



Mjerenje svjetla i svjetlosnih uvjeta

Damir Ugarković, Krešimir Popić, Roman Rosavec, Ivana Medved, Ratko Popović,
Nikolina Kelava Ugarković

Nacrtač – Abstract

U radu se obrađuje svjetlo kao ekološki čimbenik te značenje svjetla za uvjete života, a osobito za život biljaka. Prikazane su metode i instrumenti za mjerenje svjetla i svjetlosnih uvjeta. Instrumenti mogu biti vrlo jednostavni do složeni, ovisno o podacima o svjetlu koje pokazuju. Za brzo i jednostavno određivanje svjetla najbolje je upotrebljavati luksometar (svjetlomjer), a za podrobnija ekološka istraživanja neposrednoga i raspršenoga svjetla potrebne su hemisferne fotografije i njihova analiza, dok je za fotosintezu potrebno koristiti PAR senzor. Za određivanje kvalitete svjetla treba upotrebljavati spektrometar. Na primjeru obične jele analizirani su svjetlosni koeficijenti u šumskim sastojinama s potpunim i prekinutim sklopom krošanja. Ta je metoda vrlo jednostavna i ne zahtijeva upotrebu mjernih instrumenata. Šumske progale nastaju umjetno ili prirodno zbog različitih abiotskih i biotskih čimbenika. Njihova veličina ima različit utjecaj na svjetlosne koeficijente (vitalnost) obične jele, što je u ovom radu dokazano i uspoređeno.

Ključne riječi: svjetlo, ekološki čimbenik, instrumenti, motrenje

1. Ekološka oprema – Ecological equipment

Ekološka oprema ili mjerni uređaji daju numeričke podatke o stanju nekoga neposrednoga ili posrednoga ekološkoga čimbenika. Kada se utvrde stanje i veličina određenoga ekološkoga čimbenika, može se odrediti njegov utjecaj na stanje i procese u šumskim ekosustavima.

Mjerenjem određenih ekoloških čimbenika u dužem razdoblju (motrenje) uočava se trend nekoga ekološkoga čimbenika, tj. pogoršava li se stanje ili se popravlja, odnosno koliko stanje toga ekološkoga čimbenika odstupa od prirodnoga (normalnoga) stanja.

Mjerni uređaji pomažu u utvrđivanju stanja ekoloških čimbenika te stanja i promjena stanišnih uvjeta u određenim šumskim ekosustavima. Sustavnim praćenjem i motrenjem stanja ekoloških čimbenika pridonosi se stabilnosti i očuvanju šumskih ekosustava, tj. utvrđivanju uzroka i promjena u tim ekosustavima, osiguranju povoljnih uvjeta za gospodarenje šumama.

2. Svjetlo kao ekološki čimbenik – Light as an ecological factor

Svjetlo je vidljiv dio Sunčeve elektromagnetske radijacije duljine vala 360 μm do 760 μm . Jedan je od glavnih čimbenika rasta, a u kombinaciji s vodom i hranivima važno je za prirodno pomlađivanje. Svjetlo kao klimatski čimbenik varira na površini Zemlje po jačini (intenzitetu), kakvoći (kvaliteti) i trajanju zbog različitih svemirskih i terestričkih utjecaja. Mjerna je jedinica osvjetljenja luks (lx). Djelovanje svjetla modificirano je geografskim i reljefnim čimbenicima (geografskom širinom, nadmorskom visinom, ekspozicijom i inklinacijom) te sastojinskim čimbenicima (vrsta drveća, uzgojni oblik sastojine i sklop). Prirodno je svjetlo sastavljeno od spektra boja: ljubičaste, plave, zelene, žute, narančaste i crvene. Molekule zraka i čestice koje zrak sadržava reflektiraju i raspršuju svjetlo potpuno ili samo pojedine dijelove spektra, što ovisi o valnoj duljini s obzirom na dimenzije suspendiranih čestica. Tako nastaje difuzno zračenje (indirektno Sunčevo zračenje) koje dolazi sa svih strana. Sve zrake spektra utječu na biljke, ali je njihovo ekološko i fiziološko značenje različito. Fotosinteza se najintenzivnije odvija u crvenom i plavoljubičastom dijelu spektra. Po

