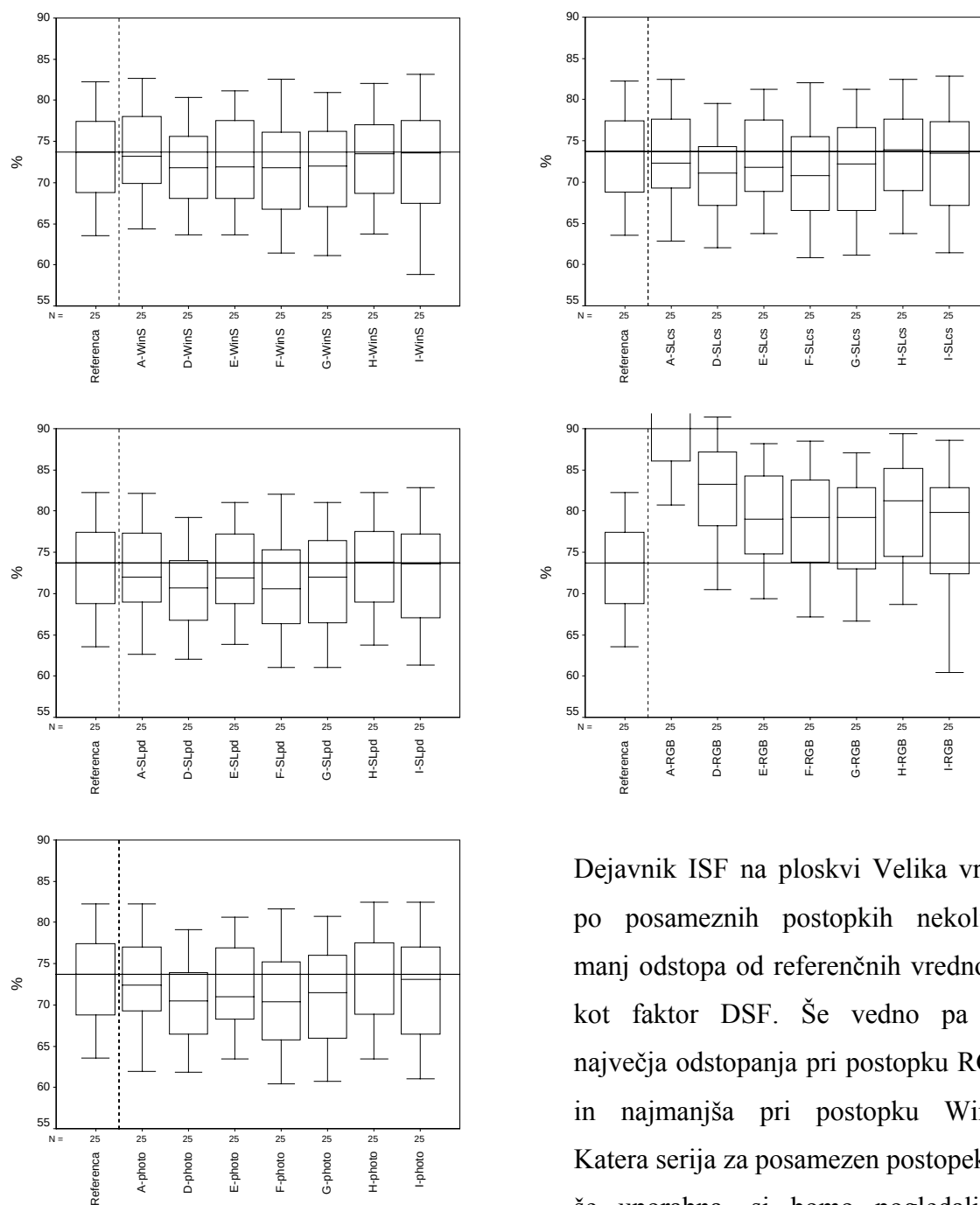
4.5.7 Prikaz dejavnika DSF na ploskvi Velika vrzel ločeno za posamezen postopek in serijo



Dejavnik DSF na ploskvi Velika vrzel precej odstopa od referenčnih vrednosti pri vseh postopkih. Postopek z najmanjšimi odstopanji je WinS, tisti z največjimi pa RGB. Katera serija za posamezen postopek je še uporabna, si bomo pogledali v nadaljevanju.

Slika 17: Prikaz dejavnika DSF na ploskvi Velika vrzel.

4.5.8 Prikaz dejavnika ISF na ploskvi Velika vrzel ločeno za posamezen postopek in serijo



Dejavnik ISF na ploskvi Velika vrzel po posameznih postopkih nekoliko manj odstopa od referenčnih vrednosti kot faktor DSF. Še vedno pa so največja odstopanja pri postopku RGB in najmanjša pri postopku WinS. Katera serija za posamezen postopek je še uporabna, si bomo pogledali v nadaljevanju.

Slika 18: Prikaz dejavnika ISF na ploskvi Velika vrzel.

4.5.9 Linearne regresije za postopek SLpd na ploskvi Zastor

Preglednica 13: Linearne regresije ($y=a \cdot x+b$) za dejavnik DSF postopka SLpd na ploskvi Zastor. Koeficienta a in b nista statistično značilno različna od 1 oz. 0, razen tam kjer je to označeno (* $p<0,05$, ** $p<0,01$), oz. tam kjer smo uporabili izraz *Ne*.

Primerjana Serija	N	r ²	p	b	S.E.	p; b=0	a	S.E.	p; a=1	Statistična značilnost koeficientov a in b	Uporabnost serije po Friedmanu
C-SLpd	25	0,344	0,002	1,127	1,426	0,438	0,594	0,171	0,027	Da*	Ne
D-SLpd	25	0,511	0,000	1,060	1,048	0,322	0,649	0,132	0,015	Da*	Ne
E-SLpd	25	0,491	0,000	0,366	1,225	0,768	0,872	0,185	0,496	Da	Da
F-SLpd	25	0,606	0,000	0,958	0,891	0,249	0,689	0,116	0,014	Da*	Da
G-SLpd	25	0,483	0,000	1,309	1,054	0,227	0,656	0,141	0,023	Da*	Da
H-SLpd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Da	Da
I-SLpd	25	0,247	0,011	4,605	0,661	0,000	0,990	0,360	0,978	Ne	Ne

Preglednica 14: Linearne regresije ($y=a \cdot x+b$) za dejavnik ISF postopka SLpd na ploskvi Zastor. Koeficienta a in b nista statistično značilno različna od 1 oz. 0, razen tam kjer je to označeno (* $p<0,05$, ** $p<0,01$), oz. tam kjer smo uporabili izraz *Ne*.

