

# **Cercetări privind posibilitatea de utilizare a aeronavelor fără pilot în amenajarea pădurilor și determinarea unor caracteristici privind biodiversitatea ecosistemelor forestiere**

## **- Rezumat -**

Fotografia aeriană a început să fie utilizată în jurul anilor 1860 și la început realizată prin utilizarea baloanelor cu aer cald, iar apoi a urmat o perioadă în care aparatele de fotografiat au fost ridicate cu ajutorul zmeilor, porumbeilor și a rachetelor, iar ulterior aparatele de zbor și-au dovedit superioritatea pe timpul ambelor războaie mondiale. După anii 1950, au apărut și primele aeronave fără pilot, având o principală aplicabilitate militară, în misiuni precum: recunoaștere, supraveghere sau spionaj. Capacitățile acestora în domeniul civil au apărut în ultimul deceniu și s-a dezvoltat rapid în aplicații precum agricultura de precizie, inspecția construcțiilor industriale, monitorizarea traficului, managementul situațiilor de urgență și mai mult experimental în domeniul silviculturii.

Aeronavele fără pilot, diferențiate în sens larg, ca: multirotor și aripă fixă, suportă montarea a unuia sau a mai multor tipuri de senzori precum: senzori din spectrul vizibil, infraroșu apropiat, infraroșu termal, radar, LiDAR etc., senzori frecvenți utilizați în aplicațiile civile.

În prezenta lucrare a fost utilizată o aeronavă fără pilot de tipul celor multirotor, cu senzori în spectrul vizibil, din sectorul comercial, având un cost redus și fiind ușor accesibilă oricărui silvicultor.

Analiza orientată pe obiecte este o metodă tot mai des utilizată în teledetecție ce grupează pixelii în obiecte omogene care pot avea diferite forme, mărimi și informații cognitive asociate, fapt ce duce la o îmbunătățire semnificativă a clasificărilor datelor rezultate. Segmentarea și clasificarea reprezintă principalele procese ale analizei orientate pe obiecte, primul constă în împărțirea unei imagini în regiuni separate, respectiv obiecte de omogenitate ridicată, iar cel de-al doilea proces clasifică aceste obiecte în clase care corespund lumii reale. Procesele pot fi aplicate pe o multitudine de tipuri de date și la diferite rezoluții, având adesea succes în domenii precum medicina, teledetecția, modul de utilizare a terenului ș.a.

Coronamentul arborilor reprezintă un indicator ecologic important datorită multitudinii de ipostaze și de tipuri de microclimate create prin modul în care lumina și alți determinanți climatici pătrund în interiorul pădurii. La nivelul acestuia, se produc modificări substanțiale în ceea ce privește regimul de penetrație și recepție al razelor solare spre sol, cât și cel al radiațiilor termice de la sol spre atmosferă. Aici, golurile din coronament influențează direct regenerarea puieților și diversitatea biotică, în special prin mărimea, complexitatea formei și distribuția acestora în cadrul arboretului.

Consistența arboretelor reprezintă un element important atât în cadrul lucrărilor de amenajare a pădurilor, prin amprenta pe care o lasă estimărilor volumelor din arboretele tinere și nexploatabile, dar și în cadrul lucrărilor silvotehnice sau a tratamentelor ce sunt aplicate arboretelor exploatabile. Pe lângă importanța consistenței în domeniul silvic, studii în diferite domenii precum: hidrologie, schimbări climatice, ciclul carbonului sau al nutrienților necesită estimări precise ale indicilor de consistență.

În silvicultura din România, în cursul aplicării tratamentelor silvice, este necesar un calcul precis al volumului pe picior, iar acesta este direct influențat de măsurătorile înălțimilor arborilor. În studiile recente, înălțimile arborilor și înălțimea medie a arboretului sunt calculate pe baza unui model digital al înălțimii arboretului, rezultat adesea ca diferență dintre modelul digital al suprafeței coronamentului și modelul digital al terenului. Pentru obținerea unui model digital al terenului precis se utilizează de cele mai multe ori măsurătorile terestre cu ajutorul stațiilor totale, a tehnologiei sistemelor de poziționare globală GPS sau tehnologia LiDAR, cea din urmă necesitând filtrări complexe în vederea obținerii punctelor la sol. Luând în considerare că datele LiDAR sunt costisitoare și greu accesibile în România, iar măsurătorile terestre sunt extrem de consumatoare de timp și ineficiente în pădure, utilitatea unei aeronave fără pilot de cost redus devine una importantă.