kakvoći svjetlo je neposredno (direktno) i raspršeno (difuzno). Za život biljaka važno je raspršeno svjetlo. Raspršenoga svjetla ima za vedroga dana 10–15 %, a za oblačnoga dana 100 %. Svaka geografska širina ima svoju duljinu trajanja osvjetljenja (fotoperiod). Na ekvatoru ono iznosi oko 12 sati, ljeti i zimi (Gračanin i Ilijanić 1977).

Količina i jakost utjecaja energije svjetlosti može se u šumi upravljati otvaranjem i zatvaranjem sklopa krošanja stabala. Prejak intenzitet svjetla nepovoljno djeluje na proizvodnju suhe tvari (asimilaciju) jer uvjetuje rastvaranje klorofila (solarizacija). Za nedovoljna intenziteta svjetla skraćuje se rast korijenske mreže. Manja je potreba drveća za svjetlom u dobi pomlatka (dovoljna je i difuzna svjetlost), velika u dobi jakoga visinskoga prirašćivanja i najveća u dobi cvjetanja i plodonošenja. Prema potrebi za svjetlom biljke se dijele na heliofite, poluheliofite, poluskiofite i skiofite (Tikvić i Ugarković 2021). Heliofite su biljne vrste svjetla, kao što su ariš, breza, bagrem, obični i poljski jasen, hrast, topola, vrba, obični bor, pinija, alepski bor. Poluheliofite su biljne vrste polusvjetla, npr. bijeli grab, crni grab, crni jasen, crni bor i pitomi kesten. U poluskiofite ili biljne vrste polusjene ubrajaju se brijest, gorski javor, mliječ, obični grab, klen, crna i bijela joha, a u skiofite odnosno biljne vrste sjene bukva, jela, smreka, tisa.

Biljne vrste svjetla su sredozemne, pionirske vrste i vrste iz dominantnoga sloja nizinskih i kontinentalnih šuma, vrste polusvjetla i polusjene su subedifikatori, vrste iz podstojnoga sloja, dok vrste sjene provode čitav život (tisa) ili nekoliko desetaka godina (jela) u zasjeni (Vukelić i Rauš 1998).

3. Metode mjerenja svjetla u šumama – *Methods of measuring light in forests*

Čimbenici koji utječu na količinu svjetla koje dopire na tlo u šumskom ekosustavu su obrast, sklop krošanja, vrsta šumskoga drveća, dob sastojine i bonitet.

Prema Koliću (1988) metode mjerenja svjetla u šumskim ekosustavima dijele se na pokretne i nepokretne metode. Pokretnim metodama mjerenje se obavlja u određenim intervalima dvama mjeračima (operator) ili dvjema skupinama mjerača. Oni se kreću po unaprijed utvrđenim i međusobno suprotnim putanjama. Intenzitet se osvjetljenja mjeri naizmjenično u šumi i na »otvorenom« ili se postavlja kontrolno mjesto na »otvorenom prostoru«. Nepokretnim ili stacionarnim metodama u šumi se postavlja nekoliko mjernih točaka, a na »otvorenom« ili slobodnom prostoru jedna kontrolna točka mjerenja. Svjetlo se mjeri istodobno ili određenim ritmom. Ta metoda zahtijeva

veći broj instrumenata (mjerača) od pokretne metode, ali se dobivaju realniji i točniji podaci o intenzitetu osvjetljenja u šumama. Mjerenje svjetla u šumama se može obaviti i na transektima kroz profil šumske sastojine. Također se svjetlo može mjeriti na različitoj visini u šumskoj sastojini, na krošnji odnosno u sloju drveća, sloju grmlja i na samom šumskom tlu.

Jakost svjetla uvjetuje formiranje strukturnih svojstava biljaka i njihovu morfologiju.

