

ПРИМЈЕНА ХЕМИСФЕРИЧНИХ ФОТОГРАФИЈА ПРИ ИСТРАЖИВАЊУ РЕЖИМА СВЈЕТЛОСТИ У ШУМИ ЈЕЛЕ, СМРЧЕ И БУКВЕ (*Piceo – Abieti - Fagetum*)

ЗОРАН ГОВЕДАР¹
СРЂАН КЕРЕН²

Извод: У мјешовитој шуми букве, јеле и смрче вршено је истраживање режима свјетлости примјеном хемисферичних фотографија. У раду је посебна пажња посвећена опису примјењеног метода рада. За обраду фотографија коришћен је рачунарски програм *Gap Light analyzer* (GLA 2.0.). Добијени су резултати о величини директне, дифузне и глобалне свјетлости, величини индекса лисне површине и степена склопа на огледним површинама. Примјеном регресионе анализе утврђена је зависност пропуштене количине директне и дифузне свјетлости од степена склопа као и утицај склопа на величину индекса лисне површине.

Кључне ријечи: хемисферична фотографија, свјетлост, GLA.

APPLICATION OF HEMISPHERICAL PHOTOGRAPHS IN THE RESEARCH OF LIGHT
REGIME IN THE FOREST OF BEECH, FIR AND SPRUCE (*Piceo – Abieti - Fagetum*)

Abstract: Light regime was researched by using hemispherical photographs in the mixed stand of beech, fir and spruce. Special attention was devoted to the description of the applied method. The photographs were processed by the computer programme *Gap Light Analyzer* (GLA 2.0.). The study results include the values of direct, diffuse and global light, leaf area index and canopy openness on sample plots. The correlation of transmitted direct and diffuse light and canopy openness was determined by regression analysis, as well as the effect of canopy openness on leaf area index.

Key words: hemispherical photograph, light, GLA.

1. УВОД

Природно обнављање шума зависи од режима свјетлости у састојинама. У пракси се срећемо са неуспјесима у природном обнављању састојина или пак појединих врста дрвећа, чак и на стаништима која су иначе погодна за развој шумске вегетације управо због недовољног познавања режима свјетлости и њеног утицаја на раст и развој подмлатка. Недовољно познавање свјетлосних услова одражава се на појаву коровске вегетације на мјестима гдје иначе очекујемо појаву подмлатка. Бујно развијена приземна вегетација је у ствари више посљедица узгојних грешака него проблема са подмлађивањем. Узгојним захватима мјењају се елементи структурне изграђености састојина, а посебно степен склопа, што се одражава на режим свјетлости и уопште микроклиму састојине. Регулисање жељеног састава састојине, односно омјера смјесе између сциофита, полусциофита и хелиофита у под-

1 др Зоран Говедар, доцент; Шумарски факултет Универзитета у Бањој Луци.

2 Срђан Керен, ЈП „Шумарство“ – Јајце.

млатку, могуће је само темељним познавањем односа појединих врста према свјетлости као еколошком чиниоцу.

Сунчева или соларна радијација је електромагнетна, тј. радијацијска¹ енергија коју емитује Сунце. То је величина која се користи у радиометрији. Радијацијска енергија у јединици времена представља радијацијски ток (снага зрачења) и изражавамо је у ватима² (W). Она се разликује од јачине (интензитета) свјетлости која представља фотометријску величину, чија је мјерна јединица кандела (cd)³. За потребе гајења шума посебну важност имају озраченост и освјетљеност. Озраченост (енгл. *irradiance*) представља сунчеву инсолацију која допире, односно пада на неку површину шумског земљишта. Појам инсолације представља количину енергије сунчеве радијације рецептиране на одређеној површини земљишта у одређеном временском интервалу и обично се исказује као просјечна озраченост у ватима по квадратном метру (W/m^2). Освјетљеност се мјери у луксима⁴ (Lx) и представља укупни свјетлосни ток по јединици површине који пада на неку површину. Иако су радиометријске и фотометријске величине веома повезане, морамо их јасно дефинисати и увијек разликовати приликом коришћења различитих метода мјерења. У том смислу су развијене и различите методе за истраживање режима свјетлости, у зависности од тога да ли су засноване на радиометријским или фотометријским јединицама (фотохемијске, термоелектричне, фотоелектричне, методе засноване на хемисферичним фотографијама и др.). Разлика између радиометријских и фотометријских метода, па тако и коресподентних мјерних јединица, је у томе што су радиометријске методе засноване на мјерењу физикалне снаге са свим таласним дужинама сунчевог свјетлосног спектра које су подједнако вредноване, док се код фотометријских јединица у обзир узима чињеница да је људско око осјетљивије према одређеним таласним дужинама (видљиви дио спектра), па је према томе свакој таласној дужини дата другачија вриједност. Коресподентна радиометријска мјерна јединица фотометријској мјерној јединици (Lx) је W/m^2 . Међутим, не постоји јединствен фактор конверзије између лукса и W/m^2 . Наиме, постоји фактор конверзије за сваку таласну дужину посебно, тако да није могуће извршити конверзију уколико не познајемо спектралну композицију свјетлости, за шта је потребно извршити одговарајућа мјерења примјеном спектрофотометара. Отежане практичне могућности директног мјерења поменутих параметара довеле су до развоја индиректних метода, чија примјена је бржа и једноставнија за изво-

¹ Квантитет радијацијске енергије може се израчунати интегрисањем радијацијског тока у одређеном временском интервалу. Као и код осталих видова енергије, мјерна јединица која се у физици користи за радијацијску енергију је џул (J). Џул је мјерна јединица међународног SI система за рад, енергију и топлоту. Дефинише се као обављен рад или енергија утрошена дјеловањем силе од једног њутна на путу дужине једног метра.

² Један ват (W) је један џул енергије по секунди.

³ Кандела је јачина свјетлости, у одређеном правцу, од извора који емитује монохроматско зрачење фреквенције 540×10^{12} Hz и чија је јачина зрачења у том правцу 1/683 W по стередијану.

⁴ Један лукс је једнак једном лумену по квадратном метру и његова одговарајућа (коресподентна) радиометријска јединица која мјери озраченост (свјетлосним зракама) јесте ват по квадратном метру (W/m^2).

