

## MOŽNOSTI EXTRAKCIE PARAMETROV KORÚN LESNÝCH STROMOV S VYUŽITÍM NÁSTROJOV GEOINFORMATIKY A ICH VZŤAH K RASTOVÉMU PROCESU

Zuzana Mozoľová

GITech, s.r.o., Buzulucká 3, 960 13 Zvolen, [mozolova@gitech.sk](mailto:mozolova@gitech.sk)

### Abstract

In the paper are introduced some possibilities of tree crown parameters extraction. Using new technologies as GIS or remote sensing, it is possible to extract these parameters in more time and cost effective way. New trends of forest mapping and monitoring confirm the growing trend of these technologies use in forestry practice, too.

### Key words

FieldMap, GIS, laser scanning, remote sensing, tree crown

### 1. Úvod

Informácia o štruktúre koruny a o jej súvislosti s rastom kmeňa je z hľadiska hospodárskej úpravy lesov veľmi významná. Zachytený tvar koruny umožňuje spätný pohľad na predchádzajúce hospodárske opatrenia (Mitscherlich, 1970 in Hussein a Albert, 1999) a jednotlivé parametre koruny sú v úzkom vzťahu s výškovým ahrúbkovým rastom (MAGUIRE a HANN, 1989; LÄSSIG, 1991; GADOW a HUI, 1997; VAN LAAR a AKCA, 1997; ÍTÔ ET AL., 1997 in HUSSEIN a ALBERT, 1999).

Nástupom nových technológií, za ktoré možno označiť geografický informačný systém (GIS) a diaľkový prieskum Zeme (DPZ) sa v podstatnej miere zjednodušila činnosť okolo pracovného zberu údajov o lese, čím došlo vo významnej miere k skráteniu času ako aj k zníženiu nákladov na ich získanie.

### 2. Geoinformatika a GIS

Vo svete, ale aj v u nás doma vzniklo viacero definícií termínu „geoinformatika“.

Podľa definície Českej asociácie pre geoinformácie je geoinformatika (geomatika, geoinformačná veda) „vedecký a technický interdisciplinárny odbor, zaoberajúci sa získavaním, ukladaním, integráciou, analýzou, interpretáciou, distribúciou, vizualizáciou a využívaním geodát a geoinformácií pre potreby rozhodovania, plánovania a správy zdrojov“.

Definovaná je aj ako geoinformačná veda, ktorá sa zameriava na vývoj a aplikáciu metód pre riešenie špecifických problémov v geovedách so špeciálnym dôrazom na geografickú polohu objektov.

Zo slovenských odborníkov definuje PRAVDA geoinformatiku ako „vedeckú disciplínu, ktorá skúma prírodné a socio-ekonomické geosystémy (ich štruktúru, interakciu, dynamiku, fungovanie v časopriestore) pomocou počítačového modelovania na základe databáz a geografických poznatkov.“

Vzhľadom na obsah tohto príspevku je za najvýstižnejšiu označiť definíciu HLÁSNEHO (2007): „Geoinformatika je vedná disciplína, ktorá sa venuje využívaniu geografických

informačných systémov a príbuzných technológií – diaľkového prieskumu Zeme, digitálnej fotogrametrie, globálnych navigačných satelitných systémov a ďalších“.

Za najvýstižnejšiu definíciu GIS možno označiť definíciu (RAPANT 1996): „GIS je funkčný celok vytvorený integráciou technických a programových prostriedkov, údajov, pracovných postupov, obsluhy, užívateľov a organizačného kontextu, zameraný na zber, ukladanie, správu, analýzu, syntézu a prezentáciu priestorových údajov pre potreby opisu, analýzy, modelovania a simulácie okolitého sveta, s cieľom získať nové informácie potrebné na jeho správne využívanie“.

Za základné komponenty GIS sa považuje **hardware** (prac. stanica, PC, vstupné a výstupné zariadenia), **software** (aplikačný software), **geoinformácie**, **obsluha** (personálne zabezpečenie).

Základné funkcie GIS predstavuje zber údajov, manipulácia s dátami, tvorba analýz a vizualizácia.