Vrste svjetla koje se mjere u šumskim sastojinama relativno su užitno svjetlo, fotosintetsko aktivno zračenje (PAR), direktno svjetlo, difuzno svjetlo te kvaliteta odnosno spektar svjetla. Relativno užitno svjetlo je odnos jakosti svjetla u šumi prema istodobnoj jakosti pune svjetlosti u slobodnoj atmosferi. Fotosintetski aktivno zračenje (PAR, 400–700 nm) najvažnije je za biljke jer je to spektar koji biljke koriste za fotosintezu. Direktno Sunčevo svjetlo dolazi u obliku zrakâ koje prolaze kroz krošnju bez raspršenja, dok se difuzno svjetlo rasprši. Difuzno je svjetlo važno u šumama u kojima sklop krošanja blokira izravan prodor svjetla u unutrašnjost šume. Kvaliteta svjetla, odnosno omjer crvenoga i infracrvenoga spektra utječe na biljke. Svjetlo se mjeri različitim instrumentima, koji mogu biti jednostavni do vrlo složeni, ovisno o podacima koje daju.

4. Instrumenti za mjerenje svjetla – *Light measuring instruments*

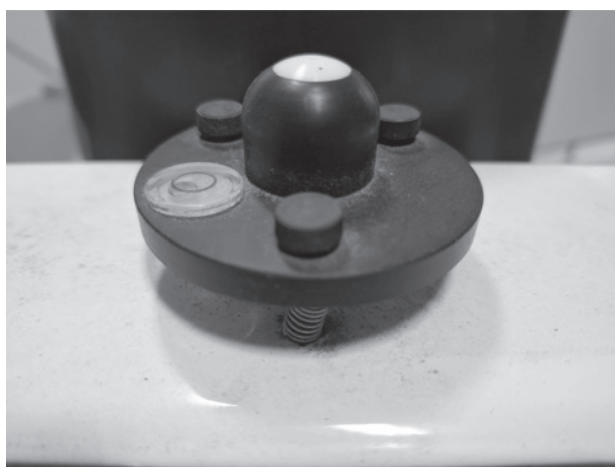
Postoji više instrumenata kojima se mjeri stanje svjetla. Da bi se odabrao odgovarajući instrument za mjerenje svjetla, treba znati što se želi. U osnovi nas zanima osvjetljenje, svjetlo za fotosintezu biljaka, kakva je kvaliteta svjetla (spektar), koliko svjetla prolazi kroz sklop krošanja u unutrašnjost šumske sastojine, te ciklus i dinamika svjetla kroz dan i godišnja doba.



Slika 1. Instrument za mjerenje osvjetljenja (lx) (snimio: D. Ugarković)

Fig. 1 Instrument for measuring illuminance (lx) (photo by: D. Ugarković)

Na slici 1 prikazan je instrument za mjerenje osvjetljenja u luksima (lx). Dakle, luks je mjerna jedinica osvjetljenja, 1 luks (lx) = 1 lumen po kvadratnom metru (lm/m^2). Ako izvor svjetlosti emitira 1 lm ravnomjerno raspoređen na površinu od 1 m^2 , osvjetljenje te površine bit će 1 lx. Luksometar se sastoji od fotonaponske ćelije koja je spojena s pokazivačem osvjetljenja u luksima. On je jednostavniji i jeftiniji od nekih drugih uređaja za mjerenje svjetla te ne daje podatke o spektru svjetlosti. Ipak, ima široku primjenu u ekologiji, šumarstvu i agronomiji. Jakost svjetla označava se pojmom »relativno užitno svjetlo«.



Slika 2. Piranometar na mikroklimatskoj stanici (snimio: D. Ugarković)

Fig. 2 Pyranometer at microclimate station (photo by: D. Ugarković)

Slika 2 prikazuje mjernu mikroklimatsku stanicu s piranometrom koji mjeri globalno Sunčevo zračenje, direktno i difuzno, u W/m^2 . Na mjernoj postaji ili na držaču (konzoli) piranometar mora biti vodoravno postavljen, za što služi mala libela u sastavu toga uređaja. Mjerna jedinica (W/m^2) označuje energiju zračenja.