ђење на терену. Једна од таквих метода заснована је на примјени хемисферичних фотографија. Хемисферична фотографија је једна од посредних оптичких метода која је широко коришћена код проучавања склопа и режима свјетлости у шумским састојинама. Снимци начињени хемисферичним објективом (тзв. „рибље око“), са углом снимања од 180° и смјером снимања орјентисаним од земљишта под шумом према небу, дају кружне слике на којима је снимљена величина, облик и положај отвора у склопу дрвећа. Дигитални скенери и апарати конвертују ове хемисферичне слике у тзв. „бит мапе“, које затим анализирамо помоћу специјално намјењених рачунарских програма за анализу слика (GLA, Hemi – View, Image – View и др.). Однос између јачине директне и дифузне свјетлости временски и просторно се мјења с обзиром на дневни и годишњи положај Сунца, географски положај мјеста, надморску висину и др. Без програма за анализу хемисферичних фотографија тешко је, често и немогуће, утврдити границу између директне и дифузне компоненте сунчеве свјетлости, нарочито у састојинама густог склопа због утицаја сунчевих пјега. Иако је њихово појављивање краткотрајно, а положај им се мјења са промјеном положаја Сунца на небу, оне имају велику енергију јер нису ослобођене од фотосинтетски активног дијела спектра. Напротив, онај дио сунчевог зрачења који биљке не апсорбују одбија се од површине листова (рефлексија) или га лишће пропушта (трансмисија) у ниже дијелове састојине. Управо тај дио соларног зрачења кад се нађе при земљишту (обично под густим склопом) бива осиромашен и лишен оног дијела спектра који је за фотосинтезу најзначајнији. Поред директне свјетлости, која од сунчевог диска директно продире кроз атмосферу, и дифузне која је под утицајем атмосферског омотача распршена по земљиној површини постоји и рефлектована свјетлост која настаје рефлексијом директне и/или дифузне свјетлости од елемената рељефа, круна дрвећа и сл. (R i c h, *et al.*, 1993). Рефлектована свјетлост овдје не улази у сумарну вриједност сунчеве инсолације, па су програмске апликације дизајниране тако да уопште не рачунају рефлектовану свјетлост.¹

У гајењу шума сунчево зрачење има изузетан значај јер је то вид енергије коју зелене биљке користе у процесима метаболизма, а јачина и квалитет тог зрачења у највећој мјери одређују динамику најважнијег физиолошког процеса у биљкама – процеса фотосинтезе. Поред тога, сунчево зрачење утиче на температуру ваздуха и земљишта, влажност ваздуха и др. (K u n z, 1983), затим утиче на грађу, облик и боју лишћа, на грађу пупољака, на изглед подмлатка, облик круне, рађање сјемена, прираст дрвећа и др. (Б у н у ш е в а ц, 1951). Свјетлост је значајна у процесима транспирације и исхране биљака, као и за њихову анатомску грађу (J а н к о в и ћ, 1987). Енглер описује да се састојине боље обнављају на рубовима, гдје је већи прилив свјетлости (П е т р а ч и ћ, 1955). Број, величина и положај отвора у шумском склопу имају директан утицај на доток и дистрибуцију свјетлости у састојини. У складу с тим, разлике у погледу врста, старости и станишних услова у изградњи

1 Термини сунчева радијација, зрачење, озраченост или инсолација практично нису ништа друго до синоними када их користимо у шумарским наукама. Ови термини у физици имају исто значење када се ради о истраживањима сунчевих зрака које падају на површину Земље, али ако говоримо о мјерењу зрачења искључиво изнад атмосфере, онда се употребљава само термин сунчева радијација, док употреба термина озраченост, односно инсолација, у том случају не би била исправна.

склопа шуме креирају модел отвора који је веома варијабилан, како просторно тако и временски, стварајући комплексан мозаик у структури шуме и режиму свјетлости. С једне стране, шумари еколози су обављали проучавања сукцесивних процеса у развоју вегетације паралелно са отворима у склопу који су настали изумирањем дрвећа (R i c h, *et al.*, 1993; C a n h a m, *et al.*, 1994; E a s t e r and S p i e s, 1994), док је с друге стране, за проучавање микроклиме било неопходно осмислити методе које би се једноставно могле поновити на терену ради квантификовања јачине свјетлости и лисне површине шумских састојина (C h e n, *et al.* 1997). У овом раду примјењена је метода за истраживање режима свјетлости заснована на примјени хемисферичних фотографија и индиректном радиометријском мјерењу јачине свјетлости у мјешовитој састојини букве, јеле и смрче са циљем утврђивања њених особина и утицаја склопа на режим свјетлости.

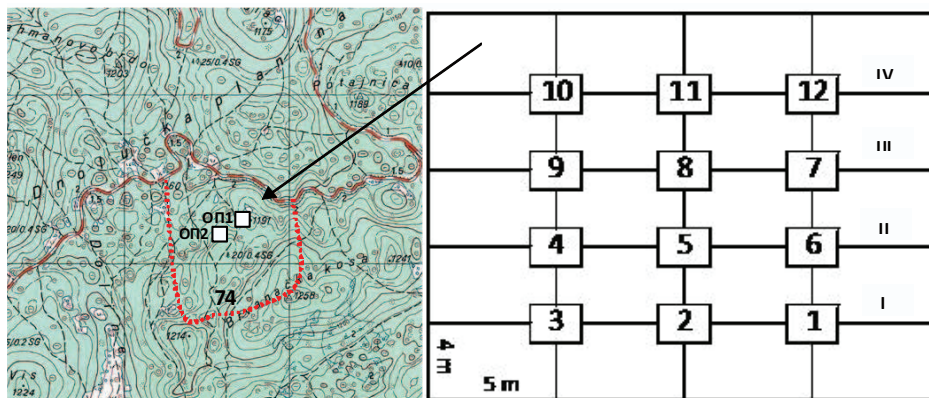
2. ОБЈЕКАТ РАДА

Истраживана састојина букве, јеле и смрче налази се на Днолучкој планини (СГШ 44°18'54" и ИГД 17°23'53"), на подручју ГЈ „Днолука“ (одјељење 74) у оквиру ШПП „Средњеврбаско“, на надморској висини од око 1170 m. Састојина је експонирана сјевероисточно, са благо нагнутим тереном до 5°. У састојини доминира кречњачка геолошка подлога на којој су се развила земљишта углавном класе камбичних земљишта (Ђ и р и ћ, 1991), са доминацијом калкомеланосола и калкокамбисола. Анализа климе је вршена на основу метеоролошких података који се односе на просјечне мјесечне количине падавина и температуру ваздуха из станице Јајце за период 1961 – 1991. године. Коришћен је метод Thornthwait - Matterna (1956). Просјечна годишња количина падавина износи 917 mm, просјечна годишња температура ваздуха 9,9°C, а у току вегетационог периода 15,9°C. На основу обрађених података може се констатовати да је клима у току године умјерено хумидна (годишњи $I_k = 62,7$) а у току вегетационог периода субхумидна влажна. Састојина припада заједници *Piceo – Abieti – Fagetum dinaricum*. Према еколошко – вегетацијској рејонизацији БиХ (С т е ф а н о в и ћ, *et al.*, 1983), састојина се налази у области унутрашњих динарида средњобосанског подручја и Враничког реона (карта 1).