Principalul scop al lucrării este acela de a aduce contribuții cu privire la posibilitatea de utilizare a aeronavelor fără pilot în două subdomenii ale silviculturii, cea de amenajare a pădurilor și în determinarea unor caracteristici privind biodiversitatea ecosistemelor forestiere, acestea fiind totodată prezentate în două capitole distincte. Primul capitol, legat de amenajarea pădurilor, are ca obiective principale:

- Determinarea indicelui de consistență a arboretelor cu ajutorul aeronavei fără pilot, a programelor open-source și elaborarea unui model semi-automat ce utilizează UAV și OBIA pentru acest scop.
- Determinarea înălțimii arborilor și a înălțimii medii a arboretelor. Studiul de caz este reprezentat de un arboret, aflat în cursul aplicării tratamentului de tăieri progresive, având consistența redusă, în cadrul căruia a fost aplicată o metodă de determinare a înălțimii fiecărui arbore și a înălțimii medii a arboretului.

Cel de-a doilea capitol, cu privire la determinarea unor caracteristici privind biodiversitatea ecosistemelor forestiere, are următoarele obiective:

- Măsurarea golurilor și a coroanelor din plafonul superior și determinarea caracteristicilor acestora pe bază de imagini aeriene obținute cu ajutorul UAV, iar apoi printr-un model semi-automat elaborat în acest sens, ce integrează analiza orientată pe obiecte.
- Compararea rezultatelor, obținute prin metoda elaborată, din cadrul a două arborete distincte din punct de vedere al managementului, dar similare în ceea ce privește prioritizarea biodiversității, în vederea sublinierii posibilității de evaluare, monitorizare și conservare a biodiversității ecosistemelor forestiere prin astfel de mijloace.

#### **Determinarea indicelui de închidere orizontală ( $I_{io}$ ) al arboretelor utilizând o aeronavă fără pilot**

Indicelui de închidere orizontală a fost determinat în cadrul unui arboret amestecat de gorun (*Quercus petraea*) și cer (*Quercus cerris*) aflat în M-ții Zarandului, Ocolul Regal Silvic (O.R.S.) Săvărsin, arboretul fiind parcurs cu tăieri progresive. Determinarea rezultată a fost comparată cu măsuratoarea in-situ care a vizat calculul indicelui de densitate după volum, iar diferențele dintre cele două determinări au fost de sub 1%, fapt ceea ce a indicat că metoda aplicată este una viabilă. Câteva remarci au fost făcute cu privire la avantajele și dezavantajele celor două metode, pe baza costurilor echipamentelor, a timpilor de lucru și a personalului necesar.

#### **Elaborarea unui model semi-automat de determinare a indicelui de închidere orizontală ( $I_{io}$ ) al arboretelor bazat pe o aeronavă fără pilot și analiza orientată pe obiecte**

Modelul elaborat a fost denumit MoSADIC (Model Semi-Automat de Determinare a Indicelui de Consistență), și a fost creat pe baza datelor dintr-un arboret amestecat de fag (*Fagus sylvatica*) și gorun (*Quercus petraea*) localizat în sud-vestul zonei deluroase a munților Poiana Ruscă, județul Timiș. Unitatea amenajistică studiată a fost împărțită în două suprafețe de lucru, una pentru elaborarea, iar cealaltă pentru validarea modelului. Arboretul are o vârstă medie de peste 100 de ani, iar consistența este semnificativ redusă din cauza tratamentelor progresive aplicate și în curs de derulare.

Validarea modelului s-a făcut pe baza comparării rezultatelor cu un strat de referință, obținut prin clasificarea manuală pe baza interpretării vizuale a fiecărui obiect din suprafața de lucru desemnată validării, iar ulterior indicii calculați au fost comparați cu cei determinați prin măsurători in-situ, din cadrul a 32 de suprafețe circulare de probă.

