

Mendelova univerzita v Brně
Lesnická a dřevařská fakulta

**Technologie zpracování lesních hospodářských
plánů na základě počítačové analýzy obrazu**

Dr. Ing. Jan Kadavý
RNDr. Pavel Mazal, Ph.D.
Prof. Ing. Jaroslav Simon, CSc.

BRNO 2011

Doporučená citace:

Kadavý, J., Mazal, P., Simon, J., (2011): Technologie zpracování lesních hospodářských plánů na základě počítačové analýzy obrazu. Elektronická publikace na CD. Mendelova univerzita v Brně, 70 s.

Lektor:

Prof. RNDr. Stanislav Vacek, DrSc.

Práce vznikla za podpory dílčího výzkumného záměru 04 – LDF MZLU v Brně – Strategie managementu území se zvláštním statutem ochrany – VZ MSM 6215648902 – Les a dřevo – podpora funkčně integrovaného lesního hospodářství a využívání dřeva jako obnovitelné suroviny 2005-2011.

© Jan Kadavý, Pavel Mazal, Jaroslav Simon, 2011

ISBN 978-80-7375-505-8

Obsah

1. Úvod	8
2. Možné metodické postupy snižování nákladů na pořizování a vypracování plánů	10
3. Podstata počítačové analýzy obrazu	11
3.1 Počítačová analýza obrazu po metodické stránce (ve vztahu k problematice DPZ)	11
3.1.1 Korekce	11
3.1.2 Vylepšování – zvýrazňování	12
3.1.3 Transformace	12
3.1.4 Klasifikace	12
3.1.4.1 Neřízená klasifikace	12
3.1.4.2 Řízená klasifikace	12
3.2 Analýza obrazu softwarově (ve vztahu k problematice DPZ)	13
3.3 Základní pojmy počítačové analýzy obrazu (ve vztahu k prezentované metodě HÚL)	13
3.3.1 Analýza obrazu	14
3.3.2 Pixel	14
3.3.3 Barevné obrazy	14
3.3.4 Šedé obrazy	14
3.3.5 Binární obrazy	14
3.3.6 Prahování	14
3.3.7 Hloubka obrazu	14
3.3.8 Základní typy morfologických operací	15
3.3.8.1 Eroze	15
3.3.8.2 Dilatace	15
3.3.8.3 Otevření	15
3.3.8.4 Uzavření	15
3.3.8.5 Homotopické transformace	16
3.3.8.6 Vyčištění	16
3.3.8.7 Vyplnění děr	16
3.3.8.8 Strukturní elementy	16
3.3.9 Obecný postup zpracování obrazu počítačovou analýzou obrazu	16
3.3.9.1 Měření	16
3.3.9.2 Kalibrace	17
3.3.9.3 Objektová a texturální měření	17
3.3.9.4 Maska	17
3.3.9.5 Měřicí rámeček	17
3.3.9.6 Obrazy zahrnuté do měření	17
3.3.9.7 Měřené veličiny	18
3.4 Počítačová analýza obrazu uplatňovaná v nové metodě HÚL	18
Výstupní zařízení	19
3.4.1 Vstupní media	19