### 3. Diaľkový prieskum Zeme

Diaľkový prieskum Zeme je umenie, veda a technológia na získavanie spoľahlivých informácií o fyzikálnych objektoch a ich okolí pomocou záznamu, merania interpretácie záznamov, prípadne digitálnych záznamov, ktoré sa získavajú pomocou nekontaktných snímacích systémov. Táto definícia diaľkového prieskumu sa prijala v roku 1988 na konferencii v Kyote v Japonsku roku 1988.

Existuje niekoľko technológií diaľkového prieskumu Zeme, pomocou ktorých je možné extrahovať koruny stromov a určovať ich parametre. Patria medzi ne snímky s vysokým priestorovým rozlíšením, multispektrálne a hyperspektrálne záznamy, laserové skenovanie a radarové dáta.

Každý materiál sa vyznačuje rôznymi charakteristikami napr. vysokým priestorovým, spektrálnym rozlíšením, možnosť nasadenie bez ohľadu na poveternostné podmienky atď. V súčasnosti existuje trend kombinácie viacerých druhov dát s cieľom získať výhody oboch druhov dát, jedná sa napr. o kombináciu dát s vysokým priestorovým rozlíšením s dátami s vysokým spektrálnym rozlíšením. Medzi technológie diaľkového prieskumu Zeme patria radarové senzory zachytávajú odrazené aktívne vysielané elektromagnetické žiarenie od povrchu Zeme, ktoré v sebe nesie informácie o hrúbke povrchu, obsahu vody v materiáloch nachádzajúcich sa na povrchu a tvare povrchu (RAPANT 2006).



**Obrázok č. 1:** snímky zo satelitu IKONOS s priestorovým rozlíšením 89 cm (vľavo) a zo satelitu QUICKBIRD s priestorovým rozlíšením 68 cm (vpravo).

Snímky s vysokým priestorovým rozlíšením sa vyznačujú vysokou priestorovou rozlišovacou schopnosťou, ktorá dosahuje vyššiu presnosť ako 1 meter. Tieto snímky je možné získať pomocou kozmického alebo leteckého snímkovania. Medzi satelity, ktoré snímajú povrch Zeme s vysokým priestorovým rozlíšením patrí satelit IKONOS, ktorý bol vypustený dňa 24.9. 1999. Dáta z tohto satelitu sa začali predávať od 1. 1. 2000. Priestorové rozlíšenie pri panchromatickom snímaní je 0,89 m, pri multispektrálnom snímaní je priestorové rozlíšenie 4 m a pri pan-sharpeningu je priestorové rozlíšenie 1 m. Satelit zabezpečuje monitorovaciu činnosť pre potreby civilnej obrany, telekomunikácií, kartografie, poľnohospodárstva, lesníctva. Ďalším satelitom je satelit QUICKBIRD, ktorý bol vypustený 18. 10. 2001. Priestorové rozlíšenie pri panchromatickom snímaní je 0,68 m, pri multispektrálnom snímaní je priestorové rozlíšenie 2,4 m. V našich podmienkach sa častejšie využíva letecké snímkovanie. Letecké snímkovanie zohráva kľúčovú úlohu v procese lesníckeho mapovania.

Vysoká priestorová rozlišovacia schopnosť leteckých snímok je vhodná na extrakciu korún. V súčasnosti sa využívajú digitálne letecké kamery, ktoré sú vybavené CCD chipom umožňujúcim efektívnejšie snímanie. Digitálne letecké kamery je možné rozdeliť podľa formátu snímania na veľkoformátové, strednoformátové a maloformátové (SAMANT, 2007), podľa princípu snímania je možné ich rozdeliť jednoduché, väčšinou monochromatické a viacnásobné, ktoré využívajú viac nezávislých objektívov na snímanie v rôznych oblastiach spektra. UltraCam<sub>D</sub> je digitálna kamera od rakúskej firmy Vexcel, pomocou ktorej bolo nasnímané územie Vysokoškolského lesníckeho podniku Technickej univerzity vo Zvolene. Digitálna letecká kamera UltraCam<sub>D</sub> bola uvedená v roku 2003 ako priama náhrada analógových leteckých meračských kamier. Kamera obsahuje sadu ôsmich objektívov a 13 plošných CCD senzorov na zhromažďovanie veľkoformátových RGB a NIR snímok.