Abordarea a redat rezultate promițătoare, cu o acuratețe generală de 97,5% față de stratul de referință, iar diferențele față de metoda clasică terestră fiind de 1,88%, respectiv 0,82% pentru cele două suprafețe de lucru. Avantajul cel mai important îl reprezintă, pe lângă determinarea consistenței, caracterul spațial pe care îl dobândesc zonele cu goluri sau coroane prin aplicarea modelului, fapt ce ușurează planificarea lucrărilor silviculturale viitoare.

### **Determinarea înălțimilor arborilor și a înălțimii medii a arboretelor utilizând o aeronavă fără pilot**

Determinarea înălțimilor arborilor și a înălțimii medii a arboretului a fost efectuată într-un arboret aflat în cursul tratamentului de tăieri progresive, având consistența redusă, fapt ce duce la obținerea cu ușurință a punctelor de cotă la sol, și unde adesea este necesară o determinare rapidă și precisă a înălțimilor pentru calculul volumelor lemnoase.

Măsurători terestre *in-situ* au fost efectuate pentru toți arborii din zona de lucru, iar diferențele între cele două tipuri de măsurători au variat de la -2,13m la +4,45 metri, 24 de arbori fiind subestimați, iar 50 fiind supraestimați. Erori sub 2 m ( $\sim 7\%$  din  $\overline{h}_m$ ) s-au regăsit în 81% din cazuri, iar sub 1 m ( $\sim 3,5\%$  din  $\overline{h}_m$ ) în 53% din cazuri. La calculul  $\overline{h}_m$ , diferența dintre cele două metode a indicat o supraestimare de  $\sim 2\%$  (0,59 m) a metodei bazate pe datele aeronavei fără pilot.

Așadar, rezultatele sunt satisfăcătoare în determinarea înălțimii medii a arboretului, dar pentru a atinge preciziile uzuale la măsurarea arborilor individuali și pentru a deveni o metodă de bază în situațiile din producție, sunt necesare îmbunătățiri viitoare, mai ales la determinarea punctelor de cotă de la baza arborilor. Se recomandă ca metoda să fie aplicată în arboretele unietajate, supuse tratamentelor silvice, având consistența și panta redusă, sau chiar pe teren plan. Particularitatea acestor cerințe, împreună cu necesitatea de a lucra cu personal cu calificări superioare, reprezintă principalele limitări și dezavantaje ale metodei prezentate.

### **Măsurarea golurilor și a coroanelor din plafonul superior și determinarea caracteristicilor acestora utilizând o aeronavă fără pilot**

Aceste măsurători și determinări ale caracteristicilor golurilor și coroanelor reprezintă experimente pentru extragerea informațiilor ce pot fi mai târziu utilizate în diversele evaluări și monitorizări cu privire la biodiversitatea ecosistemelor forestiere, fapt reflectat de recente descoperiri ce vizează corelațiile între indicii de complexitate a formei golurilor și bogăția ecosistemelor forestiere în numărul de specii pe care îl dețin.

Arboretul studiat, în suprafață de 3,9 ha, este situat în cadrul rezervației naturale "Izvoarele Nerei" din Parcul Național Semenic – Cheile Carașului, județul Caraș-Severin, și are vârsta medie de peste 300 de ani. Ortomozaicul, creat din imaginile aeriene, a stat la baza vectorizării poligoanelor geospațiale ale golurilor și coroanelor arborilor din plafonul superior, pe baza cărora s-au calculat caracteristicile golurilor (aria, perimetrul, raportul perimetru-arie, circularitatea, indicele de complexitate a formei golurilor, centrul de greutate) și coroanelor (aria, perimetrul, centrul de greutate). Totodată, o analiză spațială a tiparelor s-a efectuat pentru pozițiile determinate pe baza centrului de greutate al poligoanelor. Astfel, au fost determinate un număr de 248 de goluri și 704 coroane, indicele  $I_{io}$  a indicat o valoare de 0,8157, iar distribuția spațială, atât a golurilor cât și a coroanelor, au raportat un tipar regulat (dispersat). Valorile  $I_{cfg}$  au redat complexitățile ale formelor golurilor cuprinse între 4% și 267%, având o medie generală de 70%.