Glavni su dijelovi instrumenta kupola, upijač zračenja ili apsorber, senzor za temperaturu i uređaj za nivelaciju. Kupola propušta Sunčevo zračenje širokoga spektra (od ultraljubičastoga do infracrvenoga). Upijač je crne boje i on apsorbera sve dolazno zračenje te se zbog toga apsorpcijska površina zagrijava. Senzori za temperaturu rade na principu temperaturnih razlika između apsorbera i hladne površine te se stvara mali električni napon (μV). Napon je proporcionalan intenzitetu upadnoga zračenja. Postupkom kalibracije piranometra taj se napon prevodi u fizikalnu veličinu, E (W/m^2).



Slika 3. Stalak, fotoaparat i riblje oko »fisheye« za snimanje hemisfernih fotografija (snimio: K. Popić)

Fig. 3 Tripod, camera and fisheye lens for taking hemispherical photos (photo by: K. Popić)

Slika 3 prikazuje kompletnu opremu potrebnu za snimanje hemisfernih fotografija, stalak s montiranim fotoaparatom za snimanje hemisfernih fotografija. Fotoaparat s ribljim »okom« (180°) usmjeren je prema krošnjama stabala (prema gore).

Hemisferna fotografija služi za procjenu količine svjetla koje dopire do tla i za analizu indeksa lisne površine (LAI) šumske sastojine. Fotografije se obrađuju u posebnom programu, kao što su Gap Light Analyzer (GLA) ili HemiView, i dobivaju se podaci o direktnom i difuznom svjetlu (%). Što je veća oblačnost, više je difuznoga svjetla.

Na slici 4 je heliograf za mjerenje dnevne svjetlosti ili broja sati sijanja Sunca. Uređaj je vrlo jednostavan, a sastoji se od konzole na kojoj je pričvršćena staklena kugla. Na konzoli se nalazi i posebna papirna traka koja je zakrivljena u obliku luka i koja je smještena iza staklene kugle. Kada Sunce sija, kugla fokusira Sunčeve zrake u točku iza sebe, a fokusirani zraci imaju dovoljno energije da na papirnoj traci ostavljaju trag »sagorijevanja«. Sunčeve zrake, uvjetno rečeno, malo sprže papirnu trakicu. Kako se na horizontu mijenja položaj Sunca, fokusirane zrake ostavljaju kontinuirani trag sagorijevanja na papirnoj traci. Ona ima podjelu na sate te motritelj

izmjeri ukupnu duljinu izgorjelih dijelova trake i na osnovi toga odredi ukupan broj sati efektivnoga Sunčeva sjaja. Heliograf mjeri samo prisutnost Sunca, odnosno sijanje Sunca. Najpoznatiji i najrašireniji u upotrebi i danas je Campbell–Stokesov heliograf. Danas su razvijeni moderni elektronski heliografi koji imaju fotočelije i koji daju preciznije podatke.



Slika 4. Heliograf (snimila: I. Medved)

Fig. 4 Heliograph (photo by: I. Medved)

Kvantni senzor ili PAR senzor mjeri fotosintetski aktivno zračenje. Mjeri količinu svjetlosti u rasponu od 400 do 700 nm, a to je dio spektra koji biljke koriste za fotosintezu. Taj senzor pokazuje broj fotona korisnih za fotosintezu biljaka, a mjerna je jedinica $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Primjer mjernoga uređaja je kvantni senzor LI-COR LI-190.

Spektrometri ili spektroradiometri mogu brzo mjeriti svjetlosnu energiju u rasponu valnih duljina. Ti uređaji obično koriste tehnologiju fiksna filtra i detektor s nizom elemenata ili tehnologiju skenirajućega filtra i detektor s jednim elementom. U prvom filter odvaja prikupljeni spektar u mnogo malih valnih duljina, a detektor s nizom elemenata istodobno mjeri svjetlosnu energiju iz svake valne duljine. Širina pojasa ovisi o vrsti korištenoga filtra i broju elemenata na detektoru. Spektrometri obično imaju spektralni raspon od 600 nm sa spektralnom rezolucijom od 2 nm. U drugom tipu filter se automatski namješta, omogućujući da se određene valne duljine redom izlože detektoru, stoga se valne duljine ne mjere istodobno, već jedna za drugom dok se ne izmjeri cijeli spektar. Spektrometri najčešće služe za mjerenje UV zračenja. Uređaj je skup, zahtijeva stručno znanje za snimanje i kasniju obradu snimljenih podataka.