Obrázok č. 2: Digitálna meračská kamera UltraCam<sub>D</sub>

Multispektrálne a hyperspektrálne snímky sa vyznačujú vysokou spektrálnou rozlišovacou schopnosťou. Multispektrálne záznamy zachytávajú 4 až 8 kanálov v oblasti viditeľného a infračerveného žiarenia. Šírka kanálov vo viditeľnom spektre žiarenia je 70 nm, v infračervenom spektre je šírka kanálov 200 – 300 nm. Hyperspektrálne záznamy zachytávajú niekoľko desiatok až stovák spektrálnych kanálov vo viditeľných a infračervených oblastiach elektromagnetického spektra. Tieto kanály sú veľmi úzke v rozmedzí 1 až 20 nm. Hyperspektrálne záznamy zachytávajú lepšie spektrálne vlastnosti objektov ako multispektrálne záznamy. Nevýhodou hyperspektrálnych záznamov je vysoká náročnosť na hardvér a softvér kvôli veľkému objemu dát. Tieto záznamy sa využívajú napr. pri zisťovaní stavu vegetácie, kde sa môže monitorovať zdravotný stav drevín, obsah

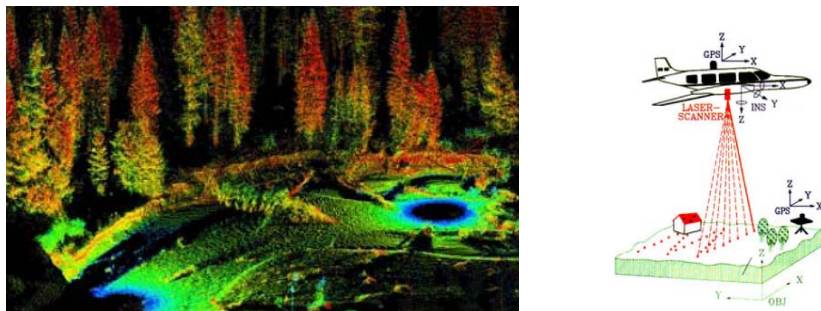
chlorofylu a celulózy atď. Vďaka vyššej spektrálnej rozlišovacej schopnosti sú hyperspektrálne záznamy schopné skôr zachytiť zmeny v zdravotnom stave lesa (ALBRECHTOVÁ a BARRET 2003). Ich vyššia spektrálna rozlišovacia schopnosť sa využíva pri kontrole účinnosti postrekov poľnohospodárskych plodín, zisťovaní rizika vzniku požiarov a ich monitoringu, v geológii pri vyhľadávaní minerálov a typov pôd atď. Medzi hyperspektrálne senzory patrí hyperspektrálny systém AISA od fínskej spoločnosti Specim. Systém sa skladá z hyperspektrálnej hlavy, miniatúrneho GPS snímača, jednotky zberu údajov, výkonného osobného počítača a zdroja elektrickej energie. Snímač pracuje v rozsahu 450 až 970 nm, maximálny počet spektrálnych kanálov je 186, rádiometrické rozlíšenie je 12 bitov.

Laserové skenovanie je bezkontaktné snímanie objektu, ktorého výsledkom je bodový mrak. Táto technológia umožňuje 3D zobrazenie snímaných objektov. Výhoda laserového skenovania je jednoduchá geometria merania, 3D poloha bodu na povrchu je meraná z jednej pozície. Laserové skenovanie sa delí na pozemné a letecké laserové skenovanie. Letecké laserové skenovanie sa vyvinulo na začiatku 90. Rokov ako alternatíva k leteckej fotogrametrii. O niekoľko rokov sa vyvinulo pozemné laserové skenovanie ako zaujímavá metóda na snímanie objektov v blízkom okolí. Pomocou laserového skenovania môžeme získať informácie o zemskom povrchu a objektoch na ňom, ako aj o atmosfére a pod.