Utilizarea unei aeronave fără pilot în cartarea și măsurarea golurilor de mici dimensiuni ( $< 1m^2$ ), reprezintă o abordare eficientă și de viitor comparativ cu cartarea clasică terestră ce ar fi necesitat mai multe resurse și timp pentru rezultate similare. Prezentele determinări și distribuții spațiale pot fi utilizate în viitor ca referințe în vederea analizelor spațio-temporale ale dinamicii golurilor din rezervația naturală "Izvoarele Nerei", iar corelarea indicilor  $I_{cfg}$  cu indicii de biodiversitate poate duce la o ușoară monitorizare și prevenire a pierderii biodiversității din ecosistemele forestiere.

### **Elaborarea unui model semi-automat de determinare a caracteristicilor coroanelor și golurilor acestora utilizând o aeronavă fără pilot și analiza orientată pe obiecte**

Modelul semi-automat de determinare a caracteristicilor coroanelor și golurilor are la bază analiza orientată pe obiecte, iar datele de intrare sunt reprezentate de ortomozaicurile create din imaginile aeriene achiziționate cu ajutorul aeronavei fără pilot. Aceste imagini au fost captate în cadrul a 6 suprafețe de probă circulare a câte un hectar, aflate în rezervația „Izvoarele Nerei” și situate din punct de vedere altitudinal pe două nivele: 1200 m, respectiv 1350 m. Rezultatele modelului au fost comparate cu măsurătorile in-situ efectuate în trecut, între anii 2004-2006, de către I.N.C.D.S “Marin Drăcea”, stațiunea Timișoara.

La determinarea caracteristicilor coroanelor, modelul a detectat 74% dintre coroanele arborilor din suprafețele de probă, existând astfel o limitare datorată pădurii naturale prin structura verticală complexă și frecvențele cazuri de înfurcire, bifurcare și suprapunere a coroanelor arborilor (39% din aria coroanelor se suprapune în cazul de față).

Un număr total de 1060 de goluri au fost detectate de model în cele 6 suprafețe studiate, media fiind de 177 goluri/ha, cu variații cuprinse între 112 și 220 goluri/ha, de la o suprafață de probă la alta. Golul mediu are aria de 9,2 m<sup>2</sup>, perimetrul de 25,6m, diametrul de 2,3 m, raportul perimetru-arie de 7,1, circularitatea de 0,18 și complexitatea formei de 176%. Astfel, consistența medie redată de model în cele 6 suprafețe de probă a indicat o valoare de 0,8378, cu variații de la un plot la altul de la -6,88% până la +9,51%, tenta generală de a supraestima consistența fiind de 2,57% față de măsurătorile din teren.

În viitor, aplicații dezvoltate pe baza prezentului model pot viza cu ușurință: dinamica și analiza spațio-temporară a golurilor din coronament, precum și evaluarea, monitorizarea și prevenirea pierderilor biodiversității din rezervația naturală „Izvoarele Nerei”.

### **Comparație, pe baza determinărilor efectuate cu ajutorul aeronavei fără pilot, între un arboret de fag și stejar din pădurea gospodărită pe bază de amenajament silvic și arboretul natural de fag din rezervația “Izvoarele Nerei”**

În această parte a lucrării, rezultate din arboretul de fag situat în rezervația “Izvoarele Nerei” au fost comparate cu cele ale unui arboret amenajat, mixt, de fag și stejar, gestionat în ultimele decenii pe baza extragerii selective a arborilor în vederea promovării biodiversității ecosistemului forestier. Determinările au fost efectuate conform metodologiei descrise anterior. Astfel, golurile din coronamentul arboretului gestionat au raportat valori crescute ale complexității formei de la 5% până la 487%, media fiind de 78%, iar cele din arboretul natural de fag au redat valori cuprinse între 4% și 267%, media fiind de 70%.

În arboretul natural “Izvoarele Nerei” se regăsesc un număr de goluri și coroane per hectar de aproximativ două ori mai mare ca în cel amenajat, iar distanțele medii observate dintre goluri sunt mai scurte cu 31,5% și 26,9% pentru coroane. Indicele de agregare  $I_{CE}$  este mai mare, atât pentru goluri cât și pentru coroane, în cazul arboretului natural “Izvoarele Nerei”.

La compararea indicilor de consistență ai celor două arborete s-a putut observa o consistență mărită cu aproximativ 7% în favoarea arboretului natural.