3. МЕТОД РАДА

У састојини су постављене двије огледне површине облика квадрата са дужином странице 20 m. Једна огледна површина (ОП1) постављена је у условима густог склопа, док је друга (ОП2) постављена у условима прекинутог склопа. Огледне површине су подјељене мрежом правоугаоника димензија 5 x 4 m (шема 1), а у врховима правоугаоника начињено је укупно 12 хемисферичних фотографија, које су распоређене у 4 линије снимања по три фотографије (шема 1). За фотогафисање коришћен је дигитални апарат марке Nikon Coolpix 4500 и хемисферични објектив¹ („рибље око“ или сочиво отвореног неба) марке FC – E8. Снимање на огледним површинама вршено је 12. 08. 2008. године, а на ОП1 у густом склопу врш-

1 Хемисферични објектив први је патентирао Robin Hill 1924 године да би посматрао чистину небеског свода и формације облака.



Карта 1. Положај састојине
Map 1. Stand position

Шема 1. Огледна површина за мјерење режима свјетлости и карактеристика подмлатка
Scheme 1. Sample plot for measurement of light regime and seedling characteristics

ено је по дану при ведром небу, јер се негативни утицај рефлексије сунчевих зрака на асимилационим органима стабала незнатно одражава на припрему фотографије (класификацију слике) за анализу код примјене *threshold*² функције у програму за обраду и добијање коначних резултата. На ОП2 снимање је вршено при сутону, чиме је избјегнут утицај рефлексије и расипања свјетлости на фотографији око зенита, а класификација слике је олакшана. Све фотографије су начињене на висини од 1,30 m изнад површине земље при хоризонтално и вертикално нивелисаном положају објектива.

Подаци који се односе на елементе структурне изграђености састојине узети су из елабората важеће шумско-привредне основе (2003–2017. године). Подаци су прикупљени и обрађени према важећој методици која се користи код редовне инвентуре шума у Републици Српској (М а т и ћ *et al.*, 1971).

Обрада хемисферичних фотографија вршена је примјеном рачунарског програма GLA (*Gap Light Analyzer Version 2.0.*). Програм врши калкулацију за фотосинтетички активну радијацију (400-700 nm). На основу само једног снимка могуће је добити резултате за тачку снимања за било који дан или мјесец у току године,

2 Threshold функција подразумјева оперативну програмску радњу у Image опцији GLA рачунарског програма на главном менију и/или на toolbar-у, којом се дефинише праг раздвајања пиксела у равни слике на бијеле (небо) и црне пикселе (надземни дијелови стабала). Класификација слике је релативно једноставна кад оригинална фотографија има нормалан степен контраста боје између неба и круна стабала. Ипак, чест је случај да је јачина контраста слике недовољна у одређеним дијеловима фотографије. На примјер, расипање свјетлости око зенита понекад ће замаглити границу између неба и асимилационих органа, а доња свјетлост близу хоризонта снимања показује тенденцију да умањено репрезентује број и величину отвора у склопу. Раздвајањем слике у боји од 24 бит-а у одвојене RGB равни могуће је побољшати контраст боје у најмање једној од равни.

за вегетациони период уз претходно дефинисање почетка и краја вегетационог периода, или за цијелу годину. У циљу одређивања дужине трајања вегетационог периода, извршена је екстраполација просјечних вриједности температура за период 1961. до 1991. год. за метеоролошку станицу Јајце и за надморску висину истраживане састојине, односно огледних површина (1170 m). Вегетациони период на подручју истраживања у просјеку траје од 20. марта до 15. октобра. Метода обраде података (хемисферичних фотографија) примјеном GLA састоји се од три главне фазе: регистрација слике, класификација слике и калкулација резултата. Прије регистрације слика у програм су унијети подаци о магнетном одступању (деклинацији) од географског сјевера за мјесто истраживања која износи 2 степена и 58 минута према истоку, а затим дисторзији пројекције (поларна), географској ширини и дужини (СГШ 44°18'54" и ИСГ 17°23'53") и надморској висини. Мрежа небеских региона је дефинисана са 36 азимутних и 9 зенитних региона за сваку фотографију (слика 1), док је положај сунца мјерен сваке двије минуте на дан снимања и за вегетациони период.

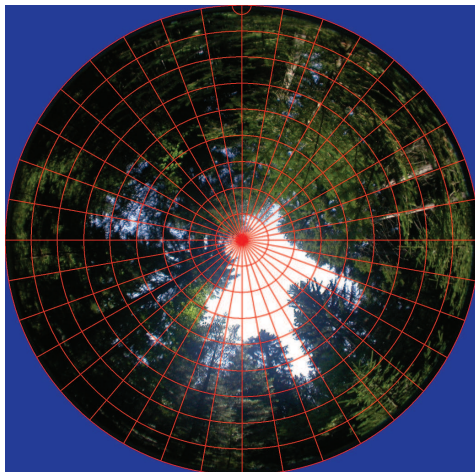
Поступак **регистрације слике** подразумјева да се на оригиналној слици одреди иницијална (почетна) тачка, а то је обично географски сјевер на врху хемисферичне слике (слика 1). Оригинална слика је кружног облика са географским сјевером дефинисаним са 0° (уважавајући магнетно одступање), а тачка на дну слике је географски јут чија је координата пројекције x-осе идентична оној коју има почетна тачка. Растојање од почетне до крајње тачке по y-оси одређује кружну величину слике. Након регистрације добијене су двије слике: регистрована слика (енгл. *registered image*) и радна слика (енгл. *working image*).

Класификација слике подразумјева раздвајање пиксела у RGB (енгл. *red, green, blue*) равни слике на бијеле (небо) и црне пикселе (надземни дијелови стабала) користећи праг раздвајања (енгл. *threshild*) пиксела. Контраст боје побољшава се у плавој равни (слика 1), јер ведро небо расипа плаве свјетлосне зраке, док их склоп састојине апсорбује.

Калкулација резултата омогућава да се на листу рачунарског извјештаја ГЛА програма опцијом *Run Calculation*, која се налази под *Calculate Meni*, утврде елементи директне, дифузне и глобалне сунчеве радијације. Поред тога, калкулација даје податке који се односе на: степен склопа, ефективни (кумулативни) индекс лисне површине (LAI – енгл. *leaf area index*¹ за 4-ти и 5-ти круг интеграције²), затим сунчево зрачење изнад и испод склопа. Мјерне јединице које репрезентују вриједности сунчевог зрачења по дану изнад и испод шумског склопа су mol/m²/d или MJ/m²/d.

Да бисмо разумјели начин на који програм рачуна параметре, неопходно је упознати се са основама хемисферичног координатног система. Сви правци са неба, из којих до земљишта допире сунчева свјетлост, представљени су са два угла, а то су: зенитни угао „θ“ и азимутни угао „α“ (слике 3 и 4).

- 1 LAI (leaf area index) представља однос између збира површине листова или четина и површине уздужног пресека скелетног дијела дрвета (грана, гранчицаи избојака) – и површине на којем дрво стоји, односно површине исхране дрвета (К о л и Ђ, 1977).
- 2 Четврти круг интеграције подразумјева вертикални угао од 60° који заклапа визура од зенита према хоризонту, док пети круг интеграције подразумјева тај угао од 75°.