**Obrázok č. 3:** Hyperspektrálny systém AISA od fínskej spoločnosti Specim.

Pozemné laserové skenery sú optické prístroje, ktoré zachytávajú situáciu vo svojom okolí. Skenovanie je automatický proces, pri ktorom sa objekt bezkontaktno sníma, získajú sa informácie, ktoré sa môžu spracovať pomocou počítača. Pozemné laserové skenery je možné deliť podľa viacerých kritérií, napr. podľa systému merania vzdialenosti, zorného poľa atď. Pri skenovaní sa najskôr vykoná vertikálny sken, po jeho ukončení sa zvýši horizontálny uhol o konštantu a vykoná sa ďalší vertikálny sken. Na pozemné laserové skenery je možné pridať ďalšie zariadenia ako napr. digitálne kamery, GPS a pod. Po nasnímaní porastu a úprave bodového mraku môžeme získať 3D model jednotlivých stromov na ktorých môžeme merať jednotlivé charakteristiky stromu. Nevýhoda pozemného laserového skenovania je odraz lúča od prvej prekážky na ktorú narazí. Tým vznikajú v dátach za objektmi miesta bez dát a sťažuje sa nasadenie pozemných laserových skenerov v porastoch s podrastom.



Obrázok č. 4: Bodový mrak porastu (vľavo) a princíp leteckého laserového snímania (vpravo)

Letecké laserové skenery sú aktívne meracie zariadenia, ktoré vysielaajú k povrchu Zeme laserové impulzy. Na základe času letu odrazeného impulzu sa zistí vzdialenosť od povrchu Zeme.

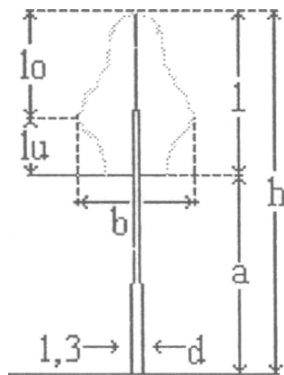
Laserové skenery umožňujú meranie prvého ako aj posledného odrazeného impulzu, jedná sa o metódu „first pulse“, „last pulse“. Touto metódou môže byť rekonštruovaný povrch Zeme alebo korunová klenba. Pri nových systémoch je zobrazené celé echo impulzu v časovom rozložení, táto metóda je pomenovaná „full waveform laser scanner“. Takto môžu byť zrekonštruované jednotlivé etáže v poraste (SCHNEIDER 2006).

Pomocou leteckého laserového skenovania môžeme vytvárať kvalitné DMR. Výhodou leteckého laserového skenovania je nezávislosť na počasi, priechodnosť vegetáciou, rozlišovanie viacnásobného odrazu.

#### 4. Parametre korún stromov

Výstavba, tvar a veľkosť koruny sú pre jednotlivé druhy drevín charakteristické. Predstavujú dôležité ukazovatele produkčnej schopnosti stromu. Z teoretického i praktického hľadiska je najväčší záujem o korunu stromu vo vzťahu k produkcii drevnej zásoby (ŠEBÍK, POLÁK 1990). Medzi základné parametre stromu patrí výška stromu ( $h$ ), výška nasedenia koruny ( $a$ ) a dĺžka koruny ( $l$ ), ktorá sa skladá z dĺžky osvetlenej časti koruny ( $l_o$ ) a dĺžky zatienenej časti koruny ( $l_u$ ).

Z priemetu štyroch až ôsmych polomerov sa určí korunová projekcia, tzv. clonená plocha. Maximálny priemer koruny predstavuje šírka „ $b$ “. Zistí sa buď ako dvojnásobok stredného polomeru alebo po planimetrovaní clonenej plochy, narysovanej v príslušnej mierke a zistení priemeru kruhu, ktorý sa rovná priemeru clonenej plochy. Tieto charakteristiky koruny stromu sú znázornené na obr. č. 5.