Din punctul de vedere al complexității formei golurilor, indicii  $I_{c_{fg}}$  medii (1,78 și 1,70) au raportat valori similare pentru ambele arborete, ceea ce semnifică faptul că arboretul amenajat tinde să se asemene cu arboretul din pădurea naturală în ceea ce privește biodiversitatea. Valorile ridicate ale acestor indici sugerează faptul că în aceste ecosisteme forestiere se găsesc un număr ridicat de specii.

Această lucrare aduce contribuții cu privire la posibilitatea de utilizare a aeronavelor fără pilot în amenajarea pădurilor și în determinarea unor caracteristici privind biodiversitatea ecosistemelor forestiere.

# **Research on the possibility of using unmanned aerial vehicles in forest planning and in the determination of features on biodiversity of forest ecosystems**

## **- Abstract -**

Aerial photography began around the 1860s using hot air balloons, then followed by a period in which cameras have been raised with kites, pigeons and missiles and then after 1909, aircrafts have proven their superiority during both world wars. After the 1950s, unmanned aerial vehicles (UAV) appeared, having a major military applicability in missions such as exploration, surveillance or spying. Their civilian capabilities have emerged over the past decade and have rapidly grown in applications such as precision farming, industrial construction inspection, traffic monitoring, emergency management and experimentally in forestry.

Unmanned aerial vehicles, largely differentiated into multicopter and fixed wing, support the installation of one or more types of sensors: in the visible spectrum, near infrared, thermal infrared, radar, LiDAR etc., sensors which are frequently used in civilian applications.

In the current paper, a low-cost commercial UAV, quadcopter type, with sensors in the visible spectrum (RGB), which is easily accessible to any forester.

Object-based image analysis (OBIA) is an increasingly used method in remote sensing, which groups pixels in homogeneous objects that can have different shapes, sizes and cognitive associated information, leading to a significant improvement of resulting classified data. Segmentation and classification are the main processes of object-based image analysis. The former consists of dividing an image into separate regions - objects of high homogeneity - and the latter process classifies these objects into classes that correspond to reality. . These processes can be applied to a multitude of data types and different resolutions, often with successful results in areas such as medicine, remote sensing, land use and many others.

Forest canopy cover is an important ecological indicator due to the multitude of microclimates which are created when the light enters into the forest. At the forest canopy level, substantial changes are produced in the ecosystems by the way that the incoming light is received at the ground level, as well as the thermal radiation is reflected from the ground into the atmosphere. Here, the canopy gaps directly influence the regeneration and understory biota diversity, especially through the size, shape, complexity and their distribution within the stands.

The percentage canopy cover (PCC) of the stands is an important element both in forest planning processes, by its importance in the estimation of the volumes of the young stands which are not included in the cutting process, but also in other silvicultural works or the treatments applied to the older exploitable stands. In addition to the importance of forest canopy cover, studies in different areas such as hydrology, climate change, carbon cycle or nutrients require accurate estimates of canopy cover indices.

In Romania's forestry, an accurate calculation of the stand's volume is required, especially during forest treatments, which is directly influenced by the tree height measurements. In recent studies, tree heights and the mean height of the stand are calculated based on a canopy height model (CHM), often resulting as a difference between the digital surface model (DSM) at the top level of trees and the digital terrain model (DTM). In order to obtain a precise digital terrain model, surveys are often done with total stations, global positioning systems (GPS) or LiDAR technologies, the latter requiring complex filtering to obtain ground points in forest. Taking into account that LiDAR data is difficult to obtain in Romania, and terrestrial measurements are extremely time-consuming and inefficient in the forest, the use of an accessible low-cost UAV becomes an important one.

The main purpose the current study is to bring contributions regarding the possibility of using unmanned aerial vehicles (UAV) in two subdomains of forestry: forest planning and the determination of features in forest

ecosystems' biodiversity, which are structured into two separate chapters. The first chapter, related to forest planning, has the following main objectives:

- Determination of canopy cover index of stands using an unmanned aerial vehicle, open-source programs and the development of a semi-automatic model using UAV and OBIA on this matter.
- Determination of individual tree heights and the mean height of stands. The case study is represented by a stand which is included in the shelterwood cutting process, with a significantly reduced canopy cover, where an UAV-based method can easily be applied.

