

## Primerjava parametrov svetlobnih razmer na raziskovalnih ploskvah

### *Comparison of Light Condition Parameters on the Research Plots*

Matjaž ČATER<sup>1</sup>

#### **Izvleček:**

Čater, M.: Primerjava parametrov svetlobnih razmer na raziskovalnih ploskvah. *Gozdarski vestnik*, 69/2011, št. 5–6. V slovenščini z izvlečkom v angleščini, cit. lit. 18. Prevod Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

S pomočjo analize hemisfernih posnetkov smo določili parametre sevanja na desetih raziskovalnih ploskvah v odraslih in homogenih sestojih. Primerjali smo poletne in zimske vrednosti parametrov odprtosti sestoja (%) ter indeksa listne površine (LAI) v letih 2009 in 2010 in jih primerjali z okularnimi ocenami osutosti listne površine na istih lokacijah.

S podatki okularne osutosti so se najbolj ujemale vrednosti razlik med poletnimi in zimskimi vrednostmi, ločeno za ploskve z iglavci in listavci.

Meritve sevanja so objektivnejše od okularnih ocen in so lahko izhodišče za primerjavo stanja sestojev. Prednost je njihova hitra meritve in ovrednotenje v razmeroma kratkem času, kar omogoča preverljivost, primerjavo večjih delov sestoja oz. izbranih objektov.

**Ključne besede:** intenzivnost svetlobnega sevanja, indeks listne površine, osutost, določanje svetlobnih razmer

#### **Abstract:**

Čater M.: Comparison of Light Condition Parameters on the Research Plots. *Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry)*, 69/2011, vol. 5–6. In Slovenian, abstract in English, lit. quot. 18. Translated by Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

Using the analysis of hemispherical photos we defined radiation parameters on ten research plots in adult and homogenous stands. We compared summer and winter parameter values of stand openness (%) and leaf area index (LAI) in the years 2009 and 2010 and compared them with ocular estimations of leaf area defoliation on the same locations.

The values of the differences between the summer and winter values matched best with the ocular defoliation data, separately for plots with coniferous and deciduous trees.

Radiation measurements are more objective than ocular estimations and can represent a starting point for stand condition comparison. Their advantage is a fast measurement and evaluation in a relatively short period which enables provability, comparison of larger stand parts or selected objects.

**Key words:** light irradiation intensity, leaf area index, defoliation, light condition determinatio

## 1 UVOD

Svetlobne razmere so temeljne razmere za večino življenjskih procesov kopenskih ekosistemov. Med sklepom krošenj, strukturo in razpoložljivo svetlobo pod krošnjami je tesna povezava (Comeau in Heineman, 2003), ki se odraža v različnih strategijah preživetja rastlin, prilagoditvah rastlin na različne svetlobne razmere in njihovem razvoju.

Za presojo svetlobnih razmer so na voljo različne metode, ki jih na splošno lahko razdelimo na neposredne (direktne) načine merjenja svetlobnega sevanja s pomočjo različnih tipal (npr. tipala PAR) in posredne načine (Diaci, 1999, Diaci s sod., 1999).

V primeru prvih odraža meritve neposredno stanje v času merjenja; za korektno meritve je potrebna referenca tipala na prostem in v sestoju, kjer opravljamo meritve. Rezultat je vrednost sevanja, ki ga ima določena točka v sestoju v primerjavi z odprtim delom, ki ga ne zastira sklep krošenj. Posredne metode so načeloma preprostejše, a manj natančne v primerjavi s prvimi in omogočajo razmeroma dobro oceno potencialnega sevanja z enkratnim snemanjem stanja (npr. s hemisfernimi posnetki). Povezovanje rezultatov meritev svetlobnega sevanja s sestojnimi

<sup>1</sup> dr. M. Č. Oddelek za prirastoslovje in gojenje, Večna pot 2, 1000 Ljubljana. [matjaz.cater@gozdis.si](mailto:matjaz.cater@gozdis.si)

lastnostmi ali celo s potrebnimi gojitvenimi ukrepi je zelo zahtevno in težavno (Buckley s sod., 1999; Lhotka in Loewenstein, 2006), zato imajo prednost posredne metode.