Obrázok č. 5: Základné charakteristiky koruny stromu

Zo základných označení na obrázku č. 5, ktoré predstavujú tvar (morfológiu) koruny, možno odvodiť tieto ďalšie údaje:

- $l:h$  stupeň zavetvenia (pri vyjadrení v % sa jedná o percentuálny podiel koruny,
- $l_0:l$  osvetlenosť koruny (podiel osvetlenej časti koruny),
- $l_u:l$  zatienenosť koruny (podiel zatienenej časti koruny),
- $b:h$  stupeň rozvetvenia,
- $b:l$  stupeň košatosti; čím je táto hodnota väčšia, tým je koruna stromu košatejšia,
- $l:b$  tvárnosť koruny alebo korunový index,
- $b:d$  stupeň priestorového rozloženia; toto pomerné číslo určuje, koľkokrát je priemer koruny väčší ako priemer kmeňa,
- $b^2:d^2$  kvocient clonenej plochy (zatienenosti); určuje, koľkokrát je plocha korunovej projekcie väčšia ako kruhová plocha priečného rezu kmeňa (ŠEBÍK a POLÁK 1990).

Okrem pomerných čísel, ktoré bližšie charakterizujú korunu stromu sú základné charakteristiky  $b$  (šírka koruny) a  $l$  (dĺžka koruny) potrebné aj na stanovenie objemu a povrchu koruny. Priamy výpočet objemu koruny a jej povrchovej plochy nie je možný. Pri ich výpočte sa používajú približné veličiny.

## 5. Extrakcia parametrov korún stromov

Podrobné a presné zachytenie rozmerov koruny je dôležité pre modelovanie jej tvaru. Tento sa využíva ako jeden zo vstupov do simulátorov rastu a produkcie lesa.

Z parametrov koruny, ktoré je možno mapovať v teréne ide najmä o zachytenie korunového profilu a projekcie, ďalej o zistenie výšky nasadenia koruny, dĺžky koruny a pod.

Pre získavanie údajov o korunovej projekcii sa v súčasnosti využívajú 3 spôsoby. Najjednoduchším, avšak nie tým najpresnejším je zmeranie dĺžky (vzdialenosti od kmeňa) najdlhších konárov/vetiev stromu pomocou meračského pásma v štyroch na seba kolmých smeroch. Tieto zámery, uhly pod ktorými sa merajú dĺžky, sa určujú pomocou turistickej buzoly. Pre túto činnosť je možné využiť aj elektronický diaľkomer/výškomer – VERTEX.

Ďalším spôsobom je použitie technológie FieldMap, ktorá umožňuje okrem získavania parametrov korunovej projekcie získať aj parametre korunového profilu, výšky nasadenia koruny, výšky stromu, jeho pozície spolu s azimutom. Výsledky meraní sú automaticky premietnuté ako do numerickej podoby, tak aj do grafickej, v podobe vektorových súborov (.shp).

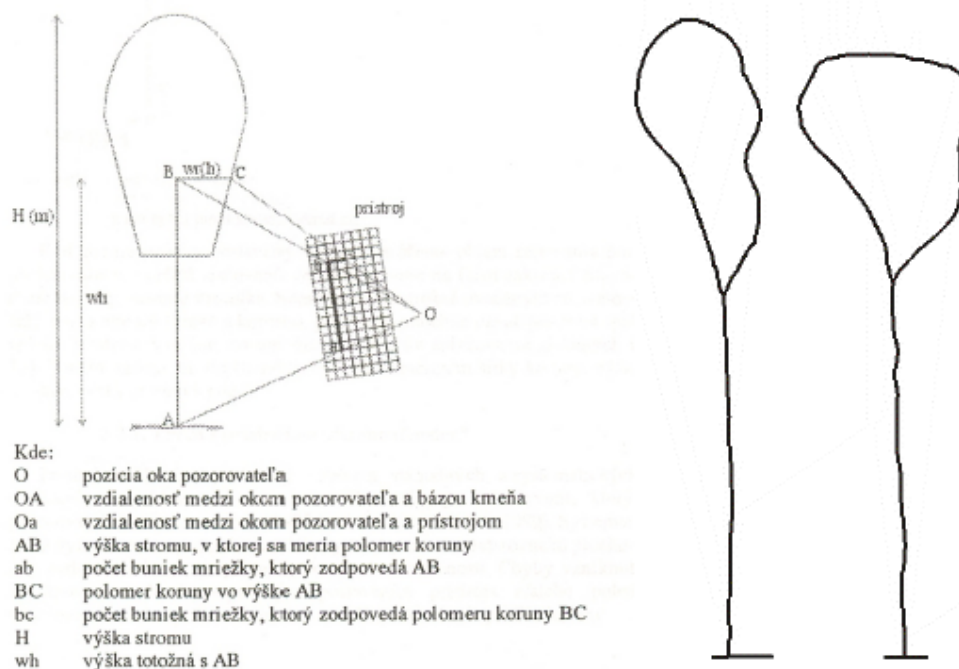
Pre vykreslenie profilov korún stromov sa v dendrometrii v minulosti bežne používal prístroj Kronenfenster. Pracuje na princípe zachytenia polomeru koruny v rozličných výškach.