4. Literární podklady – využití obrazových médií ke zjišťování stavu lesa	20
4.1 Hlavní oblasti použití obrazových médií ve vztahu k využití v lesním hospodářství	20
4.2 Mapování ploch bez lesních dřevin a lesních porostů	20
4.3 Mapování lesních porostů	21
4.4 Dosahované přesnosti interpretovaných „objektů“ z jednotlivých typů obrazových médií	21
4.4.1 Klasifikace (mapování) lesa	22
4.4.1.1 Segmentace	22
4.4.1.2 Interpretace snímků (fotointerpretace)	24
5. Základní filozofie nové metody hospodářské úpravy lesů	24
5.1 Snížení nákladů nutných na pořízení a vypracování plánu	24
5.2 Minimalizace terénní práce kvalifikovaného taxačního personálu na zařizovaném majetku	25
5.3 Maximální využití obrazových médií pomocí počítačové analýzy obrazu	25
5.4 Využívání dat starého plánu	25
5.5 Tvorba lokálních růstových modelů	26
6. Popis nové metody hospodářské úpravy lesů	28
6.1 Specifikace metodických postupů nové metody hospodářské úpravy lesů	28
6.1.1 Druh použitého obrazového média, jeho rozlišení a doba pořízení	28
6.1.2 Tvorba ortofotorektifikovaného snímku ve vazbě na digitální model terénu (DMT)	28
6.1.3 Digitalizace hranic porostních skupin	29
6.1.4 Prahování jednotlivých druhů dřevin (tvorba binárních obrazů korun dřevin)	29
6.1.5 Tvorba syntéz binárních obrazů (tvorba výsledné tematické mapy zastoupení dřevin)	30
6.1.6 Zjišťování plošného zastoupení jednotlivých druhů dřevin	30
6.1.7 Hodnocení zápoje (hustoty) porostů	31
6.1.8 Stanovení počtu stromů na jednotku plochy	31
6.2 Podklady a vstupní materiály	32
6.2.1 Definovaný lesní majetek	32
6.2.2 Stávající plán	33
6.2.3 Údaje z OPRL	33
6.2.4 Ortofotorektifikovaný letecký snímek lesního majetku	33
6.2.5 Popis a interpretace jednotlivých druhů dřevin na tzv. kalibračních plochách (trénovacích množinách)	33
6.2.6 Tvorba lokálních růstových modelů	34
6.2.6.1 Výpočet objemu středního kmene	34
6.2.6.2 Výpočet střední porostní výšky a střední porostní tloušťky	34
6.3 Způsob zpracování	34
6.3.1 Rozdělení lesa	34
6.3.1.1 Převzetí rozdělení ze starého plánu do úrovně porostu	34

6.3.1.2	Vizuální digitalizace porostních skupin	35
6.3.1.3	Vizuální digitalizace holin (pasek)	35
6.3.2	Digitalizace (vektorizace) jiných (ploch mimo tzv. PUPFL) a ostatních ploch	35
6.3.3	Tvorba popisné části LHP	35
6.3.3.1	Aktualizace údajů o věku jednotlivých porostních skupin	35
6.3.3.2	Vyhodnocení zastoupení dřevin	36
6.3.3.3	Odvození střední porostní výšky a střední porostní tloušťky	36
6.3.3.4	Vyhodnocení hustoty (zápoje) porostů	36
6.3.3.5	Výpočet počtu stromů v porostních skupinách starších 81 let	36
6.3.3.6	Výpočet skutečné zásoby porostů jednotlivých porostních skupin starších 81 let	36
6.3.3.7	Editace hospodářské knihy	37
6.3.3.8	Stanovení závazných ustanovení plánu	37
6.3.4	Tvorba mapových výstupů	37
6.4	Nadstandardní výstupy	38
6.4.1	Rozlišení čerstvých a starších holin	38
6.4.2	Stanovení počtu sazenic a jejich druhového spektra na pasece	38
6.4.3	Hodnocení zajištěnosti kultur na základě zápoje	40
6.4.4	Stanovení texturních a strukturních charakteristik porostů	40
6.4.5	Hodnocení korunových parametrů	41
6.4.6	Měření a charakteristika rozptýlených plošných sférických objektů	42
6.4.7	Hodnocení zdravotního stavu porostů	42
6.4.8	Simulace vývoje porostů – stanovení speciálního managementu hospodaření	43
7.	Ověřování nové metody HÚL, přesnosti stanovení dat plánu	45
7.1	Charakteristika analyzovaného majetku	45
7.1.1	Zařazení do lesní oblasti a bioregionu	45
7.1.2	Geologické, pedologické a orografické poměry	45
7.1.3	Klimatické poměry	45
7.1.4	Lesní vegetace a porosty	46
7.2	Analyzovaný materiál (obrazové médium)	46
7.3	Terénní šetření	46
7.4	Zpracování a výsledky práce	47
7.4.1	Tvorba ortofotorektifikovaného snímku	47
7.4.2	Digitalizace hranic majetku a rozdělení lesa na úroveň trvalé jednotky rozdělení, jiných ploch a jednotlivých porostních skupin	48
7.4.3	Prahování (klasifikace) jednotlivých druhů dřevin v rámci modelového dílce (porostu)	48
7.4.4	Vyjádření plošného zastoupení jednotlivých druhů dřevin v rámci modelového dílce (porostu)	48
7.4.5	Hodnocení hustoty jednotlivých porostních skupin modelového dílce (porostu)	49
7.4.6	Určení procenta úspěšně identifikovaných stromů s využitím leteckého snímku a pozemního šetření	50
7.4.7	Výpočet skutečné zásoby porostních skupin starších 81 let analyzovaného majetku	52
7.4.7.1	Stanovení počtu stromů	52

