

## ZASTOSOWANIE ZDJĘĆ HEMISFERYCZNYCH W BADANIACH EKOSYSTEMÓW LEŚNYCH

### APPLICATION OF HEMISPHERICAL PHOTOGRAPHS TO RESEARCH ON FOREST ECOSYSTEMS

**Paweł Strzeński**

Zakład Urządzania Lasu, Katedra Urządzania Lasu, Wydział Leśny, Akademia Rolnicza w Poznaniu

**Słowa kluczowe: pomiary światła, indeks powierzchni liściowej, fotoszkie koron, fotografia w podczerwieni, obiektyw „rybie oko”**

Keywords: light measurements, leaf area index, canopy photo sketch, infrared photography, fish-eye lens

### **Cel i zakres opracowania**

Zasadniczym celem pracy jest omówienie podstawowych założeń metodycznych wykonywania zdjęć hemisferycznych, w kontekście praktycznego wykorzystania ich w trakcie inwentaryzacji stanu i zasobów leśnych.

Bezpośrednim zastosowaniem cyfrowej fotografii hemisferycznej, omówionym w artykule, jest ocena stopnia ażurowości koron w drzewostanach oraz pomiar bezwzględnej ilości światła docierającej do dna lasu. Obok tego zakresu, w pracy zasygnalizowano również możliwość rejestracji podczerwieni, wykorzystywanej w celu badań aparatu asymilacyjnego drzew. Kolejnym, omówionym zakresem praktycznego zastosowania cyfrowych zdjęć hemisferycznych, jest sporządzanie mapy rzutów koron drzew, czyli tzw. fotoszkie koron.

Praca zawiera także skrótowy przegląd literatury oraz prezentację rozwiązań sprzętowych, uzupełnionych wyszczególnieniem podstawowego oprogramowania.

### **Przegląd literatury**

Pomiar ażurowości drzewostanu, jako najprostszy sposób pomiaru ilości światła docierającego do dna lasu, najczęściej jest wykonywany w oparciu o analizę zdjęć hemisferycznych z wykorzystaniem obiektywu typu „rybie oko” (*fish-eye*), o kącie widzenia 180° (Chan i in., 1986; Becker i in., 1989; Wagner, 1994; Frazer i in., 1999; Englund i in., 2000; Inoue i in., 2002; Robakowski, 2003; Inoue i in., 2004; Megumi, 2004; Robakowski i in., 2004).

Zdjęcia hemisferyczne pozwalają nie tylko na ocenę stopnia ażurowości. Umożliwiają również ogólną charakterystykę koron i ocenę stanu aparatu asymilacyjnego (Wang i in., 1992; Walter i in., 1996; Diaci i in., 1999; Planchais i Pontailier, 1999; Dobbertin i in., 2004).

W pracach badawczych wielokrotnie podejmowane były także próby oceny wpływu promieniowania świetlnego (mierzonego przy zastosowaniu zdjęć hemisferycznych) na wzrost i rozwój młodego pokolenia drzew (Cameron i Ives, 1997; Robakowski i in., 2000; Robakowski, 2003). Metodyka zdjęć hemisferycznych była również wykorzystywana do oceny gęstości przepływu fotonów w procesie fotosyntezy dla drzewostanu o niejednorodnym zwarciu (pod okapem i w lukach) (Easter i in., 2004).

Wskazane jest jednak uzupełnienie pomiarów ażurowości innymi, powszechnie stosowanymi metodami pomiaru światła. Należą do nich m.in. pomiary światła fotosyntetycznie czynnego (PAR) (Gower i in., 1999; Robakowski i in., 2000; Robakowski i in., 2004) oraz pomiary pozwalające na określenie indeksu powierzchni liściowej (LAI) (Martens i in., 1993; Chen i in., 1996; Gower i in., 1999; Kucharik i in., 1998a; 1998b; Hyer i in., 2004).

## Opis podstawowych założeń metodycznych

### Zdjęcia hemisferyczne

Zdjęcia hemisferyczne najczęściej są wykonywane podczas badań związanych z opisem warunków ekologicznych roślin (lasy, uprawy rolnicze, sady). Zazwyczaj celem jest uzyskanie informacji o ilości światła docierającego na odpowiedni poziom. W przypadku pomiarów w drzewostanach, obok ażurowości koron, najczęściej mierzy się również ilość światła, jaka dociera do siewek (pomiar na „poziomie 0” lub na wysokości 5–10 cm, nad powierzchnią gruntu), do drzewek w warstwie nalotu (pomiar na wysokości 50 cm lub w warstwie podrostu (130–150 cm nad powierzchnią gruntu). Zdjęć hemisferycznych na większych wysokościach z reguły się nie wykonuje.