Iným spôsobom, ktorý sa však dnes ešte nevyužíva bežne je extrakcia projekcií korún, v zmysle projekcie osvetlenej časti koruny, z materiálov DPZ. Najčastejšie ide o digitálne infračervené letecké snímky, nezriedka aj o satelitné snímky s priestorovým rozlíšením pod 1 meter (Ikonos, Quickbird).

Ďalej uvádzam stručnú charakteristiku tu spomenutých prístupov k extrakcii jednotlivých parametrov koruny stromu.

## 5.1 Kronenfenster

Ako už bolo spomenuté ide o prístroj na zachytenie polomeru koruny v rozličných výškach, čo predstavuje aj základ pre modelovanie tvaru korún stromov, v závislosti od druhu, veku a bezprostredného postavenia stromu v poraste.



Obrázok č. 6: Geometrický princíp práce prístroja

„Kronenfenster“ je vlastne fólia mriežkou rozdelená na štvorce a upevnená v ráme. Na meranie rozmeru koruny sa prístroj postaví vo vhodnej vodorovnej vzdialenosti od stromu. Potom sa spočítajú bunky zodpovedajúce polomeru koruny a výška stromu sa dodatočne určí klasickým výškomerom. Následne sa vypočíta pomer výšky stromu a výšky merania polomeru koruny a to vynásobením pomerového čísla príslušným počtom buniek mriežky.

Keď je už raz prístroj postavený na stanovišti, je možné okrem sčítavania buniek mriežky, predstavujúcich určitú zisťovanú veličinu, priamo na fóliu zakresliť hlavné body, ktoré charakterizujú korunu vzorníka. Okrem toho je možné týmto spôsobom načrtnúť aj celý obrys stromu (kmeň a korunu, viď obr. 6). Takéto náčrtky sa dopĺňajú o terestrické merania šírky koruny, výšky nasadenia koruny, výšky stromu a pod.

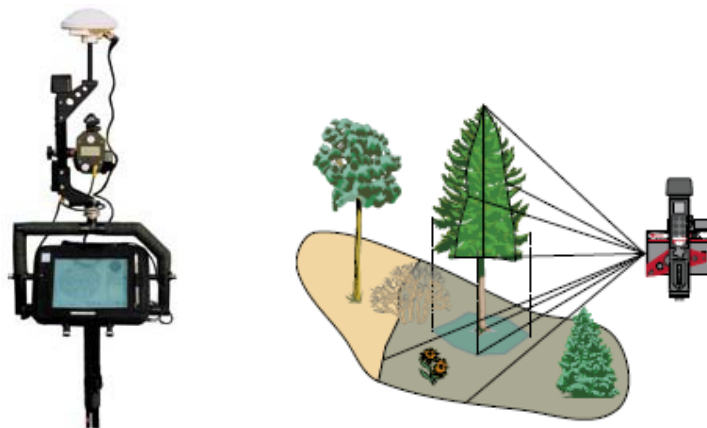
## 5.2 Field-Map

Táto technológia, ktorá slúži pre potreby získavania terénnych údajov o parametroch lesných ekosystémov bola vyvinutá na Ústave pro výzkum lesných ekosystémů v Českej republike v druhej polovici 90. rokov. Komponent sa skladá z terénneho počítača, ktorý je ovládaný špeciálnym dotykovým perom, lasera (Forest Pro), ktorý slúži na meranie šikmých a kolmých vzdialeností a kompasu (Map Star), ktorým sa zameriavajú vertikálne a horizontálne uhly. Nepostradateľné pomôcky k zameriavaniu sú odrazky, prístroj je však schopný merať aj odraz od kmeňa. Pre terénnu navigáciu je možné použiť ako nadstavbu GPS prístroj. Dôležitou

súčasťou je aj softvérové vybavenie. Tvoria ho dva programy, Project Manager je určený na tvorbu požadovanej štruktúry databázy a Data Collector slúži na samotné terénne meranie.