Слика 1. Регистрована слика (тачка снимања бр. 12) са мрежом небеских региона
Figure 1. Registered image (imaging point No. 12) with the grid of celestial regions



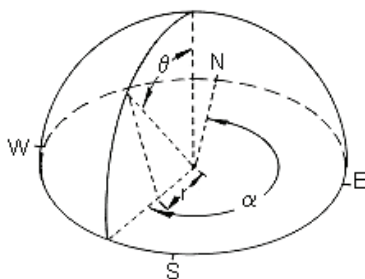
Слика 2. Класификована слика
Figure 2. Classified image

Приликом одређивања затворености склопа¹ (*енгл. canopy closure*), најбоље је да угао снимања износи тачно 180° , што омогућава примјена метода хемисферичне фотографије. На основу хемисферичних фотографија могуће је добити и резултате о склопу састојине према дефиницији вертикалне пројекције (J e n i n g s, *et al.*, 1999), али резултати за тај параметар примјеном ове методе нису тако прецизни као неке друге методе које се данас користе у савременој инвентури шума (нпр. примјена *HemvWiew*). За калкулацију вриједности степена склопа, на основу вертикалне пројекције, у овом раду коришћен је управо *HemvWiew* програм.

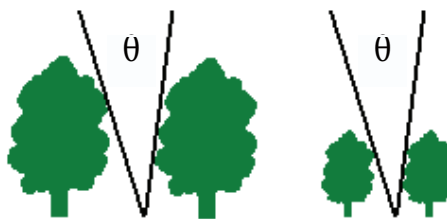
За методе у којима се користи угао снимања шири од 30° , грешка у одређивању шумског склопа постаје значајна (B u n e l l a n d V a l e s, 1990; G a n e y a n d B l o c k, 1994; C o o k, *et al.*, 1995 и др.) и ове методе треба користити код одређивања затворености склопа. Приликом одређивања затворености склопа, према дефиницији, најбоље би било да угао снимања износи тачно 180° (J e n i n g s, *et al.*, 1999). У сваком случају, мјерење степена склопа примјеном методе хемисферичне фотографије даје знатно прецизније резултате у односу на окуларну процјену склопа

¹ Хемисферична пројекција омогућава потпуно сагледавање свих праваца из којих сунчева свјетлост допире до круна и земљишта под крунама. При том је зенит у центру слике, док је хоризонт ограничен ивичним тачкама на слици. Хемисферична фотографија не репрезентује отворе у склопу на основу дистанце, већ преко углова који директно утичу на резултате калкулације. То је зато што стабла која граде склоп, иако су различите висине, могу имати сличне или једнаке углове отвора (слика 5). Због тога се степен склопа одређен на основу хемисферичних пројекција круна често назива **затвореност склопа**, док се на основу прекривености површине земљишта вертикалним пројекцијама круна на хоризонталну раван одређује **степен склопа** у складу са уобичајеним дефиницијама.

или нпр. мјерење које се врши у редовној таксацији према важећој методици код израде ШПО у Републици Српској (М а т и ћ, *et al.*, 1971).



Слика 3.
Figure 3.



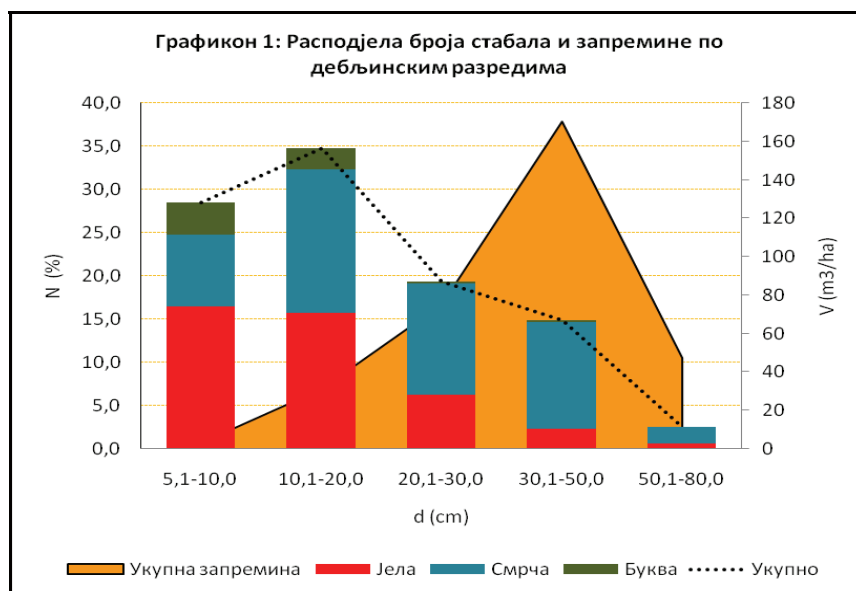
Слика 4. Угао „ θ “ је исти иако су
висине стабала различите
Figure 4. Angle θ is the same although
tree heights are different

4. РЕЗУЛТАТИ РАДА И ДИСКУСИЈА

4.1. Структура састојине

Просјечни број стабала у састојини износи 672 стабла по хектару, а просјечна укупна запремина 327,1 m³/ha. Ток линије расподеле броја стабала по дебљинским разредима (графикон 1) указује да је састојина структурно разнодобна, са максималним бројем стабала у дебљинском разреду 10 до 20 cm. Омјер смјесе по броју стабала износи јела : смрча : буква = 41% : 52% : 7%, док омјер смјесе по запремини износи 22% : 77% : 1%, па се састојина може окарактерисати као мјешовита састојина јеле и смрче са примјесом букве. Бонитет састојине с обзиром на јелу и смрчу је други док је за букву четврти. Просјечна величина текућег запреминског прираста, на нивоу газдинске класе мјешовитих шума јеле и смрче са буквом, на плитким кречњачким земљиштима којој припада и истраживана састојина износи 9,1 m³/ha. Највеће учешће у запреминском прирасту састојине има смрча са око 56%, док свега 3% отпада на запремиски прираст стабала букве. Величина укупне запремине у истраживаној састојини је приближна просјечној нормалној укупној запремини у средини турнуса за производни тип мјешовитих шума јеле и смрче са буквом, која износи 355 m³/ha (С т е ф а н о в и ћ, *et al.*, 1971), док је величина текућег запреминског прираста већа од просјека за 1,9 m³/ha. У инвентару састојине знатно је веће учешће јеле и смрче у односу на букву, док је урастање стабала у први дебљински разред недовољно, ако се има у виду да састојина треба да има пребирну структуру. Карактеристично је да и у нижим дебљинским разредима, по броју стабала и запремини, доминира јела, док је у вишим разредима већа заступљеност смрче. Однос врста дрвећа у омјеру смјесе значајно зависи, између осталог, и од њихових потреба и захтјева према јачини свјетлости. Због тога истраживања режима свјетлости новим методама доприносе јаснијем утврђивању ових

односа, што је посебно значајно код мјешовитих разнодобних састојина нарушене пребирне структуре.