5. Svjetlosni koeficijenti i izgled mladih biljaka – *Light coefficients and morphology of young plants*

Svjetlo je neposredni ekološki čimbenik na koji se može utjecati intenzitetom sječe kao uzgojnim zahvatom u šumskoj sastojini. Jedan od primjera kako se mogu odrediti svjetlosni uvjeti u šumskoj sastojini jest izmjera svjetlosnoga koeficijenta, koji služi kao mjerilo vitalnosti biljaka i koji se vrlo brzo i relativno jednostavno određuje. Svjetlosni koeficijent određuje kao omjer rasta glavnoga izbojka u odnosu na prosječni rast sporednih izbojaka u zadnja tri pršljena. Za njegovo se određivanje primjenjuje razredba od četiri stupnja s obzirom na vrijednost »svjetlosnoga koeficijenta«. Sljedeći je raspon vrijednosti svjetlosnoga indeksa dodijeljen pojedinim razredima vitalnosti: 1. razred – više od 1,0; 2. razred 0,5–1,0; 3. razred 0,25–0,5 i 4. razred ispod 0,25 (Dobrowolska 1998).

Sâm izgled biljaka iz pomlatka može pokazati u kakvim se svjetlosnim uvjetima biljke trenutačno nalaze, a šumar uzgajivač može intenzitetom sječe dozirati određenu količinu svjetla pomlatku.

Cilj nam je prikazati svjetlosne koeficijente kod obične jele u šumskim progalama različitih veličina i usporediti s biljkama u šumskoj sastojini s potpunim sklopom krošanja. S obzirom na površinu progale smo podijelili na veliku i malu progalu.

Obična jela (*Abies alba* Mill.) crnogorična je vrsta drveća s velikim ekološkim i gospodarskim značenjem u Hrvatskoj. Jela ima male zahtjeve za svjetlom, što je ujedno i njezina velika prednost. Dobro podnosi zasjenu te zajedno s tisom zauzima prvo mjesto u odnosu na druge vrste drveća. Jela postiže kompenzaciju disanja fotosintezom kod početnoga intenziteta svjetla 300 do 600 luksa, dok na primjer smreci treba 1000 do 2000 luksa. S obzirom na manju potrebu za svjetlom za fotosintezu, jela je znatno učinkovitija u nepovoljnim svjetlosnim uvjetima od svojih konkurenata bukve i smreke. Jelova stabalca mogu biti zastarčena, tj. mogu izdržati u dubokoj zasjeni preborne šume od 100 do 150 godina i nakon priljeva veće količine svjetla normalno se razvija (Prpić i Seletković 2001).

Šumske progale nastaju prirodno zbog vjetroloma, ledoloma, odumiranjem stabala zbog konkurencije vrsta te izvanrednim odumiranjem stabala pod utjecajem različitih abiotskih ili biotskih čimbenika (Ugarković i dr. 2018). One nastaju i umjetno uzgojnim postupcima u šumama (Muscolo i dr. 2007, Albanesi i dr. 2008), a mogu nastati i intenzivnim odumiranjem stabala, odnosno sanitarnom sječom

odumrlih i oštećenih stabala (Ugarković i dr. 2018). Jedna od glavnih značajki šumskih progala koja utječe na pomlađivanje i razvoj biljaka jest varijabilnost svjetla u šumskoj progali i oko nje (Rozenberger i dr. 2007).