Z optymalnymi warunkami do wykonywania zdjęć hemisferycznych mamy do czynienia wówczas, gdy jest pełne zachmurzenie, ewentualnie, gdy tarcza słoneczna jest ukryta za chmurami. W przypadku, gdy tarcza słoneczna jest bezpośrednio widoczna (nie można jej np. „ukryć” za pniem drzewa), konieczne jest (na etapie analizy) wprowadzenie korekcji związanej z położeniem słońca nad horyzontem (Kopp i in., 2002).

Ponieważ zdjęcia hemisferyczne są typowym pomiarem punktowym, statyw z aparatem umieszcza się w środku powierzchni badawczej. Aparat musi być ustawiony w ten sposób, aby umowna płaszczyzna obiektywu (górnej soczewki) była spoziomowana. Można w tym celu wykorzystać głowicę statywu wyposażoną w libelki lub zamontować niezależną libelkę w sankach lampy błyskowej.

Zazwyczaj podczas wykonywania zdjęć hemisferycznych w drzewostanach zaleca się zachowanie następujących warunków:

- ustawienie obiektywu (górna soczewka) na dwóch wysokościach (nad powierzchnią gruntu): 50 cm oraz 130 cm,
- ustalenie i oznaczenie kierunku N-S,
- spoziomowanie kamery, oś obiektywu ustawiona prostopadle,
- ustawienie kamery w zakresie czułości – ISO 400 (podczas słonecznego dnia nie mniej niż ISO 100),
- ustawienie kamery na czasie migawki – nie dłuższym niż 1/125,

- ustawienie kamery na maksymalnej rozdzielczości – zapis plików w formacie JPEG+RAW lub JPEG.

Do wykonywania zdjęć hemisferycznych jeszcze do końca ubiegłego wieku były wykorzystywane głównie analogowe aparaty fotograficzne (najczęściej lustrzanki małoobrazkowe), rejestrujące obraz na kliszach światłoczułych. Jedynym poważnym ograniczeniem była wówczas optyka – czyli konieczność zastosowania obiektywu typu rybie oko z kątem widzenia 180°.

Obecnie, gdy zdecydowanie dominuje fotografia cyfrowa, przy zdjęciach hemisferycznych optyka w powiązaniu z wielkością światłoczułej matrycy stały się przysłowiowym wąskim gardłem. W takim wypadku, nawet zastosowanie cyfrowych lustrzanek (kamery z wymienną optyką) z obiektywami typu rybie oko w zdecydowanej większości wypadków nie spełnia wymogów uzyskania kolistego obrazu o kącie widzenia 180°. Przyczyna tkwi w wielkości światłoczułej matrycy.

Zasadniczo (poza kilkoma modelami) kamery cyfrowe z wymienną optyką posiadają matryce o wymiarach ok. 15x22 mm. W przypadku kamery Canon EOS 20D jest to matryca typu CMOS o wymiarach 15x22,5 mm, rejestrująca obraz o rozdzielczości 8,2 milionów efektywnych pikseli (3504x2336 pikseli). Przyłączenie do tej kamery obiektywu typu rybie oko (np. Canon EF 15 mm f/2.8 Fisheye, Sigma 8mm f/3.5 EX DG Circular Fisheye) nie da w efekcie obrazu kolistego z kątem 180°!

Różnice w zastosowaniu do zdjęć koron obiektywu typu rybie oko oraz obiektywu o węższym kącie widzenia, na tle drzewostanu, w którym prowadzono pomiary w sierpniu 2006 zaprezentowano na dwóch fotografiach (rys. 1 i 2).

Przyczyną jest przeznaczenie ww. obiektywów do tzw. aparatów pełnoklatkowych, czyli posiadających matrycę o wymiarze 24x36 mm (jest to wymiar pełnej klatki – kadru w analogowych aparatach małoobrazkowych). Stąd zastosowanie analogowej optyki do kamer pełnoklatkowych powoduje konieczność przeliczenia parametrów obiektywu. Dla kamery Canon EOS 20D przelicznik wynosi 1,6 (wysokość kadru – 24 mm : 15 mm = 1,6 ; szerokość kadru – 36 mm : 22,5 mm = 1,6). Zastosowanie np. obiektywu Canon EF 15 mm f/2.8 Fisheye w kamerze Canon EOS 20D powoduje, że zmieniają się parametry optyczne – ogniskowa się wydłuża (do 24 mm), a kąt widzenia się skraca (do 112,5°).