Primerjana Serija	n	r ²	p	b	S.E.	p; b=0	a	S.E.	p; a=1	Statistična značilnost koeficientov a in b	Uporabnost serije po Friedmanu
C-SLpd	25	0,260	0,009	3,024	0,694	0,000	0,408	0,143	0,000	Ne	Da
D-SLpd	25	0,217	0,019	3,188	0,715	0,000	0,355	0,140	0,000	Ne	Da
E-SLpd	25	0,297	0,005	2,500	0,800	0,005	0,496	0,159	0,004	Da**	Da
F-SLpd	25	0,350	0,002	2,164	0,805	0,013	0,545	0,155	0,007	Da**	Da
G-SLpd	25	0,369	0,001	1,530	0,943	0,119	0,658	0,179	0,072	Da	Da
H-SLpd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Da	Da
I-SLpd	25	0,010	0,882	4,945	0,202	0,000	0,018	0,122	0,000	Ne	Ne

4.5.10 Linearne regresije za postopek SLpd na ploskvi Velika vrzel

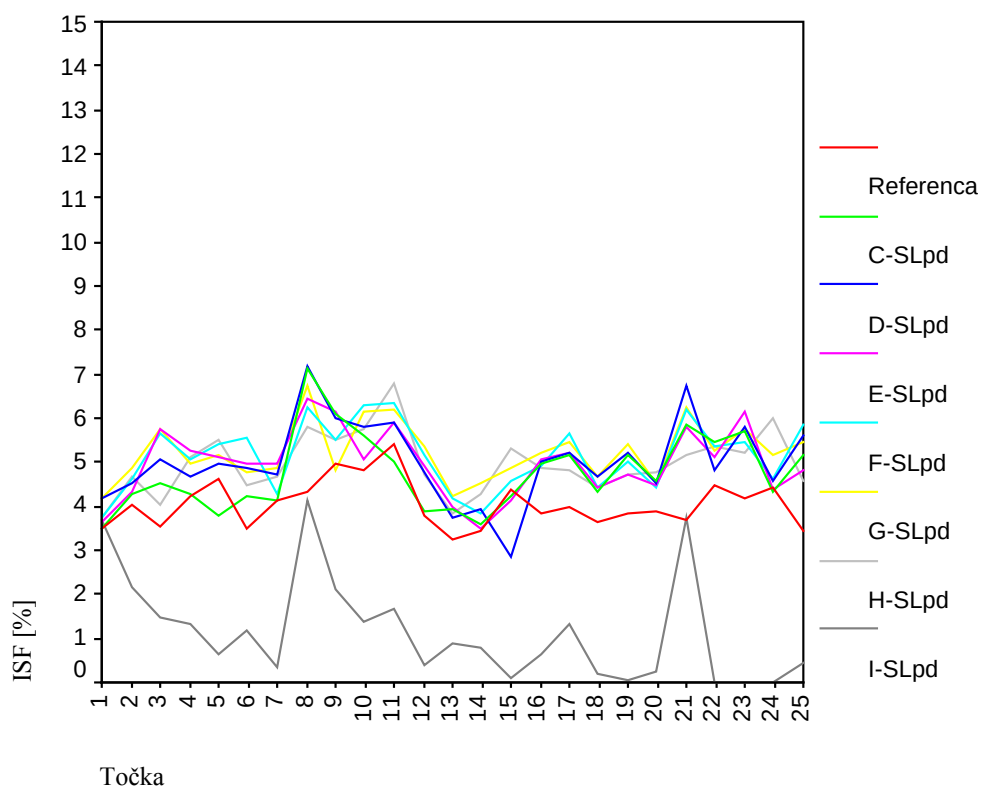
Preglednica 15: Linearne regresije ($y=a \cdot x+b$) za dejavnik DSF postopka SLpd na ploskvi Velika vrzel. Koeficienta a in b nista statistično značilno različna od 1 oz. 0, razen tam kjer je to označeno (* $p<0,05$, ** $p<0,01$), oz. tam kjer smo uporabili izraz Ne.

Primerjana Serija	N	r^2	p	b	S.E.	p; b=0	a	S.E.	p; a=1	Statistična značilnost koeficientov a in b	Uporabnost serije po Friedmanu
A-SLpd	25	0,948	0,000	8,231	3,276	0,019	0,909	0,045	0,057	Da	Ne
D-SLpd	25	0,924	0,000	1,487	4,387	0,738	1,011	0,060	0,856	Da	Ne
E-SLpd	25	0,941	0,000	5,709	3,636	0,130	0,934	0,049	0,193	Da	Da
F-SLpd	25	0,954	0,000	5,445	3,173	0,100	0,959	0,044	0,363	Da	Ne
G-SLpd	25	0,922	0,000	3,221	4,359	0,467	0,978	0,059	0,713	Da	Ne
H-SLpd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Da	Da
I-SLpd	25	0,955	0,000	13,95	2,771	0,000	0,829	0,038	0,000	Ne	Ne

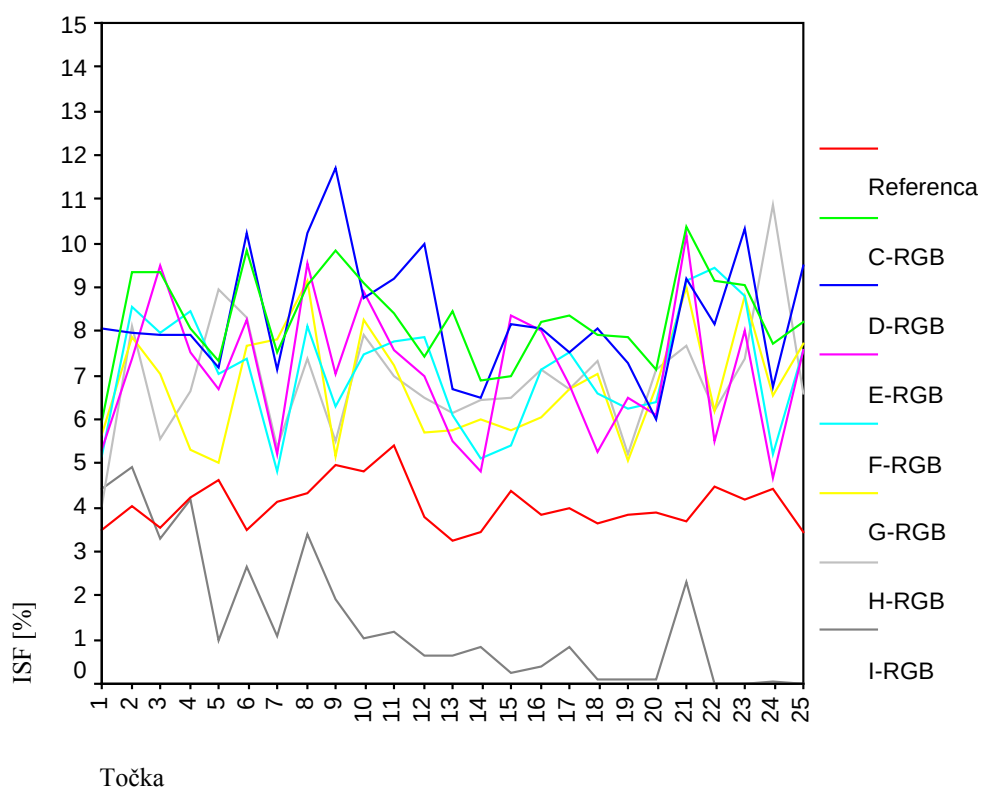
Preglednica 16: Linearne regresije ($y=a \cdot x+b$) za dejavnik ISF postopka SLpd na ploskvi Velika vrzel. Koeficienta a in b nista statistično značilno različna od 1 oz. 0, razen tam kjer je to označeno (* $p<0,05$, ** $p<0,01$), oz. tam kjer smo uporabili izraz Ne.