Slika 5. Obična jela s dovoljnom količinom svjetlosti (snimio: D. Ugarković)

Fig. 5 Silver fir with sufficient light (photo by: D. Ugarković)



Slika 6. Mlada obična jela u zasjenjenim uvjetima (snimio: D. Ugarković)

Fig. 6 Young silver fir trees in shaded conditions (photo by: D. Ugarković)

Na slici 6 prikazana je mlada obična jela u zasjenjenim uvjetima s obzirom na intenzitet svjetla u sastojini. Postrani su izbojci dulji od vršnoga izbojka.

Tablica 1. Podaci o šumskim progalama

Table 1 Data on forest gaps

Karakteristike progala <i>Gaps characteristics</i>	Velika <i>Big</i>	Mala <i>Small</i>
Površina progale, m ² <i>Gap area, m²</i>	450	170
Proširena progala, m ² <i>Expanded gap, m²</i>	220	150
Visina okolnih stabala, m <i>Tree height, m</i>	31	32
Ekspozicija <i>Exposition</i>	Zapad <i>West</i>	Zapad <i>West</i>
Nagib terena, ° <i>Inclination, °</i>	13	14
Nadmorska visina, m <i>Altitude, m</i>	770	790

Na svakoj je šumskoj progali postavljena mreža 5 × 5 m, a na sjecištima te mreže postavljene su pokusne plohe dimenzija 1,5 × 1,5 m. Na svakoj je pokusnoj plohi izmjeren svjetlosni koeficijent biljaka obične jele. Statistička obrada podataka svjetlosnoga koeficijenta biljaka obične jele između šumskih progala, ruba progala i pripadajuće kontrolne plohe provedena je jednosmjernom analizom varijance (ANOVA, *post hoc* Fisherov LSD test).

Tablica 2. Srednja vrijednost i standardna devijacija svjetlosnoga koeficijenta biljaka pomlatka obične jele

Table 2 Mean values and standard deviation of light coefficient of young silver fir plants

Veličina progale <i>Gap size</i>	Pozicija – <i>Position</i>		
	Sastojina <i>Forest stand</i>	Rub progale <i>Gap edge</i>	Progala <i>Gap</i>
Velika – <i>Big</i>	0,38 ± 0,31 ^a	0,78 ± 0,14 ^b	0,34 ± 0,10 ^a
Mala – <i>Small</i>	0,54 ± 0,28	0,67 ± 0,22	0,57 ± 0,00

^{a,b} Vrijednosti označene različitim slovom unutar reda značajno se razlikuju ($p < 0,05$)

^{a,b} Values marked with a different letter within a row are significantly different ($p < 0.05$)

S obzirom na vitalnost biljaka iz prirodnoga pomlađenja obična je jela najvitalnija na rubu velike šumske progale gdje je imala vitalnost 2. razreda (0,78). Nisu utvrđene značajne razlike u vitalnosti obične jele između velike šumske progale i šumske sastojine (tablica 2). U maloj šumskoj progali obična je jela imala najveću vitalnost na rubu male progale (0,67, 2. razred), a najmanju vitalnost u šumi (0,54), međutim te razlike nisu bile statistički značajne.

Tablica 3. Srednja vrijednost vitalnosti biljaka pomlatka velike i male šumske progale za rub progale i centar progale

Table 3 Mean values of plant vitality of young plants of large and small forest gaps for gap edge and gap center

Vrsta drveća Tree species	Rub progale Gap edge		Centar Gap center	
	Velika Big	Mala Small	Velika Big	Mala Small
Obična jela Silver fir	0,78 ± 0,13	0,67 ± 0,22	0,34 ± 0,09	0,57 ± 0,00

^{a,b} Vrijednosti označene različitim slovom unutar reda (rub progale, centar) značajno se razlikuju ($p < 0,05$)

^{a,b} Values marked with a different letter within a row (edge of the bar, center) are significantly different ($p < 0.05$)

Prema podacima u tablici 3 vitalnost biljaka obične jele nije se značajno razlikovala između male i velike šumske progale. Najmanja vitalnost biljaka obične jele bila je u središtu velike šumske progale (0,34; 3. razred).