Aby dopełnić metodycznych wymogów fotografii hemisferycznej, stosuje się dwa rozwiązania.

Optymalnym rozwiązaniem jest zastosowanie cyfrowej lustrzanki pełnoklatkowej, co zapewni m.in. otrzymanie bardzo wysokiej jakości obrazu. Niestety obecnie na rynku dostępne są tylko cztery modele: Canon EOS-1Ds Mark II, Kodak DCS Pro SLR-n (wycofany z produkcji), Kodak DCS Pro SLR-c (wycofany z produkcji) oraz Kodak DCS Pro 14n. Spośród nich zaś zdecydowanie najlepszy jest „falagowy” model firmy Canon - EOS-1Ds Mark II, o rozdzielczości 16,6 MP (4992 x 3328 pikseli).

Drugim rozwiązaniem jest połączenie niepełnoklatkowej cyfrowej lustrzanki (lub wysokiej klasy cyfrowego kompaktu) z odpowiednim konwerterem, który w połączeniu z obiektywem pozwoli na uzyskanie kolistego zdjęcia, z zachowaniem kąta widzenia 180°.

Do wykonywania zdjęć hemisferycznych w Katedrze Urządzenia Lasu AR w Poznaniu testowany jest następujący zestaw:

- aparat cyfrowy typu SLR (lustrzanka) – Canon EOS 20D (matryca 8 MP),
- obiektyw Canon EF-S 18-55/3,5-5,6,
- konwerter typu *fish-eye* (umożliwiający uzyskanie kąta widzenia 180°) Raynox DCR-CF 185PRO ([www.raynox.co.jp/english/dcr/dcrf185pro](http://www.raynox.co.jp/english/dcr/dcrf185pro)).



**Rys. 1.** Zdjęcie zwarcia koron w drzewostanie świerkowym, wykonane zestawem Canon EOS 20D + Canon EF 17-40/4,0 L (rzeczywisty kat widzenia:  $104^\circ \times 1,6 = 60^\circ$ ); fot. P. Strzeziński



**Rys. 2.** Zdjęcie hemisferyczne w drzewostanie świerkowym, wykonane zestawem Canon EOS 20D + Canon EF 18-55/3,5-5,6+ konwerter Raynox DCR-CF 185PRO (maksymalny rzeczywisty kat widzenia  $185^\circ$ ); fot. P. Strzeziński

## Rejestracja podczerwieni

Kilka dziesięcioleci doświadczeń opartych na badaniach teledetekcyjnych – z wykorzystaniem zdjęć lotniczych i satelitarnych wskazują, że z punktu widzenia użyteczności tych materiałów w analizach dotyczących pokrywy roślinnej, najlepsze efekty uzyskuje się wykorzystując barwne zdjęcia w podczerwieni. Jest więc prawdopodobne, że podczerwień zarejestrowaną metodą zdjęć hemisferycznych, będzie silnie skorelowana z podczerwonym zakresem uzyskanym na zdjęciach lotniczych i satelitarnych.

Hipoteza ta wymaga oczywiście przetestowania. Niestety, nie odnaleziono żadnych publikacji opisujących możliwości wykorzystania zdjęć hemisferycznych (jak również zdjęć wykonywanych innymi technikami fotografii naziemnej), rejestrujących podczerwony zakres promieniowania, w celu badań aparatu asymilacyjnego w drzewostanach.

W przypadku zastosowania zdecydowanej większości kamer cyfrowych pojawia się jednak problem z rejestracją podczerwieni. Wynika to z przyczyn technicznych – bezpośrednio przed matrycą światłoczułą w kamerach montowane są filtry, odcinające cały zakres słonecznego promieniowania elektromagnetycznego, oczywiście poza zakresem widzialnym (ok. 400–760 nm).

Aby mieć możliwość rejestracji podczerwieni kamerami cyfrowymi, należy wykorzystać jeden z trzech niżej wymienionych sposobów.

Pierwszym z nich jest użycie kamery cyfrowej dedykowanej do zdjęć podczerwieni. Jedną z niewielu takich kamer jest Canon EOS 20Da, produkowany głównie z myślą o astrofotografii. Niestety, kamera ta, obok zakresu światła widzialnego, rejestruje tylko bardzo wąski zakres bliskiej podczerwieni (do ok. 720 nm) ([http://www.dpreview.com/reviews/specs/Canon/canon\\_eos20da.asp](http://www.dpreview.com/reviews/specs/Canon/canon_eos20da.asp)).