7.4.7.2 Výpočet zastoupení dřevin v jednotlivých porostních skupinách -----	54
7.4.7.3 Výpočet objemu středního kmene-----	54
7.4.7.4 Vypočítaná skutečná zásoba jednotlivých porostních skupin -----	55
8. Limitující faktory použití nové metody HÚL na konkrétním lesním majetku -----	57
9. Ekonomické zhodnocení nové metody hospodářské úpravy lesů --	60
10. Vazby prezentované technologie a struktury zpracování -----	61
LHP klasickou metodou -----	61
11. Závěr -----	62
12. Souhrn -----	62
13. Citovaná literatura -----	65
14. Přílohy-----	68

1. Úvod

Převážná většina lesů ČR byla do dnešního dne zařízena metodou věkových tříd (SLHP, ÚHÚL 2000). Lze konstatovat, že metoda věkových tříd je z pohledu historického velmi propracovanou metodou, vždyť její minimálně 150 - leté používání na území našeho státu je toho jistě dokladem.

S názory volajícími proti metodě věkových tříd se nesetkáváme poprvé až v současné době. Tyto názory se objevily téměř ihned, kdy spatřila „světlo světa“, tj. v době, kdy se rozhodovalo, zda vývoj hospodářské úpravy lesů na území našeho státu půjde tzv. francouzskou cestou (kontrolní metody výběrných lesů) či cestou německou (metoda věkových tříd). Jak známo, převládla v úpravách našich lesů právě metoda věkových tříd. Za hlavní odpůrce této metody v době jejího vzniku a později byli považováni HUFNAGL, BIOLLEY či MÖLLER. S hlasy proti této metodě se setkáváme dodnes. I když již bylo během jejího používání uskutečněno několik úprav či modifikací a s tzv. čistou metodou věkových tříd tak jak ji formulovali např. HUNDESHAGEN a HEYER již dnes nepracujeme, přesto je stále kritizována.

Je evidentní, že takto pojaté a masové nasazení této metody na území celého našeho státu, stejně tak jako by bylo striktní používání pouze kontrolní metody výběrných lesů, není správné. Je jen dobře, že současná lesnická legislativa s možností úprav výběrných lesů počítá, i když jen omezeně a pouze pro odvození závazného ustanovení maximální celkové výše těžeb.

Je nesporné, že na území našeho státu by mohly v budoucnosti existovat lesní majetky, které by mohly být zařízeny jak metodou věkových tříd, tak kontrolními metodami výběrných lesů. Nicméně se domníváme, že myšlenku metody věkových tříd není možné paušálně zatracovat, a proto v současné době přicházíme s tzv. **novou metodou hospodářské úpravy**. Jedná se o alternativní technologii zpracování lesních hospodářských plánů (příp. lesních hospodářských osnov) – dále jen plán, která však po metodologické stránce stojí na prvcích současné hospodářské úpravy lesů, tj. na metodě věkových tříd. Alternativou je v tomto případě modifikace procesu sběru tzv. primárních dat plánu. K danému účelu se využívá obrazových médií (především leteckých snímků) a počítačové analýzy obrazu tak, aby se dospělo k podstatnému snížení nákladů na vypracování plánu.

Rádi bychom na tomto místě upozornili na skutečnost, že v žádném případě nepředpokládáme, že by tato metoda měla zcela nahradit či vytlačit z tzv. „taxačního trhu“ v současnosti aplikovanou metodu věkových tříd postavenou na digitálním zpracování dat a ani žádnou další metodu, v současnosti se rodící např. pro výběrné lesy. Rádi bychom, aby se zapojila do palety možných metod zpracování plánů.