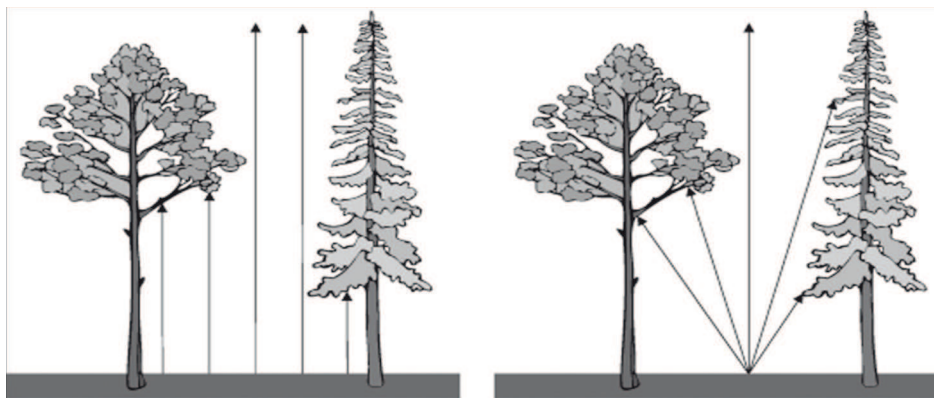


Графикон 1. Расподјела броја стабала и запремине по дебљинским степенима
Diagram 1. Distribution of the number of trees and volume per diameter classes

4.2. Склоп састојине и режим свјетлости

Сунчева свјетлост је тотални спектар електромагнетне радијације емитоване од стране Сунца, а уједно је један од најважнијих фактора који утиче на бројност, раст и квалитет природног подмлатка (A n d e r s o n, M.C., 1971). Режим свјетлости у шумским састојинама зависи од степена склопа, висине сунца изнад хоризонта, доба дана и др. (К о л и ћ, 1977; С т о ј а н о в и ћ, 1995; К р с т и ћ, 1989; Г о в е д а р, 2005 и др.). Степен склопа на огледним површинама није исти након обраде фотографија програмом GLA. Међутим, те разлике у хемисферичним пројекцијама круна, нарочито у погледу затворености склопа, веома су мале (табела 1), док је разлика код хоризонталне пројекције круна значајна. Наиме, програмска апликација код GLA, али и других програма за обраду хемисферичних фотографија, углавном је креирана тако да рачуна однос између цијеле површине хемисфере неба коју објектив обухвата и укупне површине свих надземних органа шумског дрвећа на хемисферичној фотографији. Главни дио хемисфере на снимку, па самим тим и хемисфере неба, је у хоризонталној кружној равни позиционираног дигиталног апарата. Хемисферу неба бисмо у потпуности могли видјети кад не би било околног дрвећа. С обзиром на то да се приликом анализе хемисферичне фотографије често не посматрају само круне дрвећа већ укупна површина надземних органа (дебла, гране, лишће или четине и др.) која заклања хемисферу неба изнад хоризонталне равни снимка, онда је сасвим јасно да ће овако израчунате

вриједности бити знатно веће од оних вриједности које се односе само на вертикалне пројекције круна на хоризонталну раван (слика 5).



Слика 5. Правци којима одређујемо степен склопа (лијево) и правци којим одређујемо затвореност склопа (десно)

Figure 5. Directions by which we determine canopy class (left) and Directions by which we determine canopy closure (right)

Због разлика у дефиницијама степена склопа долази до практичних и теоретских потешкоћа код тумачења резултата. Склоп састојине представља степен засјењености земљишта крунама дрвећа (Б у н у ш е в а ц, 1951). Међутим, примјеном хемисферичних фотографија за мјерење склопа не посматра се степен засјењености јер се он мијења у зависности од положаја сунца. Овим методом утврђује се вертикална пројекција круна на хоризонталну раван која је мање-више постојана.¹ **Шумски склоп** или **склоп круна дрвећа** је дефинисан као процентуални износ наткривености шумског земљишта вертикалном пројекцијом круна дрвећа на хоризонталну раван, док је **затвореност склопа** дефинисана као процентуални износ хемисфере неба, заклоњене вегетацијом при посматрању са једне тачке (J e n n i n g s, *et al.*, 1999). Проблем је у томе што се примјеном метода хемисферичних фотографија и ГЛА програма обично добијају преувеличане вриједности степена склопа у односу на стварни степен склопа, јер стабла „изгледају као да падају“ према центру посматране површине (B u n e l l and V a l e s, 1990; C o o k, *et al.*, 1995; J e n n i n g s, *et al.*, 1999). Други значајан проблем је у томе што висина стабала и дужина живе крошње не утичу на резултате степена шумског склопа, док се затвореност склопа повећава са повећањем висине стабала, као и у случају кад се висина до основе живе круне смањује (J e n n i n g s, *et al.*, 1999). Сљедећа потешкоћа у дефинисању склопа круна дрвећа заснована је на питању: да ли отворе унутар круна треба рачунати као склоп или не? Као одговор је дефинисан тзв. **ефективни шумски склоп** који подразумева да се отвори унутар круна не урачунавају у степен склопа (R a u t i a i n e n, *et al.*, 2005). Проценат **отворености склопа** (енгл.

1 Постојаност склопа зависи, између осталог, од помјерања круна стабала услед дјеловања вјетра а велике разлике у степену склопа и затворености склопа настају као последица опадања асимилационих органа нарочито у лишћарским састојинама.

Canopy Openness) је однос површине видљивог неба посматрано од земљишта, односно хоризонталног нивоа објектива апарата кроз отворе у хемисферичном склопу шумског дрвећа. На основу тог параметра једноставно се одређује степен склопа као разлика између вриједности 100 % и вриједности отворености склопа. Ова вриједност израчунава се искључиво на основу хемисферичне фотографије и не узима у обзир утицај околне топографије. Ипак, овдје треба имати на уму да овако израчуната вриједност склопа није ни приближно једнака оној вриједности склопа која се одређује нпр. код редовне таксације шума. Мјерење склопа у редовној таксацији је прилично субјективно, па стога и у већој мјери непрецизно, а од великог броја могућих праваца узимају се само два: један у доласку до центра круга и други у одласку. С друге стране, преко хемисферичних фотографија добијамо тачне вриједности мјерених параметара, али код отворености склопа (на основу којег добијемо резултат и за затвореност склопа) GLA програм, за разлику од *Hemty-View*, не израчунава однос вертикалне пројекције круна дрвећа према површини земљишта коју та стабла наткривају. Такође је значајно да се код редовне таксације степен склопа одређује на основу степена прекривања круна само оних стабала чији је пречник већи од таксационе границе (5,00 cm). Тиме се не узима у обзир степен прекривања земљишта нпр. стабала која се налазе у развојној фази гуштика, која могу у потпуности да прекрију површину земљишта, што се одражава на микроеколошке услове у састојини.