Drugim sposobem jest zastosowanie filtrów nasadkowych, które pozwalają na rejestrację szerszej skali widma. W uproszczeniu zasada działania tych filtrów polega na zablokowaniu zakresu światła widzialnego i rejestracji w to miejsce podczerwieni o zmienionej (przez filtr) długości fali. Filtr B+W 092 pozwala np. na rejestrację widma w zakresie do ok. 730 nm (<http://users.utu.fi/hlehto/photo/optics/ir20d.shtml>) (rys. 3).

**Tabela 1.** Wykaz filtrów różnych producentów umożliwiających rejestrację podczerwieni

Uniwersalne oznaczenie rodzaju filtra	Zakres rejestrowanej fali		Firmowe oznaczenia filtrów wybranych marek					
	0% transmisji [nm]	50% transmisji [nm]	Schott-Glass	B+W	Heliopan	Hoya	Tiffen	CoCam
89B	680	720	RG695	092*	5695/569	R72	–	R72
88	700	735	–	–	–	–	–	–
88A	720	750	RG715	–	5715/571	–	–	88A
87	740	795	RG780	–	5780/578	–	TI87	87
87C	790	850	RG830	093	5830/585	–	–	87C
87B	820	930	RG850	–	5850/585	–	–	–
87A	880	1050	RG1000	094	5100/510	RM90	–	–

\* - filtr przetestowany z kamerą Canon EOS 20D

Źródło: <http://www.cocam.co.uk/CoCamWS/Infrared/INFRARED.HTM> - zmienione



Wykaz innych filtrów umożliwiających rejestrację podczerwieni, jednak nietestowanych jeszcze z kamerą Canon EOS 20D, przedstawia tabela 1.

Trzecim sposobem na rejestrację podczerwieni przez kamery cyfrowe, jest usunięcie montowanych przed światłoczułą matrycą filtrów, blokujących niewidzialne zakresy promieniowania. Jest to często stosowany sposób, czego dowodzą liczne internetowe fora dyskusyjne (<http://dpfwiw.com/ir.htm>; <http://www.jr-worldwi.de/photo/intro.html>; <http://www.cocam.co.uk/CoCamWS/Infrared/INFRARED.HTM>) oraz bardzo szczegółowe instrukcje, objaśniające demontaż filtrów (<http://www.lrgb.com/20d.html>; <http://www.lifepixel.com/IR.htm>).

### Fotoszkie koron

Istnieje także możliwość wykonania zdjęć cyfrowych, dających w efekcie „mapę” rzutów koron (fotoszkie koron). Liczba punktów (odległość pomiędzy nimi), z których wykonywane są zdjęcia, zależy od wielkości badanej powierzchni (drzewostanu) oraz przeciętnej wysokości drzew z górnego piętra (warstwy). Zdjęcia powinny być wykonywane z zachowaniem warunków ustalonych dla zdjęć hemisferycznych.

Dodatkowo, w celu ustalenia punktów wspólnych dla sąsiednich zdjęć, wykorzystuje się tyczki, które w terenie będą rozmieszczane w taki sposób, aby były widoczne w narożnikach kadrów.

Przy sporządzaniu fotoszkie koron testowane będą dwa zestawy – jeden składający się z:

- kamery cyfrowej typu SLR (lustrzanka) – Canon EOS 20D (matryca 8 MP),
- obiektywu Canon EF 17-40/4,0 L,

oraz drugi, składający się z:

- kamery cyfrowej typu SLR (lustrzanka) – Canon EOS 20D (matryca 8 MP),
- obiektywu Canon EF-S 18-55/3,5-5,6,
- konwertera typu *fish-eye* Raynox DCR-CF 185PRO.

## Opracowanie danych i spodziewane wyniki

Rynek oprogramowania, jakie pozwala na opracowywanie i analizę zdjęć hemisferycznych jest bardzo wyspecjalizowany i oferuje zaledwie kilka pakietów. Są to:

- CI-110 (<http://www.cid-inc.com>),
- Gap Light Analyzer (<http://www.ecostudies.org/gla/>),
- HemiView and the Digital Plant Canopy Imager (<http://www.delta-t.co.uk>),
- RGBFisheye (<http://www.gifu-u.ac.jp/~ishidam/RGBFisheye02.htm>),
- WinSCANOPY (<http://www.regent.qc.ca>).

W literaturze najczęściej spotyka się informacje o wykorzystywaniu programów Gap Light Analyzer (program typu freeware) oraz WinSCANOPY.

Do analiz zdjęć hemisferycznych w Katedrze Urządzenia Lasu AR w Poznaniu obecnie wykorzystane jest specjalistyczne oprogramowanie Gap Light Analyzer (v. 2.0). Przykłady analiz wykonanych w tym programie przedstawiono na rysunku 4.