Dober posredni kazalnik prekritosti krošenj, ki ga ugotovimo z analizo hemisferičnih posnetkov, je odprtost sklepa (angl.= canopy openness), ki združuje strukturo krošenj in njeno odprtost oz. delež neba v določenem predelu hemisfernega posnetka (Anonymus, 2003). Indeks listne površine (angl = leaf area index; LAI) je skupna površina listja na enoto površine tal (Watson, 1974). Z njim lahko ocenimo sestojno izmenjavo plinov, določa in vpliva na intercepcijo vode sestoja, svetlobnih razmer in je zato ključni podatek biogeokemijskih procesov v gozdnih ekosistemih (Breda, 2003). Spremembe sestojnega indeksa listne površine zaradi defoliacije, načina gospodarjenja ali vremenskih ekstremov se posledično kažejo v spremenjeni produktivnosti sestoja. Zaradi strukturne heterogenosti in sprememb v času je ocena velikokrat težavna ali celo nemogoča, primerjava z drugimi parametri pa obremenjena s številnimi napakami.

Na desetih izbranih lokacijah v Sloveniji smo določili svetlobne parametre (odprtost, LAI) s

pomočjo posredne metode določitve sevanja, njihove spremembe glede na poletne in zimske razmere ter jih primerjali s podatki okularnih ocen osutosti krošenj, ki nakazujejo zdravstveno stanje sestojev. Navajamo preliminarne rezultate.

## 2 METODE

Za oceno svetlobnih razmer smo na vsaki od osnovanih raziskovalnih ploskev v homogenih sestojih (preglednica) oblikovali mrežo 16 presečišč z ekvidistanco 10 m med stojišči (40 x 40 m) v osrednjem delu hektarske ploskve. Mreža je bila nedvoumno označena za možnost ponovne izmere v času polnega olistanja v sredini vegetacijskega obdobja in naslednjih obdobjih. V času med posameznimi snemanji ni bilo sečnje ali posegov, ki bi zmanjšali število dreves na izbranih lokacijah ali spremenili strukturo opazovanega sestoja.

Hemisferične fotografije krošenj smo naredili z digitalnim fotoaparatom Nikon Coolpix 990 in umerjenim širokokotnim objektivom (180°) na višini 1,5 m od tal v razmerah popolne difuzne svetlobe, analizo potencialnega sevanja pa s sistemom WinScanopy (2003 pro-d) (Anonymus, 2003). Posnetke

Preglednica 1: Lastnosti in lokacije izbranih raziskovalnih ploskev

Ploskev	Lat.	Long.	Nadm. višina	Tla	Združba	Vrsta
Pokljuka/ Kru-cmanove konte	46°22'02"	13°56'19"	1397	Evtrična rjava tla, rendzina	Aposeri -Piceetum	smreka
Pohorje/ Tratice	46°28'27"	15°23'32"	1304	Distrična rjava tla	Avenello flexuosae-Piceetum	smreka
Trnovski gozd/ Fondek	45°59'55"	13°43'59"	827	Rendzina, rjava pokarbonatna tla	Seslerio autumnalis-Fagetum	bukev
Sežana/ Gropajski bori	45°40'15"	13°51'35"	420	Rdeče-rjava pokarbonatna tla	Seslerio-Pinetun nigrae	črni bor
Kranj/ Brdo	46°17'14"	14°24'00"	471	Distrična rjava tla	Vaccinio myrtilli-Pinetum	rdeči bor
Kočevska Reka/ Borovec	45°32'12"	14°48'00"	705	Rendzina, rjava pokarbonatna tla	Lamio orvalae-Fagetum	bukev
Zasavje/ Lontovž	46°05'45"	15°03'50"	950	Rendzina, rjava pokarbonatna tla	Lamio orvalae-Fagetum	bukev
Loški Potok/ Gorica	45°38'11"	14°33'01"	955	Rendzina, rjava pokarbonatna tla	Omphalodo-Fagetum	jelka
Kostanjevica/ Krakovski gozd	45°52'55"	15°24'59"	160	Oglejena tla	Pseudostellario europaeae-Quercetun roboris in -Carpinetum Betuli	dob
Lendava/ Murska šuma	46°29'49"	16°30'46"	170	Oglejena tla	Querco roboris-Carpinetum	dob

smo izdelali v poletnih razmerah 2009, t. j. v času polnega olistanja in jih ponovili pozno jeseni oz. pozimi (2009) in poleti 2010.