Primerjana Serija	N	r^2	p	b	S.E.	p; b=0	a	S.E.	p; a=1	Statistična značilnost koeficientov a in b	Uporabnost serije po Friedmanu
A-SLpd	25	0,956	0,000	3,339	3,134	0,298	0,967	0,043	0,453	Da	Da
D-SLpd	25	0,978	0,000	-4,20	2,413	0,095	1,096	0,034	0,009	Da**	Ne
E-SLpd	25	0,956	0,000	-0,34	3,272	0,917	1,017	0,045	0,709	Da	Da
F-SLpd	25	0,965	0,000	5,153	2,705	0,069	0,962	0,038	0,326	Da	Ne
G-SLpd	25	0,956	0,000	3,527	3,130	0,272	0,978	0,044	0,623	Da	Ne
H-SLpd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Da	Da
I-SLpd	25	0,984	0,000	9,293	1,718	0,000	0,880	0,024	0,000	Ne	Da

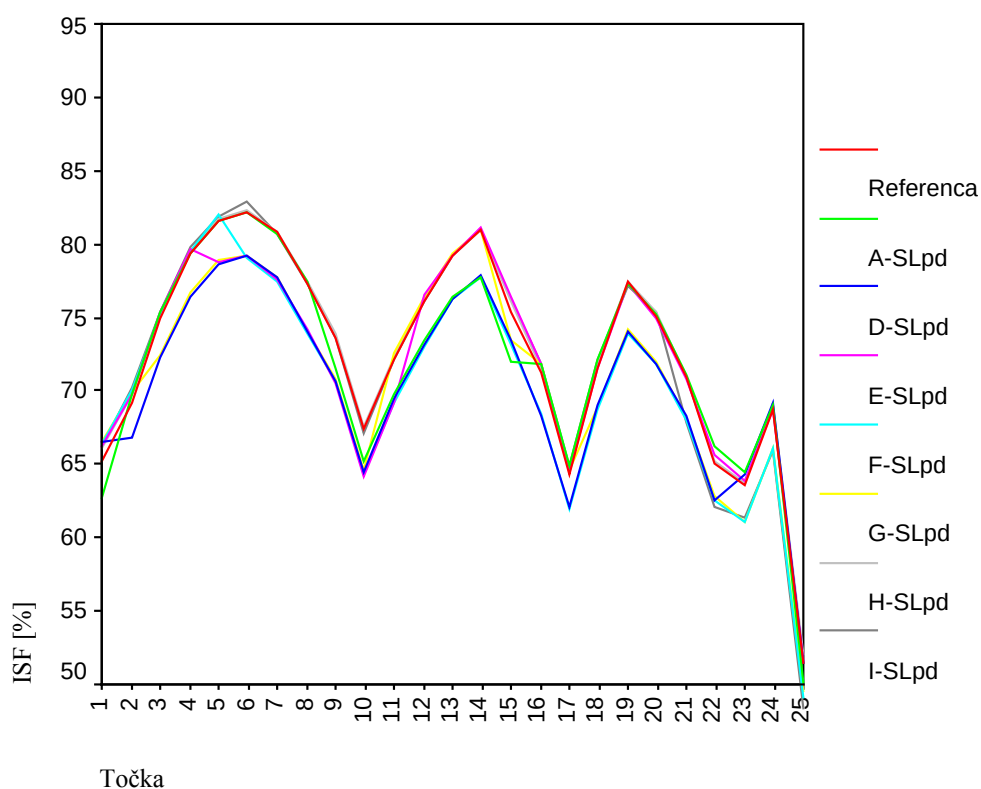
4.5.11 Vrednosti dejavnika ISF za postopek SLpd in RGB



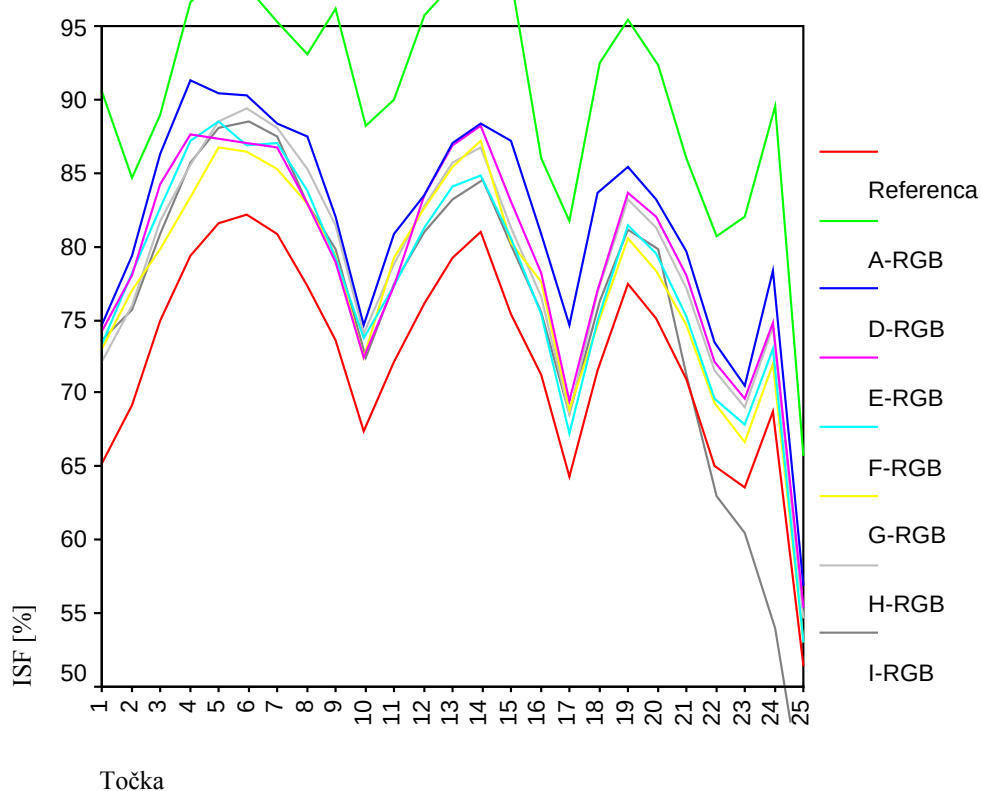
Slika 19: Vrednosti dejavnika ISF za postopek SLpd na ploskvi Zastor.