W efekcie analiz opartych na zdjęciach hemisferycznych spodziewane jest określenie wielu elementów. Będą to:

- bezwzględna ilość światła rejestrowana na poziomach pomiarowych,
- struktura zwarcia koron,
- zmienność przestrzenna ulistnienia okapu drzewostanu,
- indeks powierzchni liściowej,
- ogólna charakterystyka koron (deformacja koron, żywotność pędów bocznych),
- stan aparatu asymilacyjnego (liczba roczników igieł, prześwietlenie koron i ubytek aparatu asymilacyjnego, zniekształcenia i przebarwienia aparatu asymilacyjnego),
- zależność pomiędzy zwarcie a odnowieniem naturalnym.

Podjęta zostanie także próba:

- oszacowania biomasy aparatu asymilacyjnego,
- oceny gęstości przepływu fotonów w procesie fotosyntezy pod okapem i w lukach drzewostanu.

## Podsumowanie

Dynamicznie rozwijający się przemysł produkujący urządzenia do cyfrowej rejestracji obrazu, ciągły wzrost rozdzielczości matryc oraz relatywne obniżanie cen, powoduje rozszerzenie zakresu wykorzystania tego typu sprzętu.

W zakresie prac urządzeniowych cyfrowa fotografia ma szansę stać się podstawą przyszłej metody oceny stopnia defoliacji koron. Natomiast przy zdjęciach rejestrujących podczerwień będzie możliwa szersza ocena stanu aparatu asymilacyjnego.

Oczywiście na obecnym etapie badań i testów konieczne jest powiązanie informacji uzyskanych ze zdjęć hemisferycznych z danymi pozyskanymi bardziej dokładnymi metodami (bezpośredni pomiar drzew, pomiary instrumentalne LAI, skaniny laserowe naziemne i lotnicze oraz wysokorozdzielcze cyfrowe zdjęcia lotnicze i satelitarne).

Opisane w niniejszej pracy założenia metodyczne są obecnie i będą testowane w ramach kilku projektów badawczych:

- „Monitoring i modelowanie zdolności regeneracyjnych lasu zanieczyszczonego przez emisje przemysłowe – studia z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych, na przykładzie Beskidu Śląskiego”, kierownik projektu – Magdalena Main (Geomatics Departament, Institute of Geography, Humboldt-Universität zu Berlin), realizowany w latach 2006-2007,
- „Opracowanie metody inwentaryzacji lasu opartej na integracji wybranych technik geomatycznych”, koordynacja projektu – Wydział Leśny SGGW oraz prof. dr hab. Tomasz Zawiła-Niedźwiecki (Fachhochschule Eberswalde), realizowany w latach 2006–2008,
- „Występowanie, rola i wpływ na ekosystemy leśne jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) na obszarze Bałtyckiej Krainy przyrodniczo-leśnej”, kierownik projektu – dr inż. Paweł Strzeliński, (Katedra Urządzania Lasu, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu), realizowany w latach 2006–2009,
- „Relacje pomiędzy ilością i jakością produkcji drewna oraz stabilnością drzewostanów sosnowych”, kierownik projektu – prof. dr hab. Edward Stępień (Zakład Urządzania Lasu, Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa SGGW), realizowany w latach 2006–2009.

Po zakończeniu ww. projektów badawczych zapewne będzie można zweryfikować oraz udoskonalić niektóre założenia metodyczne wykonywania i analizy zdjęć hemisferycznych, uzupełnianych instrumentalnymi pomiarami LAI. Ale przede wszystkim, dzięki zgromadzeniu bogatego materiału badawczego, zaistnieją podstawy do oceny możliwości praktycznego zastosowania opisywanych metod w taksacji urządzeniowej – prowadzonej zarówno w myśl obowiązujących zasad, jak i obejmującej nowe zakresy informacji.