Zaključak je da je najlošija svjetlosna vitalnost biljaka obične jele bila u velikoj progali, a najbolja na rubu velike i male progale te u središtu male progale. Nije utvrđena razlika u vitalnosti biljaka obične jele između male i velike šumske progale.



Slika 7. Plagiotropni efekt na mladoj biljci obične bukve (snimio: D. Ugarković)

Fig. 7 Plagiotropic effect on a young common beech plant (photo by: D. Ugarković)

U bukovo-jelovim šumama pridolazi i obična bukva. Bukva je izrazita skiofilna vrsta. Od svih listopadnih vrsta najbolje podnosi zasjenu. Obična jela i tisa podnose veću zasjenu od bukve. Na pojavu svjetla u sastojini reagira brže od jele i smreke. Brzo zatvara prekinut sklop krošanja. U raznodobnoj sastojini mlado bukovo stablo iskrivljuje se

prema izvoru svjetla i raste heliotropno (Seletković i dr. 2003). Međutim, iako dobro podnosi zasjenjene uvjete u šumskoj sastojini, obična bukva ima svoje ograničenje i ne može cijeli svoj životni vijek provesti u zasjeni. Na slici 7 prikazan je plagiotropni efekt kod obične bukve. Takve biljke obično poprimaju grmolik oblik, lepezasto raširenu krošnju i puzav rast te kao takve nisu budućnost u šumskoj sastojini. Za analizu plagiotropnosti osim izgleda krošnje biljke, a posebno vrha krošnje, može poslužiti i omjer duljine biljke od pridanka do vršnoga pupa te visine biljke. Što je biljka položenija, imat će manju visinu, a veću duljinu.

6. Zaključak – Conclusion

Instrumenti ili mjerni uređaji za mjerenje svjetla i svjetlosnih uvjeta daju numeričke podatke o stanju svjetla kao ekološkoga čimbenika. Kada se utvrdi stanje i veličina svjetla kao ekološkoga čimbenika, određuje se njegov utjecaj na stanje i procese te po potrebi intervenira sječom kao uzgojnim zahvatom u šumskom ekosustavu.

Ti uređaji mogu biti vrlo jednostavni do nešto složeniji. Neki odmah daju podatak o svjetlu, dok drugi zahtijevaju i obradu na dodatnim programima da bi se dobili podaci o svjetlosnim uvjetima. U nekim se slučajevima stanje svjetla u sastojini određuje i bez nekoga posebnoga uređaja pomoću samih biljaka njihovim izgledom i vitalnošću te se na osnovi toga donose odgovarajući zaključci i uzgojni postupci. Za jednostavno mjerenje svjetla odnosno osvijetljenja najbolje je upotrijebiti luksometar. Za dobivanje informacija i podataka o količini direktnoga i difuznoga svjetla potrebne su hemisferne fotografije i analiza hemisfernih fotografija u nekom od programa, a za ekološka istraživanja i fotosintezu prikladno je koristiti PAR senzore, dok je za detaljna istraživanja kvalitete svjetla i spektra potrebno služiti se spektrometrom.

7. Literatura – References

- Albanesi, E., O. I. Gugliotta, I. Mercurio, R. Mercurio, 2008: Effects of gap size and within-gap position on seedlings establishment in silver fir stands. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 1(1): 55–59. <https://doi.org/10.3832/ifor0448-0010055>
- Dobrowolska, D. 1998: Structure of silver fir (*Abies alba* Mill.) natural regeneration in the »Jata« reserve in Poland. *Forest Ecology and Management*, 110(1–3): 237–247. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00286-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00286-2)
- Gračanin, M., M. Ilijanić, 1977: Uvod u ekologiju bilja. Školska knjiga, Zagreb, 318 str.

Kolić, B., 1988: Šumarska ekoklimatologija sa osnovama fizike atmosfere. Naučna knjiga, Beograd, 397 str.