На обе истраживањем обухваћене огледне површине за 12. 08. 2008. године, горња директна свјетлост износи $6,61 \text{ MJ/m}^2/\text{d}$, горња дифузна свјетлост $1,65 \text{ MJ/m}^2/\text{d}$, те укупна горња свјетлост $8,26 \text{ MJ/m}^2/\text{d}$. За вегетациони период (20. 03. до 15. 10. 2008.) просјечне вриједности за горњу свјетлост су следеће: горња директна свјетлост $6,33 \text{ MJ/m}^2/\text{d}$, горња дифузна свјетлост $1,58 \text{ MJ/m}^2/\text{d}$ и укупна горња свјетлост $7,91 \text{ MJ/m}^2/\text{d}$. Мјерењем свјетлости која пада на круне стабала која чине склоп (горња свјетлост) могуће је предвидјети какав би свјетлосни режим био након дознаке и обарања одређених стабала. Карактеристично је да нема значајнијих разлика у величини степена отворености склопа између огледних површина, али је значајна разлика у погледу степена склопа, што је последица дефинисања тих величина и начина обраде фотографија помоћу GLA, односно *Hemty-View*. Укупна радијација на ОП2 је већа него на ОП1, док су разлике у величинама директне, дифузне и укупне радијације на ОП1 знатно мање него на ОП2, што је последица степена склопа.

С обзиром на то да се хемисферичном фотографијом обично обухвата већи број стабала, за индекс лисне површине узима се однос укупне површине листова и/или иглица са стабала на слици према површини земљишта коју наткривају та стабла. Вриједности индекса лисне површине најчешће се крећу од 2 до 5. Ако је вриједност индекса 5 онда то значи да на мјесту снимања постоји пет квадратних метара лисне површине (у виду слојева) изнад једног квадратног метра површине земљишта. Кад се ради о ефективном индексу лисне површине, онда то значи да калкулацију треба извести само за зенитне углове од 0° до 60° односно од 0° до 75° . Индекс лисне површине је у корелацији са фотосинтезом, односно продуктивношћу шума и у том смислу је значајан квантитативни показатељ (C h e n, J. M., et

all.,1997). Због велике разлике у степену склопа између огледних површина, јасна је и разлика у величини индекса лисне површине, који је знатно већи на ОП1.

На основу експерименталних података у табели 1 може се закључити да количина пропуштене директне и дифузне свјетлости значајно зависи од степена склопа, а та зависност може се изразити експоненцијалном функцијом са базом природног логаритма као елементом функције.

$$Y=ae^{bx}$$

Y – зависно промјенљиве величине (DIR; DIF; Dir+Dif; LAI);

e – база природног логаритма (2,71..);

a, b – параметри функције;

x – независно промјенљива величина (SS).

Табела 1. Просјечне вриједности параметара добијених обрадом хемисферичних фотографија на ОП

Table 1. Average values of parameters obtained by processing of hemispherical photographs on SPs

Параметри хемисферичних фотографија			Огледна површина I				
			Линија снимања				
			I	II	III	IV	Пр.
SO (%)			3,7	3,4	1,7	3,9	7,5
SZ (%)			96,3	96,6	98,3	96,1	92,6
SS			0,94	0,90	0,98	0,86	0,92
LAI			3,81	4,25	4,77	3,89	4,18
Пропуштена свјетлост (12.08.2008. године)	DIR	MJ/m ² /d	0,41	0,90	0,12	0,14	0,39
		%	6,20	13,62	1,81	2,06	5,90
	DIF	MJ/m ² /d	0,09	0,08	0,04	0,10	0,08
		%	5,45	4,85	2,42	3,06	4,85
	DIR.+DIF.	MJ/m ² /d	0,50	0,98	0,16	0,24	0,47
		%	6,05	11,86	1,90	2,86	5,69
Пропуштена свјетлост 20.03.-15.10.2008. године)	DIR	MJ/m ² /d	0,23	0,67	0,15	0,16	0,30
		%	3,65	10,58	2,39	2,53	4,74
	DIF	MJ/m ² /d	0,08	0,08	0,02	0,10	0,07
		%	5,28	5,27	1,27	6,36	4,43
	DIR.+DIF.	MJ/m ² /d	0,31	0,75	0,17	0,26	0,37
		%	3,98	9,52	2,15	3,29	4,68

Параметри хемисферичних фотографија			Огледна површина II				
			Линија снимања				
			I	II	III	IV	Пр.
SO (%)			11,2	5,0	3,5	10,1	7,5
SZ (%)			88,8	95,0	96,5	89,9	92,5
SS			0,40	0,48	0,65	0,51	0,51
LAI			3,09	3,80	4,05	3,04	3,50
Пропуштена свјетлост (12.08.2008. године)	DIR	MJ/m ² /d	1,49	0,57	0,60	2,61	1,32
		%	22,53	19,36	9,13	39,49	19,97
	DIF	MJ/m ² /d	0,323	0,14	0,09	0,28	0,21
		%	8,56	8,32	5,38	16,97	12,73
	DIR.+DIF.	MJ/m ² /d	1,81	0,71	0,69	2,89	1,52
		%	21,9	8,51	8,36	34,99	21,90
Пропуштена свјетлост 20.03.-15.10. 2008. године)	DIR	MJ/m ² /d	1,42	0,41	0,37	2,12	1,08
		%	22,43	6,49	5,90	33,49	17,06
	DIF	MJ/m ² /d	0,31	0,13	0,09	0,27	0,20
		%	19,62	8,23	5,69	17,09	12,65
	DIR.+DIF.	MJ/m ² /d	1,73	0,54	0,46	2,39	1,28
		%	21,87	6,83	5,82	30,21	16,18

SO (%) – степен отворености склопа;

SZ (%) – степен затворености склопа;

SS – степен склопа;

LAI – индекс лисне површине за 4-ти и 5-ти круг интеграције;

DIR (MJ/m²/d) – јачина пропуштене директне свјетлости и % у односу на горњу директну свјетлост;

DIF (MJ/m²/d) – јачина пропуштене дифузне свјетлости и % у односу на горњу дифузну свјетлост;

Dir + Dif (MJ/m²/d) – јачина укупно пропуштене свјетлости и % у односу на укупну горњу свјетлост.