The second chapter, concerning the determination of certain characteristics regarding the biodiversity of forest ecosystems has the following objectives:

- Measuring the canopy gaps and tree crowns in the upper tree layer and determining their parameters based on aerial images obtained with UAV and then using a semi-automated model developed that integrates object-based image analysis in this matter.
- Comparing two distinctly managed stands that are similar in terms of biodiversity prioritization based on the results obtained using the current method, in order to emphasize the possibility of evaluation, monitoring and conservation of forest ecosystems' biodiversity with such approach.

### **Determination of the forest canopy cover using an unmanned aerial vehicle**

The canopy cover index was determined in a mixed stand of durmast oak (*Quercus petraea*) and turkey oak (*Quercus cerris*) in the Royal Forest District of Săvârșin, Zarand Mountains, Arad county, Romania. Here, the canopy cover is reduced due the shelterwood cutting works made. The results have been compared with the *in-situ* measurements and the two types of determination reported differences under 1%, which indicated that the applied method was appropriate. Some remarks have been made about the advantages and disadvantages of the two methods based on the costs of equipment, man hours and required personnel.

### **Elaboration of a semi-automatic UAV&OBIA-based model used for canopy cover determination of forest stands**

The developed model, called MoSADIC (Semi-Automatic Consistency Index Determination Model), was created based on data collected in a study area that consists in a mixed beech (*Fagus sylvatica*) with durmast oak (*Quercus petraea*) stand, located in the southwest hilly area of Poiana Ruscă Mountains, Timiș county. The study area was divided into two working plots, one for the elaboration and the other one for the validation of the model. The stand has an average age of over 100 years and its canopy cover is significantly reduced due to ongoing shelterwood cutting process.

Model validation was based on comparing the results with a reference layer obtained by visual interpretation and manual classification of each object in the plot designated for validation and subsequently calculated indices were compared with those determined by *in-situ* measurements, within 32 circular sample areas.

The method delivered promising results with an overall accuracy of 97.5%, compared to the reference layer and differences against the classical terrestrial method of 1.88% and 0.82%, for the two plots. The most important advantage is, in addition to determining the percentage canopy cover (PCC), the spatial character of the canopy cover, consisting in areas of gaps or crowns that are mapped, which makes it easier to plan future forestry works.

### **Determination of individual tree heights and mean height of stands using an UAV**

The height of each tree, together with mean height, were calculated in a study area consisting in a stand with undergoing shelterwood treatment, where fast and accurate measurements of heights are needed for volume estimation, and where the reduced canopy cover leads to accesible ground points with current equipment.

Ground-based *in-situ* measurements were performed for all trees in the study area and the differences between the two methods ranged from -2.13m to +4.45m , 24 trees were underestimated and 50 were overestimated. Errors under 2m (~7% of the mean height) were found in 81% of cases and under 1m (~3.5% of the mean height ) were found in 53% of cases. At the calculation of  $\overline{h}_m$  (mean height) the difference between the methods indicated an overestimation of ~2% (0.59m) of the UAV-based one.

Therefore the results are satisfying for the determination of mean height of the stand, but in order to achieve the common accuracies in measuring each tree, the method needs future improvements, especially when determining the elevation of points at the base of trees, in order to become a basic production method. Also, it is recommended that the method should be applied in even-aged or single storied stands with flat terrain or reduced sloped, that are mainly subject to cuttings and have a reduced canopy cover. The particularity of these requirements, together with the need of high qualified staff, are the main limitations and disadvantages of the presented method.

### **Measuring canopy gaps, tree crowns in the upper layer and determining their parameters using an UAV**

The measurements of canopy gaps and tree crowns represent experiments regarding forest information extraction that can be later used in a variety of situations such as: biodiversity assesment, monitoring or conservation, which are reflected in recent discoveries of correlations between gap shape complexity index (GSCI) and the richness of species in forest ecosystems.