Slika 20: Vrednosti dejavnika ISF za postopek RGB na ploskvi Zastor.



Slika 21: Vrednosti dejavnika ISF za postopek SLpd na ploskvi Velika vrzel.



Slika 22: Vrednosti dejavnika ISF za postopek RGB na ploskvi Velika vrzel.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

Vsak popis stanja na terenu, ki ga poskušamo prikazati v uporabni obliki kot informacijo oziroma podatek, in nadaljnja računalniška obdelava podatkov sta povezana s stroški. Pri ocenjevanju svetlobe v gozdu s fotografijo hemisfere imamo opravka tako s terenskimi snemanji kot z delom v pisarni. Terenski del je vezan na optimalni čas snemanja oziroma na primerne vremenske razmere za snemanje, pisarniški del pa se nanaša na obdelavo in analizo fotografij hemisfere.

Snemanja lahko potekajo v popolnoma oblačnem vremenu ali ob jasnem dnevu (brez oblakov na nebu), ko sonca ni v vidnem polju objektiva. Ker je doseg optimalnih razmer v oblačnem vremenu redek, predstavlja snemanje fotografij hemisfere pred oziroma po sončnem zahodu ustrezno alternativo. Svetlobne razmere ob jasnem dnevu in ob določeni višini sonca nad horizontom so vedno enake. Tudi časovni potek spreminjanja svetlobnih razmer ostaja enak. Standardizacija je možna, če se opiramo na razmere, ko je nebo jasno in na njem ni oblakov, ter na izračun višine sonca glede na horizont (navtični mrak, navtična zora oziroma sončni zahod, sončni vzhod).

Posnete fotografije hemisfere je potrebno najprej obdelati in iz obdelanih fotografij analizirati želene podatke. Na voljo je več računalniških programov, ki to omogočajo. Izbira ustreznega programa in njegove zmožnosti lahko precej zmanjšajo stroške obdelav, predvsem če gledamo iz vidika porabe časa na posamezno fotografijo pri obdelavi. Pot k standardizaciji obdelave in analize fotografij hemisfere je v objektivnem postopku ločevanja vegetacije od neba na osnovi določenih algoritmov, ki jih izvede računalnik.

V naši nalogi smo se osredotočili na jasne vremenske razmere in čas snemanja razdelili na serije, za katere smo meje določili na podlagi konca navtičnega mraka. Pri obdelavi fotografij smo uporabljali različne postopke. Najprej smo želeli ugotoviti kateri postopek je najprimernejši. Kadar snemamo v optimalnih razmerah (serija H) pod sklenjenim sestojem, kjer pričakujemo vrednosti dejavnikov ISF in DSF pod 10 %, je najprimerneje, da uporabimo postopek SLcs (preglednici 2 in 3, slike 11 in 12). V primeru, da snemamo v optimalnih razmerah (serija H) in v močno presvetljenem sestoju, kjer pričakujemo

vrednosti dejavnikov ISF in DSF med 50 % in 80 %, je najprimerneje uporabiti postopek WinS (preglednici 4 in 5, sliki 13 in 14). Poraba časa pri uporabi teh dveh postopkov je majhna, poleg tega sta postopka tudi zelo objektivna.

Ker nas zanima podaljšanje optimalnega časa snemanja, smo, na podlagi rezultatov Friedmanovega testa (preglednice 9, 10, 11 in 12), razvrstili še uporabne serije snemanja ob uporabi posameznega postopka v tabelo (preglednica 17). Pri tem smo upoštevali še porabo časa za obdelavo fotografij v posameznem postopku naraščajoče od leve proti desni in označili dva najprimernejša postopka za posamezno ploskev.

Tudi rezultati linearnih regresij za postopek SLpd na ploskvi Zastor (preglednici 13 in 14) kažejo podobne rezultate glede uporabnosti serij. Neujemanja glede uporabnosti posameznih serij se verjetno pojavijo zaradi relativno velikega nihanja vrednosti dejavnikov ISF in DSF med serijami po posameznih točkah. V isti seriji je namreč prisotna tako precenitev kot podcenitev po posameznih točkah primerjanih vrednosti (slika 19). Rezultati linearnih regresij za postopek SLpd na ploskvi Velika vrzel (preglednici 15 in 16) kažejo uporabnost večjega števila serij kot rezultati Friedmanovega testa. Do tega neujemanja verjetno prihaja zaradi majhne relativne razlike v vrednostih dejavnikov ISF in DSF med posameznimi serijami na istih točkah (slika 21).

Preglednica 17: Uporabne serije za posamezno ploskev in postopek. Postopki so razvrščeni glede na porabo časa od leve proti desni in sicer od najhitrejšega proti najpočasnejšemu. Označena sta tudi po dva najprimernejša postopka za posamezno ploskev