Muscolo, A., M. Sidari, R. Mercurio, 2007: Variations in soil chemical properties and microbial biomass in artificial gaps in silver fir stands. *European Journal of Forest Research*, 126: 59–65. <https://doi.org/10.1007/s10342-006-0145-3>

Prpić, B., Z. Seletković, 2001: Ekološka konstitucija obične jele. U: B. Prpić (ur.): Obična jela (*Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj, Akademija šumarskih znanosti, Zagreb, 255–269.

Rozenberger, D., S. Mikac, I. Anić, J. Diaci, 2007: Gap regeneration patterns in relationship to light heterogeneity in two old-growth beech-fir forest reserves in South East Europe. *Forestry* 80(4): 431–443. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpm037>

Seletković, Z., I. Tikvić, B. Prpić, 2003: Ekološka konstitucija obične bukve. U: S. Matić (ur.): Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) u Hrvatskoj. Akademija šumarskih znanosti, Zagreb, 155–163.

StatSoft Inc., 2023: STATISTICA for Windows. Tulsa, StatSoft, Inc. 2003.

Tikvić, I., D. Ugarković, 2021: General and landscape ecology of temperate ecosystems. Faculty of Forestry and Wood Technology, University of Zagreb, p. 521.

Ugarković, D., I. Tikvić, K. Popić, J. Malnar, I. Stankić, 2018: Microclimate and natural regeneration of forest gaps as a consequence of silver fir (*Abies alba* Mill.) dieback. *Šumarski list*, 142(5–6): 235–245. <https://doi.org/10.31298/sl.142.5-6.7>

Vukelić, J., Đ. Rauš, 1998: Šumarska fitocenologija i šumarske zajednice u Hrvatskoj. Šumarski fakultet, Zagreb, 153 str.

Abstract

Measuring Light and Lighting Conditions

The paper deals with light as an ecological factor and the importance of light for living conditions, especially plant life. Methods and instruments for measuring light and light conditions are presented. Instruments can be very simple to complex, depending on the light data they show. For quick and easy determination of light, it is best to use a luxmeter. For more detailed ecological research of direct and diffuse light, hemispherical photographs and their analysis are needed, while for photosynthesis, a PAR sensor is needed. To determine the quality of light, a spectroradiometer device should be used. The common fir was used as a model species to analyze light coefficients in forest stands with complete and interrupted canopy cover. This method is very simple and does not require the use of measuring instruments. Forest clearings occur artificially or naturally due to various abiotic and biotic factors. Their size has a different impact on the light coefficients (vitality) of the common fir, as proven and compared in this paper.

Keywords: light, ecological factor, instruments, monitoring

Adrese autorâ – *Authors' addresses:*

Prof. dr. sc. Damir Ugarković
e-pošta: dugarkovic@sumfak.unizg.hr
Izv. prof. dr. sc. Roman Rosavec
e-pošta: rrosavec@sumfak.unizg.hr
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet šumarstva i drvne tehnologije
Svetošimunska cesta 23
10000 Zagreb
HRVATSKA

Dr. sc. Krešimir Popić, mag. ing. silv.*
e-pošta: Kresimir.Popic@hrsume.hr
Hrvatske šume d.o.o.
Uprava šuma Podružnica Vinkovci
Šumarija Lipovac
M. Gupca 5
32246 Lipovac
HRVATSKA

Ivana Medved, mag. ing. urb. silv.
e-pošta: medved@dhz.hr
Državni hidrometeorološki zavod Republike
Hrvatske
Ravnice 48
10000 Zagreb
HRVATSKA

Ratko Popović, dipl. inž. agronomije
e-pošta: ratko.popovic20@gmail.com
Hrvatske šume d.o.o.
Uprava šuma Podružnica Bjelovar
Šumarija Vrbovec
Kolodvorska ulica 26
10340 Vrbovec
HRVATSKA

Izv. prof. dr. sc. Nikolina Kelava Ugarković
e-pošta: nkelava@agr.hr
Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet
Svetošimunska cesta 25
10000 Zagreb
HRVATSKA

Primljeno (*Received*): 27. 10. 2025.
Prihvaćeno (*Accepted*): 5. 12. 2025.
Stručni rad – *Professional paper*

* Glavni autor – *Corresponding author*