Analiza posnetkov omogoča izračun številnih parametrov sevanja (delež odprtosti, količina sevanja PAR, delež neposrednega in difuznega sevanja, količina listne površine na enoto površine tal (LAI) ...) v odvisnosti od definiranega potencialnega časa, ekspozicije, nagiba, geografske širine in dolžine. Prednost barvnih digitalnih hemisferičnih posnetkov je tudi določitev meje med barvnimi odtenki sestoja in neba, ki je enotna za vse posnetke, napravljene v istem časovnem obdobju.

V analizi nabora parametrov smo od vrednosti, dobljenih poleti v času polnega olistanja, odšteli vrednosti, ki smo jih ugotovili z analizo poznojesensko-zimskih posnetkov, da smo dobili realnejšo oceno deleža listne površine. Večji del posnetka namreč predstavljajo debla in veje (plant area), zato jih odštejemo od poletnih vrednosti (plant + leaf area), da ocenimo delež deleža listne površine (leaf area).

Za preračun vrednosti v obdelavi podatkov je bilo za obe vrsti posnetkov določeno isto definicijsko obdobje. Podrobnejši opis in protokol snemanja sta na spletni strani: ([http://www.futmon.org/documents\\_results/Field\\_protocols\\_final/Field\\_Protocol\\_Radiation\\_LAI\\_D2\\_3f.pdf](http://www.futmon.org/documents_results/Field_protocols_final/Field_Protocol_Radiation_LAI_D2_3f.pdf)). Med parametri, ki jih omogoča program za obdelavo, smo za analizo in primerjavo z drugimi opazovanimi vrednostmi upoštevali skupni delež odprtosti sestoja (odprtost v %), indeks listne površine (LAI), izračunan po različnih metodah, delež neposrednega sevanja pod krošnjami (DSF v %) ter neposredno količino

povprečnega, neposrednega in difuznega sevanja pod krošnjami (PPFD v MJ ali mol/m<sup>2</sup>dan).

Podatke, dobljene z analizo hemisferičnih posnetkov, smo vzporejali z okularnimi ocenami osutosti po uveljavljeni metodologiji (Annon. 2006) s korelacijsko analizo in korelacijo rangov.

### 3 REZULTATI IN RAZPRAVA

Primerjava posnetkov poletnega in poznojesensko-zimskega dela je pokazala na sicer homogeno izbranih delih sestojev največ variabilnosti med ploskvami pri iglavcih in listavcih. Sestoji z bolj odprtimi krošnjami poleti so bili po pričakovanju na lokacijah s prevladujočimi iglavci (Brdo, Gropajski bori, Krucmanove konte), manj v mešanih sestojih (Tratice, Borovec) in najmanj v sestojih čistih listavcev (Murska šuma, Krakovski gozd).

Kljub homogeno izbranim sestojem je bila variacija poletnih parametrov največja v Sežani, sledita Brdo in druge ploskve. Pozimi je bil absolutni raztros manjši kot poleti: največji v Trnovskem gozdu in Loškem Potoku, manjši v Lendavi in Zasavju ter najmanjši na ploskvah s prevladujočimi iglavci (Pokljuka, Pohorje, Sežana).

Primerjava oz. razlika poletnih in zimskih vrednosti (preglednica) je po pričakovanju izločila dve večji skupini glede na tip prevladujoče drevesne vrste z izrazitimi spremembami med zimskimi in poletnimi meritvami v Zasavju, Kočevski Reki in Kostanjevici (bukev, dob) in neznatnimi na Pokljuki in Kranju (smreka, črni bor). Zanimivo je, da kaže ploskev v Murski šumi s podobno drevesno sestavo kot ploskev v Krakovskem gozdu na manjši



Slika 1: Hemisferični posnetek poleti v času polnega olistanja (levo) in pozno jeseni/ pozimi brez listja (desno)

Preglednica 2: Razlike med poletnimi in zimskimi vrednostmi svetlobnih parametrov na ploskvah