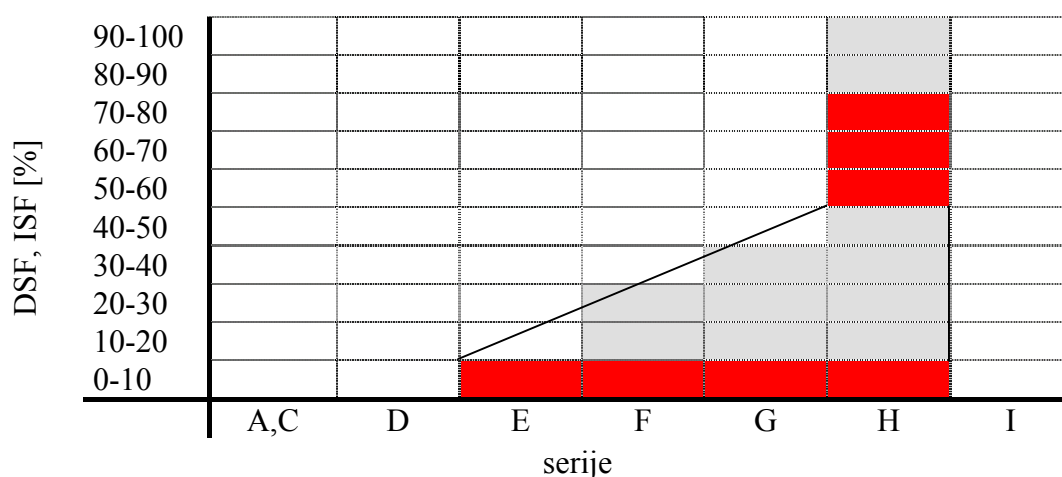
ploskev	faktor\postopek	RGB	SLcs	WinS	SLpd	photo
Zastor	DSF	E, F, G, H	E, G, H	C, D, E, F, G, H	E, F, G, H	C, E, F, G, H,
	ISF	E, F, G, H	C, D, E, F, H	D, F, H	C, D, E, F, G, H	C, D, F, G, H
	presek	E, F, G, H	E, G, H	D, F, H	E, F, G, H	C, F, G, H
Velika vrzel	DSF	E, H	E, G, H, I	E, G, H, I	E, H	H
	ISF	H	A, E, G, H, I	A, E, G, H, I	A, E, H, I	A, H
	presek	H	E, G, H, I	E, G, H, I	E, H,	H

V razmerah, kjer pričakujemo vrednosti dejavnikov ISF in DSF pod 10 % in bomo za obdelavo izbrali najustreznejši postopek SLcs, lahko snemamo fotografije hemisfere v času, ki ga predstavljajo serije E, G in H. Postopek SLcs je skoraj identičen postopku SLpd, saj gre za obdelavo fotografij v istem programu (SideLook 1.1). Razlikujeta se le v tem, da pri postopku SLcs za vso fotografijo naenkrat določimo mejno vrednost nivoja sivin, pri postopku SLpd pa to storimo ločeno za posamezne dele fotografije. V procesu obdelave je možna kombinacija obeh postopkov. Če torej za obdelavo izberemo program SideLook 1.1 in bomo snemanja izvajali v sestojnih razmerah, kjer pričakujemo vrednosti dejavnikov ISF in DSF pod 10 %, lahko snemamo fotografije hemisfere v času, ki ga predstavljajo serije E, F, G in H. Pri obdelavi moramo seveda smiselno izločiti svetlejše dele fotografij, če ti seveda obstajajo, in jim posebej določiti mejno vrednost nivoja sivin. V prilogi C so predstavljene fotografije hemisfere posnete na ploskvi Zastor.

V razmerah, kjer pričakujemo vrednosti dejavnikov ISF in DSF med 50 % in 80 % in bomo za obdelavo izbrali najustreznejši postopek WinS, lahko snemamo fotografije hemisfere v času, ki ga predstavljajo serije E, G, H in I. Za obdelavo je ustrezen tudi bolj objektiven postopek SLpd, a le za fotografije, ki so bile posnete v serijah E in H. Serija E

pri obeh postopkih izstopa. Pri snemanju v jasnem vremenu in v močno presvetljenih sestojih se na nebu pojavljajo številni kontrasti in različni odtenki modre barve. Najbolj enakomerno kontrastne fotografije hemisfere dosežemo le s snemanjem v seriji H. Take fotografije so tudi najugodnejše z vidika obdelave. V prilogi D so predstavljene fotografije hemisfere posnete na ploskvi Velika vrzel. V kolikor bomo torej za obdelavo uporabljali postopek WinS, lahko čas, ki ga predstavljajo serije G, H in I izberemo kot najprimernejši čas snemanja v razmerah, kjer pričakujemo vrednosti dejavnikov ISF in DSF med 50 % in 80 %. Če bomo za obdelavo uporabljali postopek SLpd je za snemanje najprimernejša serija H.

Iz preglednice 17 je razvidno, da je postopek SLpd najprimernejši za obdelavo hemisferičnih fotografij, ki so bile posnete v razmerah, kjer pričakujemo vrednost dejavnikov ISF in DSF pod 10 % in med 50 % in 80 %. Postopek je tudi bolj objektiven od postopka WinS in v kombinaciji s postopkom SLcs predstavlja zelo primeren način obdelave hemisferičnih fotografij. Kot smo že povedali oba postopka predstavljata program SideLook 1.1. Še enkrat pa moramo poudariti, da je potrebno pri obdelavi smiselno izločiti svetlejše dele fotografij, če ti seveda obstajajo, in jim posebej določiti mejno vrednost nivoja sivin. Uporabnost serij za obdelavo v programu SideLook 1.1 na celotnem območju dejavnikov ISF in DSF je prikazana na spodnji sliki.



Slika 23: Uporabnost posamezne serije, glede na velikost faktorjev ISF in DSF pri postopku SLpd. Rdeča polja se nanašajo na podatke, ki smo jih obravnavali v naši nalogi, siva polja pa predstavljajo predvidevanje uporabe za ostale vrednosti faktorjev.

V nalogi smo uporabili le minimalne in maksimalne vrednosti faktorjev ISF in DSF. Manjkajo le vrednosti med 10 % in 50 %. Za te vrednosti lahko predvidevamo uporabnost posameznih serij, če predpostavimo, da je največja homogenost barvnih slikovnih elementov zagotovljena pri fotografiranju v sklenjenih sestojnih razmerah in se manjša v smeri večje presvetljenosti sestojev. Serije, pri posamezni vrednosti faktorja ISF in DSF, označene z rdečo barvo predstavljajo ugotovljene serije, medtem ko serije označene s sivo barvo predstavljajo predvidevane serije. Primernost hemisferičnih fotografij, posnetih v predvidevanih serijah, je potrebno jemati kritično in jih preveriti.

V nalogi smo pokazali, da lahko čas snemanja fotografij hemisfere podaljšamo in to metodo za ocenjevanje svetlobnih razmer v gozdovih uporabljamo tudi v suboptimalnih razmerah. Seveda moramo pri tem upoštevati sestojne razmere. Čas snemanja fotografij hemisfere (serijo) lahko v našem nadaljnjem delu izberemo glede na sestojne razmere (pričakovano vrednost faktorjev DSF in ISF) in si točne časovne intervale snemanj izračunamo za načrtovani dan snemanja. V prilogi E je prikazan primer obrazca za snemanje fotografij hemisfere v popoldanskem času za načrtovani dan snemanja 1. 9. 2005. Za obdelavo fotografij hemisfere izbiramo med postopkoma SLcs in SLpd v programu SideLook 1.1. Oba postopka sta hitra in v veliki meri nudita možnost objektivnega dela.