### Literatura

- Becker P.F., Erhart D.W., Smith A.P., 1989: Analysis of forest light environments. I. Computerized estimation of solar radiation from hemispherical photographs. *Agric For Meteorol* 44: 217-232.
- Cameron A.D., Ives J.D. 1997: Use of hemispherical photography techniques to determine the association between canopy openness and regeneration of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and downy birch (*Betula pubescens* Ehrh.) in Ballochbuie native pinewood, *North-east Scotland. Scot. For.*, Vol. 51 nr 3: 144-149.
- Chan S.S., McCreight M.C., Walstad J.D., Spies T.A., 1986: Evaluating forest cover with computerized analysis of fisheye photographs. *For Sci* 32: 1085-1091.
- Chen J.M., 1996: Optically-based methods for measuring seasonal variation of leaf area index in boreal conifer stands. *Agricultural and Forest Meteorology* 80: 135-163.
- Diaci J., Thormann J.-J., Kolar U., 1999: Meritve sončnega sevanja v gozdu. II. Metode na osnovi i projekcij hemisfere neba in krošenj. *Zb. Gozd. Les.*, T. 60: 177-210.
- Dobbertin M., Hug Ch., Mizoue N., 2004: Using slides to test for changes in crown defoliation assessment methods. Part I: Visual assessment of slides. *Environ. Monit. a. Assess.*, Vol. 98 nr 1/3: 295-306.
- Easter M.J., Spies T.A., 1994: Using hemispherical photography for estimating photosynthetic photon flux density under canopies and in gaps in Douglas-fir forests of the Pacific Northwest. *Can. J. For. Res.*, Vol. 24, 10: 2050-2058.
- Englund S.R., O'Brien J.J., Clark D.B., 2000: Evaluation of digital and film hemispherical photography and spherical densitometry for measuring forest light environments. *Can. J. For. Res.* 30(12): 1999-2005.
- Frazer G.W., Canham C.D., Lertzman K.P., 1999: Gap Light Analyzer (GLA), vers. 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. Burnaby, British Columbia: Simon Fraser Univ. and Millbrook, NY: Institute of Ecosystem Studies.
- Gower S.T., Kucharik C.J., Norman J.M., 1999: Direct and indirect estimation of leaf area index, fAPAR, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sensing and Environment*, 70: 29-51.
- Hyer E.J., Goetz S.J., 2004: Comparison and sensitivity analysis of instruments and radiometric methods for LAI estimation: assessments from a boreal forest site. *Agricultural and Forest Meteorology*. Volume 122, Issues 3-4, 20 April 2004, pp. 157-174.
- Inoue A., Yamamoto K., Mizoue, N., Kawahara Y., 2002: Estimation of relative illuminance using digital hemispherical photography. *Journal of Forest Planning* 8: pp. 67-70.
- 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*. Volume 126, Issues 1-2, 20 November 2004, pp. 89-97.
- Johnson J.D., Zedaker S.M., Hairston A.B., 1985: Foliage, stem and root interrelations in young loblolly pine. *Forest Science* 31: 891-898.
- Kopp H., Pryor D., Behling H., 2002: Digital Hemispherical Imaging System for the Analysis of Light Environments under Forest Canopies. Presentation N°. S5. University of Applied Sciences and Arts - Department of Electrical Engineering and Information Technology, Erfurt. <http://www.colorlite.de/Solariscope.pdf>
- Kucharik C.J., Norman J.M., Gower S.T., 1998a: Measurements of branch area and adjusting leaf area index indirect measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 91: 69-88.
- Kucharik C.J., Norman J.M., Gower S.T., 1998b: Measurements of leaf orientation, light distribution and sunlit leaf area in a boreal aspen forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 91: 127-148.



- Martens S.N., Ustin S.L., Rousseau R.A., 1993: Estimation of tree canopy leaf area index by gap fraction analysis. *For. Ecol. Mgmt.* 61: 91-108.
- Megumi I., 2004: Automatic thresholding for digital hemispherical photography. *Can. J. For. Res./Rev. Can. Rech. For.* 34(11): 2208-2216.
- Planchais I., Pontailler J.-Y., 1999: Validity of leaf areas and angles estimated in a beech forest from analysis of gap frequencies, using hemispherical photographs and a plant canopy analyzer. *Ann. Sci. For.*, Vol. 56 nr 1: 1-10.
- Robakowski P., 2003: Retrospektywna analiza przyrostów sadzonek jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) rosnących pod okapem różnych gatunków drzew w Karkonoskim Parku Narodowym. *Sylvan* 1: 41-50.
- Robakowski P., Modrzyński J., Niemczyk M., Zwaduch P., 2000: Ażurowość i fotosyntetyczna gęstość strumienia fotonów w drzewostanach z odnowieniem jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.). *Opera Corcon-tica* 36: 506-510.
- Robakowski P., Wyka T., Samardakiewicz S., Kierzkowski D., 2004: Growth, photosynthesis, and needle structure of silver fir (*Abies alba* Mill.) seedlings under different canopies. *For. Ecol. a. Manage.* 2004. Vol. 201, nr 2/3: 211-227.
- Wagner S., 1994: Strahlungsschätzung in Waldern durch hemisphärische Fotos. *Ber. Forsch. Waldökosyst.*, Bd. 123: 1-169.
- Walter J.M.N., Himmler C.G., 1996: Spatial heterogeneity of a Scots pine canopy: an assessment by hemispherical photographs. *Can. J. For. Res.*, Vol. 26, nr 9: 1610-1619.
- Wang Y.S., Miller D.R., Welles J.M., Heisler G.M., 1992: Spatial variability of canopy foliage in an oak forest estimated with fisheye sensors. *For. Sci.*, Vol. 38, nr 4: 854-865.