Parameter Ploskev	Odprtost (%)	DSF (%)	LAI 2000 (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	LAI 2000g (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Prevladujoča vrsta
Kranj/Brdo Δ	2,1±0,3	4,8±1,4	0,2±0,0	0,2±0,1	iglavci
Pokljuka/ Krucmanove konte Δ	2,6±0,1	3,2±1,1	0,2±0,0	0,3±0,1	iglavci
Pohorje/ Tratice Δ	4,2±0,1	5,1±1,1	0,6±0,1	0,6±0,1	iglavci
Sežana/ Gropajski bori Δ	5,8±0,7	12,7±1,6	0,4±0,1	0,9±0,2	iglavci
Lendava/ Murska šuma Δ	9,7±1,2	20,0±1,1	0,7±0,1	1,7±0,1	listavci
Trnovski gozd/ Fondek Δ	9,9±1,0	15,7±2,4	0,6±0,1	1,3±0,8	listavci
Loški potok/ Gorica Δ	11,8±0,9	23,0±2,9	0,9±0,1	1,6±0,1	listavci
Kostanjevica/ Krakovski gozd Δ	12,9±3,8	24,9±1,2	0,9±0,0	2,0±0,0	listavci
Kočevska reka/ Borovec Δ	17,0±0,5	34,2±1,8	1,2±0,0	2,1±0,1	listavci
Zasavje/ Lontovž Δ	31,9±0,7	42,2±1,7	1,7±0,0	2,1±0,1	listavci

Preglednica 3: Ujemanje okularnih ocen osutosti s parametri sevanja – korelacijski koeficienti (r<sup>2</sup>)

Ploskve	Odprtost sestoja (%)	DSF (%)	Direktno sevanje	LAI 2000	LAI 2000g	Št deležev vrzeli
Iglavci	0,96	0,81	0,78	0,26	0,96	0,89
Listavci	0,95	0,83	0,83	0,44	0,91	0,62

obseg sprememb (tudi manjši delež indeksa listne površine – preglednica 1), kar se ujema s podatki o vitalnosti in ocenami osutosti krošenj istih gozdnih kompleksov – večjo vitalnostjo Krakovskega gozda kot sestojev v Murski šumi.

Prva preprosta korelacijska primerjava z okularnimi ocenami osutosti v % (2009) je pokazala na največ skupnega ujemanja z deležem listne površine (metoda LAI 2000 g; r<sup>2</sup> = 0,49) in količino neposrednega sevanja (PPFD J ali mol/m<sup>2</sup>dan; r<sup>2</sup> = 0,58), kar pomeni za povprečje razmeroma majhnega vzorca posameznih ploskev dobro ujemanje.

Največje ujemanje z ocenjevanimi podatki osutosti za ploskve prikazuje preglednica 2. Vrednosti so prikazane ločeno za iglavce in listavce.

Ugotovitve tujih raziskovalcev potrjujejo uporabnost posrednih metod določanja svetlobnih parametrov za opredelitev strukture krošenj (Chazdon in Field, 1987, Whitmore s sod., 1993, Trichon s sod., 1998). Prispevajo podrobne informacije o velikosti, razporejenosti vrzeli v krošnjah in podajo količinsko oceno skupne odprtosti za posamezno mikrorastišče (Whitmore s sod., 1993, Valverde in Silvertown, 1997). Potrjene so bile tesne odvisnosti med predvideno količino fotosintetsko aktivnega sevanja (PAR) s hemisfernimi posnetki in intenziv-

nostjo sevanja (PFD) (Becker s sod., 1989, Chazdon in Field, 1987, Rich s sod., 1993).

## 4 ZAKLJUČKI

Metode za ocenjevanje odprtosti sklepa krošenj lahko s pridom uporabimo za oceno stanja sestojev. Meritve so objektivnejše od okularnih ocen in so izhodišče za primejavo z drugimi sestojnimi oz. okoljskimi parametri. Čeprav je človeško oko zelo prilagodljivo za spremembe v intenzivnosti in lahko učinkovito zazna tudi do 10 stopenj sprememb zaslonke (/f) fotoaparata (kar mimogrede presega občutljivost katerega koli filma oz. znanega svetlobnega tipala), je pri ocenjevanju majhnih svetlobnih intenzivnosti zelo pristransko, saj mora biti za zaznavo razlika najmanj 2,5-krat večja od reference (Dehaene, 2003).

Prednost meritev sta njihova hitrost in ovrednotenje parametrov v razmeroma kratkem času, kar omogoča primerjavo večjih delov sestoja oz. izbranih objektov.

Intenzivnost svetlobnega sevanja je poleg vrste matičnega sestoja odvisna od geografske širine in dolžine, ekspozicije in nagiba terena ter dolžine vegetacijskega obdobja. Vpliva neposredno na višinski in debelinski prirastek, primarno produkcijo,

dinamiko pomlajevanja (Sagheb-Talebi, 1996) in kakovost vznika (Ammer, 2003).