6 POVZETEK

Poznavanje porazdelitve sončnega sevanja v gozdovih je pomembno tako za ekološke raziskave kot za praktično gojenje gozdov. Ena izmed metod je tudi ocenjevanje svetlobnih razmer na principu preslikave nebesnega svoda in sončnih poti. V to skupino spada tudi fotografija hemisfere s skrajno širokokotnim objektivom, imenovanim tudi 'ribje oko'. Poleg klasične fotografije je v novejšem času vedno bolj prisotna digitalna fotografija hemisfere. Fotografije hemisfere morajo biti posnete v takih vremenskih razmerah, da je kontrast med nebom in krošnjami največji (optimalne razmere). Optimalne razmere nastopijo takrat, ko je nebo popolnoma in enakomerno prekrito z oblaki oziroma ob jasnem vremenu, ko je sonce že nižje od horizonta (po sončnem zahodu), oz. ko še ni prešlo horizonta (pred sončnim vzhodom). Kontrastne fotografije omogočajo lažje in pravilnejše ločevanje slikovnih elementov med nebom in krošnjami. Obdelana fotografija hemisfere prikazuje nebo kot bele slikovne elemente in krošnje kot črne slikovne elemente. Z analizo tako obdelane fotografije lahko ocenimo svetlobne razmere in še nekatere druge parametre na mestu snemanja. Obdelava in analiza fotografij poteka večinoma preko računalniških programov.

Namen naše raziskave je preveriti možnost uporabe digitalne fotografije hemisfere v suboptimalnih razmerah in sicer v jasnem vremenu. Predvidevamo, da lahko z uporabo barvne digitalne fotografije hemisfere in izbiro primernega programskega orodja za njihovo obdelavo, čas snemanja v jasnem vremenu podaljšamo v suboptimalne razmere, ko je sonce že v vidnem polju objektiva (po sončnem vzhodu) oziroma v razmere, ko je sonce še v vidnem polju objektiva (pred sončnim zahodom). V ravninskem delu GE Dol-Moravče, natančneje v KO Kleče, smo postavili dve raziskovalni ploskvi. Poiskali smo večjo odprto površino za katero smo ocenili vrednost dejavnikov ISF in DSF okoli 60 %. To ploskev smo poimenovali *Velika vrzel*. Drugo ploskev smo poiskali v predelu, kjer se krošnje stikajo, ter smo ocenili, da je vrednost dejavnikov ISF in DSF okoli 10 %. To ploskev smo poimenovali *Zastor*. Na vsako raziskovalno ploskev smo v smeri S-J in V-Z postavili mrežo 5 x 5 m in sicer tako, da smo dobili petindvajset točk. Za potrebe snemanja smo si pripravili posebna obrazca za snemanja v dopoldanskem času in za snemanja v popoldanskem času. Čas v dnevu smo razdelili na serije od A do J. Pri tem smo se opirali

na začetek navtične zore oziroma na konec navtičnega mraka. Snemanja so potekla 1. 9. 2005 na ploskvi Zastor v serijah C, D, E, F, G, H in I in 6. 9. 2005 na ploskvi Velika vrzel v serijah A, D, E, F, G, H in I, in sicer v popoldanskem času. V vsaki seriji smo torej posneli petindvajset fotografij hemisfere, na vsaki točki sedem. Snemanja so vedno potekala v jasnem, sončnem vremenu, saj smo le tako lahko zajeli celoten spekter razmer: od suboptimalnih do optimalnih. Snemali smo z digitalnim fotoaparatom Nikon Colpix E4500 s skrajno širokokotnim objektivom 'ribje oko' FC-E8. Fotoaparat je bil nameščen na samouravnavno stojalo z avtomatskim iskalcem severa in tako je bila na vsaki posneti fotografiji prikazana smer magnetnega severa. Vsako serijo fotografij, tako za ploskev Zastor kot za ploskev Velika vrzel, smo obdelali po petih različnih postopkih. Serijo H smo izbrali kot optimalno serijo in s pomočjo te serije pripravili tudi referenčne vrednosti za posamezne točke. Za vsak postopek obdelave smo merili tudi porabo časa za obdelavo ene fotografije.

Za analizo najprimernejšega postopka je bil izveden Friedmanov test med optimalnimi serijami postopkov in referenčnimi vrednostmi, ločeno za posamezno ploskev. Za analizo najprimernejšega časa snemanja znotraj posameznega postopka smo izvedli enak test, le da smo primerjali optimalno serijo posnetkov z ostalimi serijami, ločeno za posamezno ploskev in na podlagi tega določili še uporabne serije. Za najprimernejši postopek na obeh ploskvah (SLpd) smo izračunali še linearne regresije med optimalno serijo in ostalimi serijami.

Če snemamo v optimalnih razmerah pod sklenjenim sestojem, kjer pričakujemo vrednosti dejavnikov ISF in DSF pod 10 %, je najprimerneje, če uporabimo postopek SLcs. Še uporabne serije ob uporabi tega postopka pa so E, G in H. V kolikor snemamo v optimalnih razmerah in v močno presvetljenem sestoju, kjer pričakujemo vrednosti dejavnikov ISF in DSF med 50 % in 80 %, je najprimerneje uporabiti postopek WinS. Še uporabne serije ob uporabi tega postopka so E, G, H in I. Postopek SLpd je najprimernejši za obdelavo hemisferičnih fotografij, ki so bile posnete v razmerah, kjer pričakujemo vrednost dejavnikov ISF in DSF pod 10 % in med 50 % in 80 %. Postopek je tudi bolj objektiven od postopka WinS in v kombinaciji s postopkom SLcs predstavlja zelo primeren način obdelave hemisferičnih fotografij. Oba postopka predstavljata uporabo

programa SideLook 1.1. Pri obdelavi v programu SideLook 1.1 je kombinacija postopkov SLpd in SLcs dosežena, v kolikor smiselno izločimo svetlejše dele fotografij, če ti seveda obstajajo, in jim posebej določimo mejno vrednost nivoja svin (threshold). Pod sklenjenim sestojem, kjer pričakujemo vrednosti dejavnikov ISF in DSF pod 10 % in bomo za obdelavo uporabili program SideLook 1.1, lahko snemamo v času, ki ga predstavljajo serije E, F, G in H. V močno presvetljenem sestoju, kjer pričakujemo vrednosti dejavnikov ISF in DSF med 50 % in 80 % in bomo za obdelavo uporabili program SideLook 1.1, lahko snemamo v času, ki ga predstavlja serija H. V nalogi smo uporabili le minimalne in maksimalne vrednosti faktorjev ISF in DSF. Manjkajo nam vrednosti med 10 % in 50 %. Za te vrednosti lahko predvidevamo uporabnost posameznih serij, če predpostavimo, da je največja homogenost barvnih slikovnih elementov zagotovljena pri fotografiranju v sklenjenih sestojnih razmerah in se manjša v smeri večje presvetljenosti sestojev.