Táto technológia bola vyvinutá špeciálne pre lesnícke účely a preto hardvér a softvér sú tomu prispôsobené. Pomocou tejto technológie je možné zmerať pozíciu stromov, korunové projekcie, pozície pňov, ležaniny, kmeňové a korunové projekcie, terénne body a línie, hranice, cesty a vodné toky a ďalšie objekty. Rovnako je možné priamo merať výšku stromov a nasadenia koruny, na výber je niekoľko metód.

Pri meraní sú automatizovane vkladane dáta do počítača priamo v teréne. Pomocou preddefinovaných číselníkov odpadá zdĺhavé zapisovanie, tieto si môže užívateľ preddefinovať sám. Jeho veľkou výhodou je aj to, že všetky údaje získané v teréne je možné po skončení terénnych prác preniesť do programu ArcView GIS vo forme shape súborov, ktoré sú vytvárané počas merania. Rovnako všetky databázy sú po prenesení z terénneho počítača spustiteľné na ktoromkoľvek počítači obsahujúcom sadu Microsoft Office.



**Obrázok č. 7:** Systém Field-Map s nadstavbou GPS (vľavo) a princíp merania pomocou technológie Field-Map (vpravo)

Táto technológia sa využíva pri národnej inventarizácii a monitoringu lesov SR. V českej republike sa v plnej miere použil v rámci prvej národnej inventarizácii lesov ČR 2001 – 2004. Úspešne ho zavádzajú aj v iných krajinách sveta.

Field-Map predstavuje najkomplexnejšiu technológiu pre potreby inventarizácie lesa, má veľmi všestranné použitie a v prípade doplnenia elektronickou priemerkou sa výrazne uľahčí meranie hrúbok.

### **5.3 Identifikácia korún stromov (projekcií osvetlenej časti koruny) z materiálov DPZ**

Identifikáciou jednotlivých korún stromov z materiálov DPZ sa vo svete už dlhšie zaoberajú viacerí odborníci. Vďaka tomu boli vyvinuté aj viaceré prístupy. Tu stručne spomínam len niektoré najvýznamnejšie zaoberajúce sa extrakciou korún z leteckých snímok. Jedným z nich je prístup zameraný na separáciu korún stromov od tieňa, založený na hľadaní prahovej hodnoty (GOUGEON 1998), ďalej prístup založený na hľadaní lokálnych maxim spektrálnych hodnôt obrazu (LARSEN 1999), multirezolučná segmentácia obrazu, ktorú ponúka software Definiens Professional a identifikácia obrysov korún stromov prostredníctvom vytvorenia akumuláčného povrchu, vychádzajúc z vopred identifikovaných vrcholov korún stromov (MAJLINGOVÁ 2006).



Týmito prístupmi získané parametre korún boli ďalej využité na druhové klasifikácie či na predbežný odhad zásoby drevnej hmoty v poraste, a to na základe závislosti medzi veľkosťou koruny a hrúbkou stromu (PRETZSCH 2002).

V súčasnosti medzi veľmi populárne a často využívané na zisťovanie stavu a produkcie lesa sa radia najmä hyperspektrálne dáta a dáta z laserového skenovania (napr. LIDAR). Tieto boli bližšie popísané už predchádzajúcej kapitole.

## 6. Záver

Vývoj lesa, kým dosiahne svojho obdobia klimaxu, trvá niekoľko desaťročí. Počas tohto vývoja neustále zaberá pozornosť lesníka – lesného hospodára. Týka sa to najmä jeho produkčnej stránky – vyťaženia čo najkvalitnejšej drevnej hmoty.