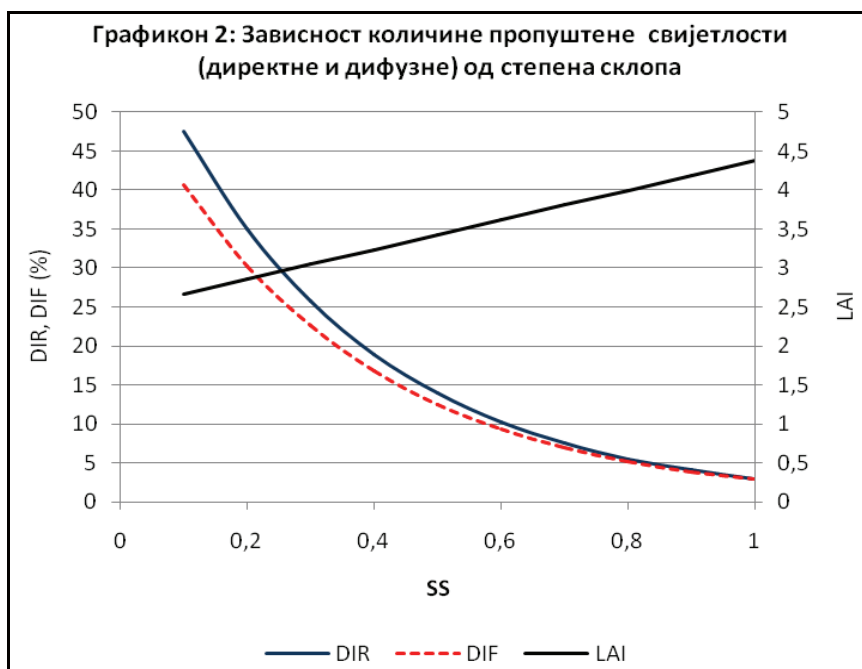
Коришћењем наведене функције у регресионој анализи зависности количине пропуштене свјетлости од степена склопа, добијене су следеће вриједности параметара функције и коефицијенти детерминације (табела 2).

Табела 2. Основни статистички показатељи зависности количине пропуштене свјетлости од степена склопа

Table 2. Main statistical indicators of the dependence of transmitted light on canopy class

Количина пропуштене свијетлости	Параметри функције		Коефицијент детерминације
	a	b	R ² (%)
DIR (%)	64,62	-3,08	54,0
DIF (%)	54,55	-2,95	66,1
Dir+Dif (%)	61,64	-3,00	58,3

Слични резултати о зависности јачине освјетљености од степена склопа изражени другим облицима функција (параболом другог реда и праве линије) у ранијим истраживањима примјеном стационарне изохелске методе, потврђени су у многим радовима који се односе на разне типове шума (К о л и ћ, 1975; С т о ј а н о в и ћ, 1991, 1995; К р с т и ћ, 1986, 1997; Г о в е д а р, 2000, 2005; и др.). Међутим, зависност LAI од степена склопа, иако се може изразити и криволинијском експоненцијалном функцијом, због веома мале вриједности параметра „б“, омогућава да се зависност уз релативно висок коефицијент детерминације ($R^2 = 60,0 \%$) изрази правом линијом.



Графикон 2. Зависност количине свјетлости (директне и дифузне) од степена склопа
Diagram 2. Correlation of light quantity (direct and diffuse) and canopy openness

5. ЗАКЉУЧАК

На основу добијених резултата у овом раду може се закључити следеће:

1. Хемисферичне дигиталне фотографије омогућавају да се уз примјену савремених рачунарских програма утврде многи параметри који се односе на режим свјетлости у шумским састојинама. Примјеном овог метода добијамо резултате о величини директне, дифузне и глобалне свјетлости у шумским састојинама, као и вриједности о степену склопа и индексу лисне површине, како за поједине дане у години, тако и просјеке за вегетациони период.

2. Састојина у којој су вршена истраживања је структурно разнодобна мјешовита састојина са омјером смјесе по броју стабала буква : јела : смрча = 41% : 52% : 7%, док омјер смјесе по запремини износи 22% : 77% : 1%. Величина укупне запремине у састојини приближна је просјечној нормалној укупној запремини у средини турнуса за производни тип мјешовитих шума јеле и смрче са буквом која износи 355 m³/ha, док је величина текућег запреминског прираста већа од просјека за 1,9 m³/ha.
3. На обе истраживањем обухваћене огледне површине за 12. 08. 2008. године, горња директна свјетлост износи 6,61 MJ/m²/m, а горња дифузна свјетлост 1,65 MJ/m²/m, док је за вегетациони период просјечна вриједност за горњу директну свјетлост 6,33 MJ/m²/m, а за горњу дифузну свјетлост 1,58 MJ/m²/m. Укупна радијација на ОП2 је већа него на ОП1, док су разлике у величинама директне, дифузне и укупне радијације на ОП1 знатно мање него на ОП2, што је последица степена склопа.
4. Зависност LAI од степена склопа је праволинијска, док количина пропуштене директне и дифузне свјетлости значајно зависи од степена склопа, а та зависност може се изразити експоненцијалном функцијом са базом природног логаритма као елементом функције.

ЛИТЕРАТУРА

- Anderson, M.C. 1971. Radiation and crop structure. pp. 77-90. In: Z. Sestak, J. Catsky and P. G. Jarvis (eds). Plant Photosynthetic Production Manual of Methods. Junk. The Hague.
- Becker, P., D. W. Erhart, and A. P. Smith. 1989. Analysis of forest light environments Part I. Computerized estimation of solar radiation from hemispherical canopy photographs. *Agricultural and Forest Meteorology* 44:217-232.
- Bunnell, F.L. & Vales, D.J. 1990. Comparison of methods for estimating forest overstory cover: differences among techniques. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 101-107. Бунушевац, Т. (1951): Гајење шума. Уџбеник, Шумарски факултет Београд.
- Canham, C.D., A.C. Finzi, S.W. Pacala, and D.H. Burbank. 1994. Causes and consequences of resource heterogeneity in forests: interspecific variation in light transmission by canopy trees. *Canadian Journal of Forest Research*. 24:337-349.
- Chen, J.M., P.M. Rich, S.T. Gower, J.M. Norman, and S. Plummer. 1997. Leaf area index of boreal forests: theory, techniques, and measurements. *Journal of Geophysical Research*, BOREAS Special Issue 102(D24): 29429-29444.
- Cook, J.G., Stutzman, T.W., Bowers, C.W., Brenner, K.A. & Irwin, L.L. 1995. Spherical densimeters produce biased estimates of forest canopy cover. *Wildlife Society Bulletin* 23(4): 711-717.
- Ćirić, M. (1986): Pedologija, Svjetlost, Sarajevo.
- Ćirić, M., Stefanović, V., Drinić, P. (1971): Tipovi bukovih šuma i mješovitih šuma bukve, jele i smrče u Bosni i Hercegovini. Šumarski fakultet i Institut za šumarstvo u Sarajevu, Posebno izdanje, br. 8, Sarajevo.