7 VIRI

Brunner A. 2002. Hemispherical photography and image analysis with hemIMAGE and Adobe® Photoshop® 3.0, priročnik

Diaci J. 1999a. Meritve sončnega sevanja v gozdu – I. presoja metod in inštrumentov. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 58: 105-138

Diaci J., Thorman J-J., Kolar U. 1999b. Meritve sončnega sevanja v gozdu –II. metode na osnovi projekcij hemisfere neba in krošenj. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 60: 177-210

Englund S. R., O'Brien J. J., Clark D. B. 2000. Evaluation of digital and film hemispherical photography and spherical densiometry for measuring forest light environments. Canadian Journal of Forestry Research, 30: 1999-2005

Frazer G. W., Canham C. D., Lertzman K. P. 1999. Gap Light Analyzer (GLA): Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. Copyright c.1999: Simon Frazer, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York.

Frazer G. W., Fournier R. A., Trofymow J. A., Hall R. J. 2001. A comparison of digital and film fisheye photography for analysis of forest canopy structure and gap light transmission. Agricultural and Forest Meteorology, 109: 249-263

Gendron F., Messier C., Comeau P. G. 1998. Comparison of various methods for estimating the mean growing season percent photosynthetic photon flux density in forests. Agricultural and Forest Meteorology, 92: 55-70

Hale S.E., Edwards C. 2001. Comparison of film and digital hemispherical photography across a wide range of canopy densities. Agricultural and Forest Meteorology, 112: 51-56

Inoue A., Yamamoto K., Mizoue N., Kawahara Y. 2004. Effects of image quality, size and camera type on forest light environment estimates using digital hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 126: 89-97

Ishida M. 2004. Automatic thresholding for digital hemispherical photography. *Canadian Journal of Forestry Research*, 34: 2208-2216

Jonckheere I., Nackaerts K., Muys B., Coppin P. 2005. Assessment of automatic gap fraction estimation of forest from digital hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132: 96-114

Kotar M. 2005. Zgradba, rast in donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije in Zavod za gozdove Slovenije: 500 str.

Nobis M. 2005. SideLook 1.1-Imaging software for the analysis of vegetation structure with true-colour photographs;
<http://www.appleco.ch>. (7. 10. 2006)

Nobis M., Hunziker U. 2005. Automatic thresholding for hemispherical canopy-photographs based on edge detection. *Agricultural and Forest Meteorology*, 128: 243-250

Wagner S. 1998. Calibration of grey values of hemispherical photographs for image analysis. *Agricultural and Forest Meteorology*, 90: 103-117

Welles J.M. 1990. Some indirect methods of estimating canopy structure. *Remote Sensing Reviews*, 5, 1: 31-43

Yang X., Beyenal H., Harkin G., Lewandowski Z. 2001. Evaluation of biofilm image thresholding methods. *Water Research*, 30, 5: 1149-1158

ZAHVALA

Najlepša hvala g. Urošu Kolarju za vse napotke glede fotografiranja hemisfere in za pomoč pri obdelavi fotografij ter pripravi referenčnih vrednosti. Hvala Dušanu Roženbergarju za vse nasvete glede statistične obdelave podatkov in Tomu Naglu za pregled in popravke angleškega besedila. Najlepša hvala tudi mentorju prof. dr. Juriju Diaciju in recenzentu doc. dr. Davidu Hladniku za vse konstruktivne pripombe. Hvala Katarini Susman za pregled vsebine naloge in vse lektorske popravke.

Posebna zahvala staršema, Mileni in Pavletu, za vso finančno in moralno podporo v času mojega izobraževanja.

PRILOGE

Priloga A:

Obrazca za snemanja v dopoldanskem in popoldanskem času za naš primer.

Št. pl.	Datum: _____, Navtična zora*: _____, Sončni vzhod: _____, Ploskev: _____															
	Pričetek: * serija J		Pričetek: *+00:30 serija I		Pričetek: *+01:00 serija H		Pričetek: *+01:30 serija G		Pričetek: *+02:00 serija F		Pričetek: *+02:30 serija E		Pričetek: *+03:30 serija D		Pričetek: *+04:30 serija C	
	Čas	Posn.	Čas	Posn.	Čas	Posn.	Čas	Posn.	Čas	Posn.	Čas	Posn.	Čas	Posn.	Čas	Posn.
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																

Št. pl.	Pričetek: *+05:30 serija B		Pričetek: *+06:30 serija A	
	Čas	Posn.	Čas	Posn.
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				

Opombe:

Vreme mora biti jasno!

Snemanje se začne vedno na ploskvi št. 1
in se nadaljuje proti ploskvi št. 25.

Posnetki se vrstijo v zaporedju 1 minute.

Št. pl.	Datum: _____, Navtični mrak*: _____, Sončni zahod: _____, Ploskev: _____															
	Pričetek: *-07:00 serija A		Pričetek: *-06:00 serija B		Pričetek: *-05:00 serija C		Pričetek: *-04:00 serija D		Pričetek: *-03:00 serija E		Pričetek: *-02:30 serija F		Pričetek: *-02:00 serija G		Pričetek: *-01:30 serija H	
	Čas	Posn.	Čas	Posn.	Čas	Posn.	Čas	Posn.	Čas	Posn.	Čas	Posn.	Čas	Posn.	Čas	Posn.
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																

Št. pl.	Pričetek: *-01:00 serija I		Pričetek: *-00:30 serija J	
	Čas	Posn.	Čas	Posn.
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25			*	

Opombe:

Vreme mora biti jasno!

Snemanje se začne vedno na ploskvi št. 1
in se nadaljuje proti ploskvi št. 25.

Posnetki se vrstijo v zaporedju 1 minute.