#### Źródła internetowe:

- <http://dpfwiw.com/ir.htm>  
<http://users.utu.fi/hlehto/photo/optics/ir20d.shtml>  
<http://www.cocam.co.uk/CoCamWS/Infrared/INFRARED.HTM>  
[http://www.dpreview.com/reviews/specs/Canon/canon\\_eos20da.asp](http://www.dpreview.com/reviews/specs/Canon/canon_eos20da.asp)  
<http://www.jr-worldwi.de/photo/intro.html>  
<http://www.licor.com>  
<http://www.lifepixel.com/IR.htm>  
<http://www.lrgb.com/20d.html>

#### Summary

*The main aim of the study is to discuss basic assumptions of taking hemispherical photographs in the context of their practical use in forest inventory. The work encompasses methodology of taking digital hemispherical photographs.*

*Hemispherical photographs are most often taken for research on ecological conditions of plants. Usually the aim of such research is to obtain information on the amount of light which reaches selected height above the ground. It is important to observe a few rules in taking photographs (overcast, camera leveling, sensitivity, shutter speed, maximum resolution). The best equipment for this purpose is a digital reflex camera and fish-eye lens with the angle 180°. Another solution is a digital reflex camera smaller than 35 mm with suitable converter which together with lens will allow to obtain circular photo with retained angle of 180°.*

*Gap Light Analyzer and WinSCANOPY are the most frequently used software packages for analysis of hemispherical photos.*

*The following elements are expected to be determined as a result of analyses based on hemispherical photographs:*

- absolute amount of light registered at measurement levels,
- crown density structure,
- spatial variability of stand foliage,

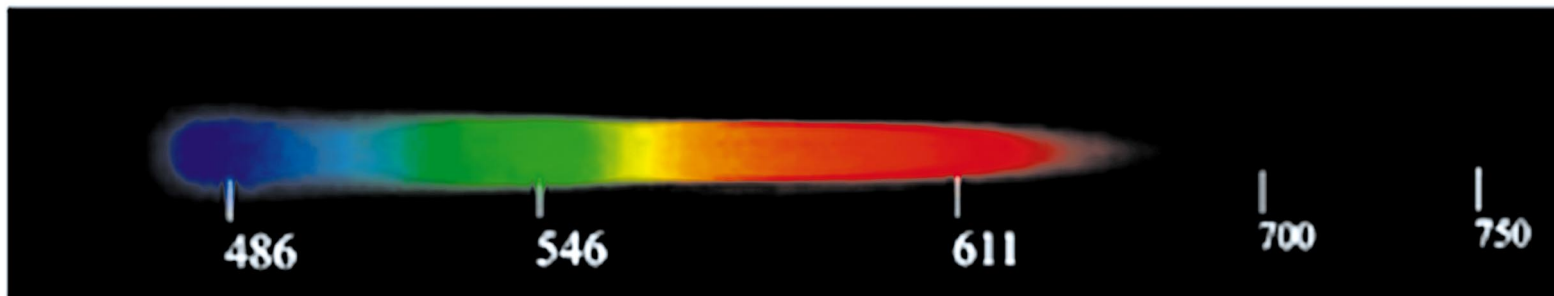
- leaf area index,
- general description of crowns (crowns deformation, viability of lateral shoots)
- the condition of assimilatory organs (number of annuals, crown light and decrement of assimilatory organs, distortion and discoloration of assimilatory organs)
- relationship between tree density and natural regeneration

*The following attempts will be undertaken with the use of hemispherical photos:*

- to estimate biomass of assimilatory organs,
- to estimate density of photons flow in the process of photosynthesis under canopies and in gaps of stand,
- to register the infrared scope of radiation (in order to examine assimilation organs in stands),
- to prepare a photomap of canopies.