Štúdium rastu lesa je pre jeden ľudský život nepredstaviteľná úloha. Preto sa pre tento druh štúdiá využívajú aj skúsenosti a poznatky mnohých predchodcov, ktorý sa podobne zaoberali touto problematikou. Aj vďaka nim, ale aj sústavnému výskumu súčasných odborníkov bolo možné postupne vytvoriť pomocou matematických modelov rôzne druhy simulátorov rastu a produkcie lesa. Jedným z nich je aj simulátor biodynamiky lesa – SIBYLA (FABRIKA 2005).

Parametre korún stromov, ktoré tu boli spomenuté, spolu s technológiami pre ich zber, predstavujú prvotný predpoklad naplňania takýchto modelov, a tým priamo vplyvajú aj na možnosti simulovania rastu a produkcie reálneho lesa. Bez týchto údajov by išlo stále len modelové prípady alebo pilotné projekty.

## Literatúra

Albrechtová, J., Barret, N., R.: *Dálkový průzkum Krušnohorských lesů*. 2003, Internetový zdroj: <http://www.vesmir.cz/clanek.php3?CID=5497>

Fabrika, M.: *Simulátor biodynamiky lesa SIBYLA*. Habilitačná práca. TU vo Zvolene, 2005, 238 s.

Gougeon, F.A.: *Automatic Individual Tree Crown Delineation Using a Valley-Following Algorithm and Rule-Based System*. In: Automated Interpretation of High Resolution Digital Imagery for Forest. Natural Resource Canada, Victoria, British Columbia, 1998.

Hlásny, T.: *Geografické informačné systémy – Priestorové analýzy*. Zephyros & Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 160 s.

Hussein, K.A., Albert, M.: *Flexible Kronenformmodellierung mit Hilfe des Kronenfensters*. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Sektion ertragskunde, Volpriehausen 1999, s. 230-240.

Koreň, M., Tuček, J., Čerman, P.: *Možnosti využitia hyperspektrálnych leteckých snímok v lesníctve*. Lesnícky časopis – Forestry Journal, ročník 53, číslo 2, 2007, s. 251 – 262.

Larsen, M.: *Individual Tree Top Position Estimation by Template Voting*. In: Proceedings of the Fourth International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition / 21<sup>st</sup> Canadian Symposium on Remote Sensing. vol. II. p. 83-90; ERIM International. Inc., Ann Arbor. USA, 1999.

Majlingová, A.: *Lesnícke aplikácie digitálnej obrazovej analýzy dát DPZ s vysokým priestorovým rozlíšením*. Dizertačná práca. TU vo Zvolene, 2006, 127 s.

Pretzsch, H.: *Application and evaluation of the growth simulator SILVA 2.2 for forest stands, forest estates and large regions*. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 121, Göttingen, 2002.

Rapant, P.: *Geoinformatika a geoinformační technologie*. Institut geoinformatiky, VŠB-TU Ostrava, Ostrava, 2006, 466 s., ISBN 80-248-1264-9.

Samant, H.: *Off the shelf: Airborne Digital Cameras*. The Global Geospatial Magazine, May 2007 Vol 11 issue 5, s. 38-39.

Schneider, W.: *Einführung in die Fernerkundung*. Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation Universität für Bodenkultur, Wien, 2006, 91 s.

Smreček, R.: *Pozemné laserové skenery a možnosť ich využitia v lesníctve*. Zborník príspevkov Fórum mladých geoinformatikov 2007, Technická univerzita vo Zvolene, 2007, s. 85-93, ISBN 978-80-228-1818-5.

Šebeň, V., Merganič, J.: *Skúsenosti z uplatnenia technológie Field-Map v národnej inventarizácii a monitoringu lesov SR a ich zovšeobecnenie*. Zborník príspevkov Enviro-i-fórum 2006, s. 175 – 185.

Šebík, L., Polák, L.: *Náuka o produkcii dreva*. Príroda, Bratislava 1990, 322 s.

Žihlavník, Š., Scheer, E. 2001: *Dial'kový prieskum Zeme v lesníctve*. Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, 2001, 289 s., ISBN 80-228-0991-8.

<http://web.dxsatcs.66.sk/php66/tlac.php?str=3&spr=25>

<http://www.cagi.cz>

**Recenzoval: Ing. Andrea Majlingová, PhD.**