Priloga B:

Obrazec za snemanje na ploskvi Zastor z izračuni začetka posamezne serije na dan snemanja (1. 9. 2005)

Št. pl.	Datum: 1. 9. 2005 Navtični mrak: 20: 49 Sončni zahod: 19: 40 Ploskev: Zastor															
	Pričetek: 13: 49		Pričetek: 14: 49		Pričetek: 15: 49		Pričetek: 16: 49		Pričetek: 17: 49		Pričetek: 18: 19		Pričetek: 18: 49		Pričetek: 19: 19	
	serija A		serija B		serija C		serija D		serija E		serija F		serija G		serija H	
	Čas	Posn.	Čas	Posn.	Čas	Posn.	Čas	Posn.	Čas	Posn.	Čas	Posn.	Čas	Posn.	Čas	Posn.
1					15:49		16:49		17:49		18:19		18:49		19:19	
2					15:50		16:50		17:50		18:20		18:50		19:20	
3					15:51		16:51		17:51		18:21		18:51		19:21	
4					15:52		16:52		17:52		18:22		18:52		19:22	
5					15:53		16:53		17:53		18:23		18:53		19:23	
6					15:54		16:54		17:54		18:24		18:54		19:24	
7					15:55		16:55		17:55		18:25		18:55		19:25	
8					15:56		16:56		17:56		18:26		18:56		19:26	
9					15:57		16:57		17:57		18:27		18:57		19:27	
10					15:58		16:58		17:58		18:28		18:58		19:28	
11					15:59		16:59		17:59		18:29		18:59		19:29	
12					16:00		17:00		18:00		18:30		19:00		19:30	
13					16:01		17:01		18:01		18:31		19:01		19:31	
14					16:02		17:02		18:02		18:32		19:02		19:32	
15					16:03		17:03		18:03		18:33		19:03		19:33	
16					16:04		17:04		18:04		18:34		19:04		19:34	
17					16:05		17:05		18:05		18:35		19:05		19:35	
18					16:06		17:06		18:06		18:36		19:06		19:36	
19					16:07		17:07		18:07		18:37		19:07		19:37	
20					16:08		17:08		18:08		18:38		19:08		19:38	
21					16:09		17:09		18:09		18:39		19:09		19:39	
22					16:10		17:10		18:10		18:40		19:10		19:40	
23					16:11		17:11		18:11		18:41		19:11		19:41	
24					16:12		17:12		18:12		18:42		19:12		19:42	
25					16:13		17:13		18:13		18:43		19:13		19:43	

Št. pl.	Pričetek: 19: 49		Pričetek: 20: 19	
	serija I		serija J	
	Čas	Posn.	Čas	Posn.
1	19:49		20:19	
2	19:50		20:20	
3	19:51		20:21	
4	19:52		20:22	
5	19:53		20:23	
6	19:54		20:24	
7	19:55		20:25	
8	19:56		20:26	
9	19:57		20:27	
10	19:58		20:28	
11	19:59		20:29	
12	20:00		20:30	
13	20:01		20:31	
14	20:02		20:32	
15	20:03		20:33	
16	20:04		20:34	
17	20:05		20:35	
18	20:06		20:36	
19	20:07		20:37	
20	20:08		20:38	
21	20:09		20:39	
22	20:10		20:40	
23	20:11		20:41	
24	20:12		20:42	
25	20:13		20:43	

Opombe:

Vreme mora biti jasno!

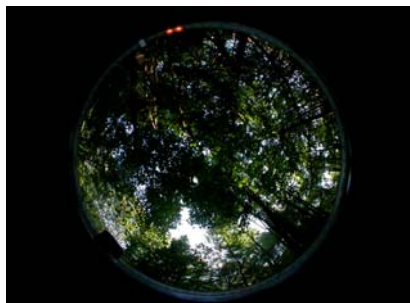
Snemanje se začne vedno na ploskvi št. 1

in se nadaljuje proti ploskvi št. 25.

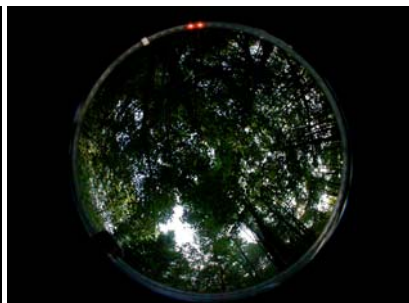
Posnetki se vrstijo v zaporedju 1 minute.

Priloga C:

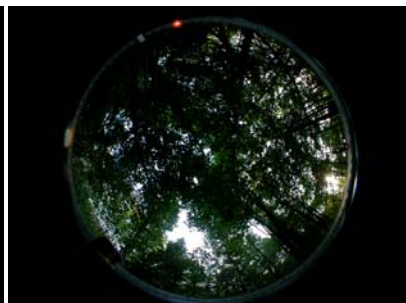
Fotografije hemisfere posnete na ploskvi Zastor. Fotografije so bile posnete v različnih serijah, a vedno na isti točki.



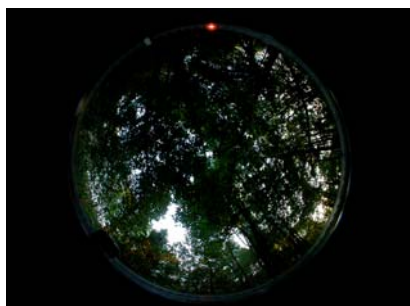
Seriya C



Seriya D



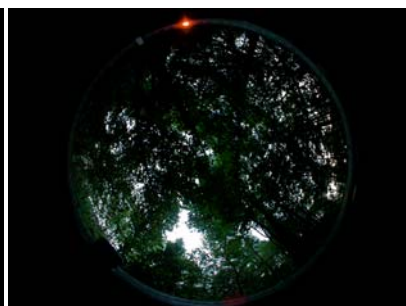
Seriya E



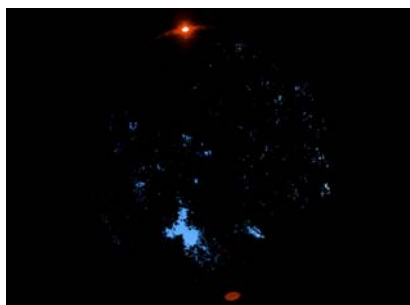
Seriya F



Seriya G



Seriya H



Seriya I

Priloga D:

Fotografije hemisfere posnete na ploskvi Velika vrzel. Fotografije so bile posnete v različnih serijah, a vedno na isti točki.



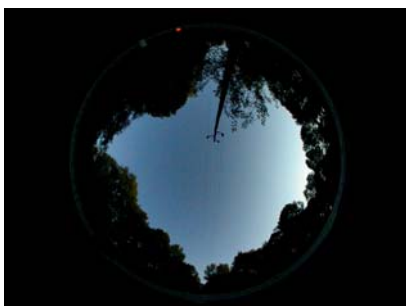
Seriya A



Seriya D



Seriya E



Seriya F



Seriya G



Seriya H



Seriya I

Primer obrazca za snemanje fotografij hemisfere v popoldanskem času za načrtovani dan snemanja 1. 9. 2005.

[illegible]