*The study encompasses a brief review of literature, a list of possible devices with basic software.*

dr inż. Paweł Strzeziński  
strzelin@au.poznan.pl  
<http://www.au.poznan.pl/kul/>  
tel. (0-61) 848 76 67, 76 62

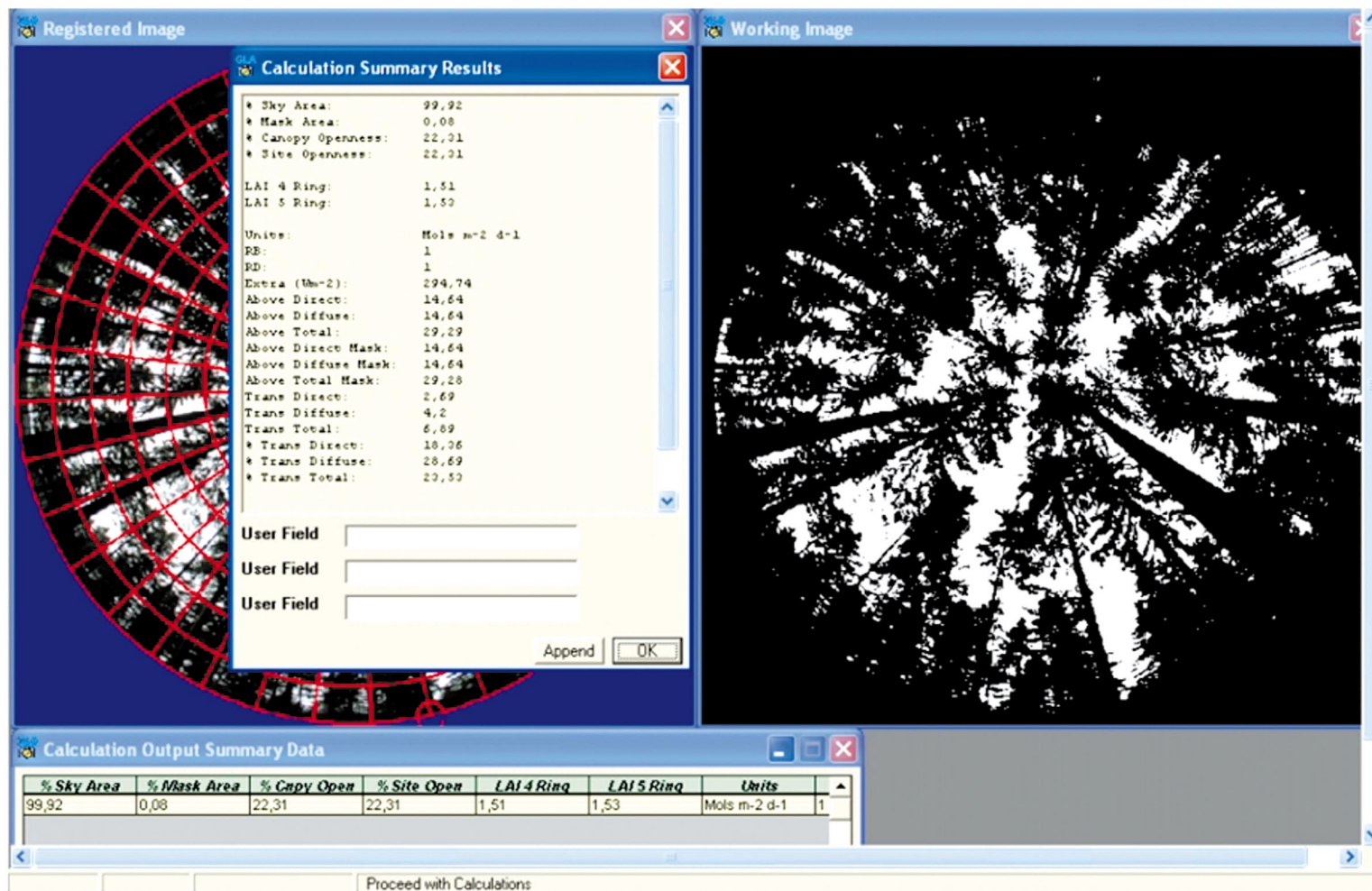


A – spektrum barwne lampy halogenowej rejestrowane przez kamerę Canon EOS 20D



B – spektrum barwne lampy halogenowej rejestrowane przez kamerę Canon EOS 20D z filtrem B+W 092

**Rys. 3.** Różnice w zakresie długości fali rejestrowanej przez kamerę Canon EOS 20D; źródło: <http://users.utu.fi/hlehto/photo/optics/ir20d.shtml>



Rys. 4. Przykład analizy zdjęcia hemisferycznego wykonywanej w programie Gap Light Analyzer v.2.0 – obliczenia podstawowych parametrów