- D. Veselinović, B. Pavlović, D. Pešić, B. Radak, (2004): Veličine, jedinice i oznake međunarodnog sistema – SI u fizičkoj hemiji i srodnim oblastima, Beograd.
- Easter, M.J., and T.A. Spies. 1994. Using hemispherical photography for estimating photosynthetic photon flux density under canopies and in gaps in Douglas-fir forests of the Pacific Northwest. *Canadian Journal of Forest Research* 24(10):2050-2058.
- Evans, G.D., and D.E. Coombe. 1959. Hemispherical and woodland canopy photography and the light climate. *Journal of Ecology* 47:103-113.
- Frazer, G.W., Canham, C.D., and Lertzman, K.P. (1999): Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation.
- Ganey, J.L. & Block, W.M. 1994. A comparison of two techniques for measuring canopy closure. *Western Journal of Applied Forestry* 9(1): 21–23.
- Говедар, З. (2000): Истраживање утицаја режима светлости на природно обнављање у чистим састојинама букве на подручју Кнежева. Магистарски рад, Шумарски факултет Универзитета у Београду.
- Говедар, З. (2005): Начини природног обнављања мјешовитих шума јеле и смрче (*Abieti – Piceetum Illyricum*) на подручју западног дела Републике Српске. Дисертација, Шумарски факултет, Београд.
- Хаџивковић, С. (1991): Статистички методи (друго проширено издање). Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет, Институт за економику пољопривреде и социологију села, Нови Сад.
- Hill, R. 1924. A lens for whole sky photographs. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 50:227-235.
- Jennings, S.B., Brown, N.D., & Sheil, D. 1999. Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. *Forestry* 72(1): 59–74.
- Колић, Б. (1975): Одређивање интензитета осветљења и режима светлости у шумским заједницама стационарном изохелском методом. *Екологија*, Вол. 10, Но 2, 155-164, Београд.
- Колић, Б. (1977): Модел радијационог биланса глобалног сунчевог зрачења као функција релативне површине биљне масе у шумској састојини. Универзитет у Београду, Гласник Шумарског факултета, Јубиларни број. Бр. 52, Београд.
- Крстић, М. (1986): Утицај неких елемената изграђености састојине на режим светлости у мешовитој шуми букве и јеле на Гочу. *Шумарство Београд год. 39, бр. 3-4, 1986.* 51-64 стр.
- Крстић, М. (1989): Истраживање еколошко – производних карактеристика китњакових шума и избор најповољнијег начина природног обнављања на подручју североисточне Србије. Докторска дисертација, Београд.
- Krstić, M., Koprivica, M., Lavadinović, V. (1997): The dependance of beech and fir regeneration on the characteristics of stand canopy and light regime. *Proceedings of IUFRO Workshop »Empirical and process based models for forest tree and stand growth simulation. Lisbon, Portugal*
- Kuusipalo, J. 1985. On the use of tree stand parameters in estimating light conditions below the canopy. *Silva Fennica* 19(2): 185–196.
- Matić, V., Drinić, P., Stefanović, V., Ćirić, M., (1971): Stanje šuma u SR BiH prema inventuri šuma na velikim površinama u 1964 – 1968 godini. Posebna izdanja Šumarskog fakulteta i Instituta za šumarstvo u Sarajevu, Sarajevo.
- Rautiainen, M., Stenberg, P. & Nilson, T. 2005. Estimating canopy cover in Scots pine stands. *Silva Fennica* 39(1): 137–142.

- Rich, P.M. 1988. Video image analysis of hemispherical canopy photography. In: P.W. Mausel (ed), First Special Workshop on Videography. Terre Haute, Indiana. May 19-20, 1988, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, pp. 84-95.
- Rich, P.M. 1989. A manual for analysis of hemispherical canopy photography. Los Alamos National Laboratory Re-port LA-11733-M.
- Rich, P.M. 1990. Characterizing plant canopies with hemispherical photographs. In: N.S. Goel and J.M. Norman (eds), Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions. Remote Sensing Reviews 5:13-29.
- Rich, P.M., D.A. Clark, D.B. Clark, and S.F. Oberbauer. (1993.) Long-term study of solar radiation regimes in a tropical wet forest using quantum sensors and hemispherical photography. Agricultural and Forest Meteorology 65:107-127.
- Stefanović, V., Beus, V., Burlica, Č., Dizdarević, H., Vukorep, I. (1983): Ekološko – vegetacijska rejonizacija Bosne i Hercegovine. Šumarski fakultet u Sarajevu, Posebna izdanja, br. 17, Sarajevo.
- Стојановић, Љ. (1991): "Утицај експозиције и режима светлости на појаву подмлатка у смрчевим шумама на Голији". Симпозијум Недељко Кошанин 11-13.10.1990. Ивањица. Зборник радова 39-46. Београд.
- Стојановић, Љ. (1995): Еколошко – производне карактеристике и начини природног обнављања смрчевих шума на Голији и Копаонику. Јавно предузеће шумарства "Србијашуме", Београд.
- Thornthwaite, C.W., Mather, J.R. (1955): The Water Balance. Centerton, N.J. Publ. In Climatology, v.8, n.1, 104p

APPLICATION OF HEMISPHERICAL PHOTOGRAPHS IN THE RESEARCH OF LIGHT
REGIME IN THE FOREST OF BEECH, FIR AND SPRUCE (Piceo – Abieti - Fagetum)

*Zoran Govedar
Srđan Keren*

S u m m a r y

Hemispherical photograph is one of indirect optical methods which are widely used in the study of canopy and light regime in forest stands. Photographs made by hemispherical (fisheye) lens with wide angle of 180° and the orientation from the forest land to the sky, produce circular images presenting the size, form and position of canopy gaps. Digital scanners and apparatuses convert the hemispherical images in the so called "bitmaps" which are then analysed by special computer programmes (GLA, Hemi-View, Image-View, etc.).

The stand of beech, fir and spruce was researched on Dnolučka Planina (North latitude 44°18'54" and East longitude 17°23'53"), in the area of FMU "Dnoluka" (Compartment 74) in Forest District "Srednjevrbasko", at the altitude of about 1170 m. The dominant bedrock is limestone and the main soil classes are cambic soils with the domination of cal-comelanosol and calcocambisol. The climate in the study region is moderate humid, and during the growing season subhumid moist. The stand belongs to the community Piceo – Abieti – Fagetum dinaricum. Average number of trees in the stand is 672 tree per hectare and average total volume is 327.1 m³/ha. The stand can be characterised as uneven-aged mixed stand of fir and spruce with the admixture of beech. In both study sample plots (SP) on 12.08.2008 the upper direct light was 6.61 MJ/m²/d and the upper diffuse light was 1.65 MJ/m²/d. During the growing season, average upper direct light was 6.33 MJ/m²/d, and average upper diffuse light was 1.58 MJ/m²/d. Total radiation on SP2 was higher than on SP1 while the differences in the values of direct, diffuse and total radiation on SP1 were considerably lower than on SP2, which is the consequence of canopy openness. Based on the experimental data, it can be concluded that the quantity of transmitted direct and diffuse light depends significantly on the canopy class, and the dependence can be expressed as the exponential function with the base natural logarithm as the function element.