The study area consists of 3.9 hectares, located in the "Izvoarele Nerei" Reserve of the National Park Semenic – Cheile Caraşului, Caraş-Severin County, within a pure-beech stand with average age of over 300 years. The orthomosaic created from the aerial images was the base of geospatial polygons delineation of canopy gaps and tree crowns, on which the calculations of gap parameters (area, perimeter, perimeter-area ratio, the circularity index, the gap shape complexity index, the center of gravity) and tree crowns (area, perimeter, center of gravity) was made. At the same time, spatial pattern analysis was performed for positions determined based on the center of gravity of the polygons. Thus, a total of 248 canopy gaps, 704 tree crowns and 81,57% PCC were determined. Also, the spatial distribution of both gaps and crowns reported regular (dispersed) patterns.

The values of the GSCI reported complexities of gaps ranging between 4% and 267%, with an average of 70%.

The use of unmanned aerial vehicles in mapping and measuring small canopy gaps (<1 m<sup>2</sup>) is an effective approach comparing to classical terrestrial mapping that would have required more time and resources for similar results. These spatial determinations and distributions may be eligible for use as a reference for future spatial analisys and temporal dynamics of canopy gaps in the "Izvoarele Nerei" Reserve and together with the correlation of GSCI with biodiversity indices can lead to an efficient and easy monitoring and prevention of biodiversity loss in forest ecosystems.

### **Elaboration of a semi-automatic model that determinates canopy gaps, tree crowns and their parameters using UAV and OBIA**

The semi-automatic model that determinates canopy gaps, tree crowns and their parameters is based on OBIA, where the input data is represented by the ortomosaics which are created from imagery acquired using UAV. These images were captured for 6 circular plots, of one hectare each, located in the "Izvoarele Nerei" Reserve, on two levels of altitude: 1200 m and 1350 m. The results of the model were compared with the *in-situ* measurements carried out in the past, between 2004-2006, by the I.N.C.D.S. "Marin Drăcea", staţiunea Timişoara.

The model detected 74% of the tree crowns from the sample plots, thus there is a limitation given by the complex vertical structure of the natural forest, with frequent cases of bifurcation and overlapping crowns in the canopy (39% of the area with crowns had overlaps inside).

A total number of 1060 canopy gaps have been detected in the 6 sample plots, the average being 177 gaps per hectare, with variations between 112 and 220 gaps per hectare. The representative average gap has the area

of 9.2 m<sup>2</sup>, the perimeter of 25.6 m, the diameter 2.3 m, the perimeter-area ratio of 7.1, the circularity of 0.18 and a shape complexity of 176%. Thus, the average PCC returned by the model in the plots indicated a value of 83.78%, with variations from one plot to another from -6.88% to + 9.51%, with the general tendency of overestimation with 2.57% of the PCC measured in-field.

In the future, applications developed based on this model can easily target : dynamics and spatial-temporal analysis of the canopy gaps, as well as assessment, monitoring and prevention of biodiversity loss in the "Izvoarele Nerei" Nature Reserve.

### **Comparison based on UAV measurements between a managed stand of beech and oak and the natural pure-beech stand of "Izvoarele Nerei" Reserve**

In this part of the work results from two stands were compared: one represented by the natural beech stand, located in the "Izvoarele Nerei" Reserve, the second one represented by a mixed beech and oak stand in a managed forest. Here, the management in the last decades was based on selective cuttings with the promotion of the biodiversity of the forest ecosystem. Measurements were carried out according to the methodologies described in the previous chapters. Thus, the canopy gaps in the managed stand have reported increased complexity of shape from 5% to 487%, the average being of 78%, and those from the natural beech stand ranged from 4% to 267%, the average being 70%.

In the natural reserve stand were found about twice the number of canopy gaps and tree crowns per hectare compared to the managed stand, and the observed mean distances between the canopy gaps are shorter with 31.5% and with 26.9% for the tree crowns. The aggregation index ( $I_{CE}$ ) is higher for both the canopy gaps and the tree crowns in the case of the natural reserve stand.

When comparing the percentage canopy cover of the two stands, the natural stand reported an increased value with about 7%.

From the point of view of gap shape complexity, the average GSCI (1.78 and 1.70) reported similar values for both stands, which means that the managed stand tends to resemble the natural one in terms of biodiversity. The high levels of these indices suggest that a high number of species live in these forest ecosystems.

This paper makes contributions on the possibility of using an unmanned aerial vehicle in forest planning and in determining some characteristics regarding forest ecosystems' biodiversity.