Primerjava z izpeljanimi podatki sevanja (razlike med poletjem in zimo) omogoča boljše ujemanje (od deleža skupne površine sestojja odštejemo del, ki je prisoten tudi pozimi – debla, veje).

Ocene posameznih parametrov so realnejše in v manjši meri obremenjene s sistematično napako.

Metoda je objektivna, ponovljiva in ponuja natančen vpogled v dogajanje oz. lastnosti sklepa krošenj v primerjavi z okularno oceno osutosti oz. poškodovanosti; slednja je velikokrat obremenjena z napako opazovalca.

Nabor parametrov, ki jih ponuja analiza posnetkov, lahko služi za primerjavo in posredno oceno, npr. osutosti krošenj ali deleža sevanja v pritalnem sloju.

Zaradi sledljivosti postopka je metoda preverljiva in primerna za primerjavo ocen stanja krošenj širšega prostorskega območja.

## 5 VIRI

- Ammer, C., (2003) Growth and biomass partitioning of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. seedlings in respond to shading and small changes in R/FR-ratio of radiation. *Ann. For. Sci.* 60: 163–171.
- Anonymus (2006): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, UNECE, 61 p.
- Anonymus (2003). WinSCANOPY 2003b for hemispherical image analysis. 2003. Manual, ©REGENT INSTRUMENTS Inc., 104 str.
- Becker, P., Erhart DW, Smith AP (1989) Analysis of forest light environments. Part I. Computerized estimation of solar radiation from hemispherical canopy photographs. *Agric. For. Meteorol.* 44, str.217–232.
- Breda, N. (2003) Ground based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of experimental botany* 54, No 392, str. 2403–2417.
- Buckley, DS, Isebrands, JG, Sharik, TL (1999) Practical field methods of estimating canopy cover, PAR, and LAI in Michigan oak and pine stands. *Northern J. Appl. For.* 16, str. 25–32.
- Chazdon, RL, Field, CB (1987) Photographic estimation of photosynthetically active radiation: evaluation of a computerized technique. *Oecologia* 73, str. 525–532.
- Comeau, PG, Heineman, JL (2003) Predicting understory light microclimate from stand parameters in young paper birch (*Betula papyrifera* Marsh.) stands. *For. Ecol. Management.* 180, str. 303–315.
- Dehaene, S., (2003) The neural basis of the Weber–Fechner law: a logarithmic mental number line. *Trends in Cognitive Sciences* Vol.7, No.4, str. 145–147.
- Diaci, J., (1999) Meritve sončnega sevanja v gozdu – I. Presoja metod in instrumentov.- *ZbGL*, 58, str. 105–138.
- Diaci, J., Thormann JJ, Kolar U (1999) Meritve sončnega sevanja v gozdu – II. Metode na osnovi projekcij hemisfere neba in krošenj. *ZbGL*, 60, str. 177–210.
- Lhotka, JM, Loewenstein, EF (2006) Indirect measures for characterizing light along a gradient of mixed-hardwood riparian forest canopy structures. *Forest Ecology and Management* 226, str. 310–318.
- Rich, P., Clark, D, Clark, D., Oberbauer S (1993) Long-term study of solar radiation regimes in a tropical wet forest using quantum sensors and hemispherical photography. *Agric. For. Meteorol.* 65, str. 107–127.
- Sagheb-Talebi, K. (1996) Quantitative und qualitative Merkmale von Buchenjungwüchsen (*Fagus sylvatica* L.) unter dem Einfluß des Lichtes und anderer Standortsfaktoren. Beiheft zur Schweiz. Zeitschrift f. Forstwesen, 78, Zürich, 219 str.
- Trichon, V., Walter, J-MN, Laumonier, Y. (1998) Identifying spatial patterns in the tropical rain forest structure using hemispherical photographs. *Plant Ecol.* 137, str. 227–244.
- Valverde, T., Silvertown, J., (1997) Canopy closure rate and forest structure. *Ecology* 78, str. 1555–1562.
- Watson, DJ (1947) Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany*, 11, str. 41–76.
- Whitmore, TC, Brown, ND, Swaine, MD, Kennedy, D., Goodwin-Bailey CI, Gong WK (1993) Use of hemispherical photographs in forest ecology: measurement of gap size and radiation totals in a Bornean tropical forest. *J. Trop. Ecol.* 9, str. 131–151.