Od roku 1996, tj. od okamžiku kdy zpracování plánů přešlo pod soukromou sféru, jsme svědky přibližně následujícího vývoje. Dominantní se stává digitální zpracování plánů podle platné lesnické legislativy (zákon o lesích č.289/1995 Sb. a vyhl. Mze č. 84 a č. 83/1996 Sb.) a dochází k diferenciaci a profilaci taxačních firem. Nicméně téměř všechny firmy (právnícké a fyzické osoby) pracují v jednom software na zpracování plánu a poskytují (až na drobné výjimky) stejné výstupy tohoto plánu, neboť ty jsou dány legislativou. Rok od roku klesá cena za zpracování plánu. Z tohoto pohledu je možno hovořit o velké konkurenci firem na tomto trhu. Lze předpokládat, že pokud se bude vývoj ubírat podle naznačeného scénáře, dojde k podstatné redukci počtu těchto firem (za předpokladu, že nadále se budou specializovat výlučně na hospodářskou úpravu lesů). Vlastník lesa je formou dotací vázán na vypracování plánu v digitální formě. Až na drobné výjimky se spokojuje s výstupy plánu podle platné legislativy (s tzv. minimální variantou výstupů plánu). Předpokládáme, že v poměrně blízké době dojde k zastavení poklesu cen na zpracování plánu, a následně i k zvyšování těchto cen

v souvislosti s omezeným počtem na taxačním trhu se vyskytujícími firmami (právníky a fyzickými osobami) a především se vstupem ČR do EU.

Domníváme se, že jak taxační firmy (právníky a fyzické osoby), tak vlastníci lesů by měli vědět, že existuje reálná možnost snížení ceny za zpracování plánu, ve vazbě na využití nových metod hospodářské úpravy lesů, z nichž jednu prezentuje předkládaná publikace. Zpracování plánu je možno z tohoto pohledu rozdělit na dva základní problémové okruhy. Tím prvním z nich jsou práce kvalifikovaného taxačního personálu v lese (tzv. sběr dat – popis porostů, plánování hospodářských opatření), druhým pak jejich následné digitální zpracování. Již v současné době tvoří podstatnou část nákladů na zpracování plánu náklady spojené s kvalifikovanou lidskou prací, tj. kvalifikovaných taxátorů při sběru primárních dat plánu v terénu. Podstatou prezentované metody je nalezení takových postupů, které výrazným způsobem omezí podíl nákladů spojených právě s těmito činnostmi, samozřejmě bez ztráty kvality výstupů plánů.

Předpokládáme, že budoucí vývoj hospodářské úpravy lesů by se měl mimo jiné ubírat cestou snižování nákladů na pořizování a vypracovávání plánu. Lze předpokládat, že po vstupu ČR do Evropské unie bude docházet k postupnému zdražování především kvalifikované lidské práce, a proto na taxačním trhu naleznou daleko lepší uplatnění ty firmy, které budou schopny akceptovat současný rozsah a kvalitu výstupů plánů a zároveň naleznou cesty na snižování nákladů nutných k jejich zpracování. A nejen to, budou ochotny a schopny pružně reagovat na nejrůznější přání vlastníků lesa a tudíž zpracovávat i nadstandardní výstupy vytvořených plánů. Jednou z takovýchto možností je právě **počítačová analýza obrazu**, která za jasně stanovených podmínek může velmi dobře omezit podíl kvalifikované lidské práce a tudíž celkově snížit nutné náklady na vypracování plánů.

Rozvoj technologií založených na využití výpočetní techniky je v současné době mimořádně dynamický. Zde jde nejen o zkvalitnění vstupů, zpracování a výstupů, ale zejména o prosazování se nových myšlenkových postupů a směrů. Uvedený trend je zřejmý i ve využití počítačové analýzy obrazu. Tento aspekt je logicky zřejmý a je třeba si jej uvědomit i při hodnocení předložené publikace, která odráží výsledky více než 6ti letého výzkumu k datu přelomu roku 2001/2002. Soudíme však, že vytváří solidní informační bázi, na kterou je možné dále navázat specializovanými pracemi v relaci dalšího trendu rozvoje metody.

2. Možné metodické postupy snižování nákladů na pořizování a vypracování plánů

Než přikročíme k popisu nové metody HÚL, je zapotřebí alespoň rámcově nastínit možnosti, jak by mohl být prováděn tzv. sběr nutných dat k tvorbě nového plánu ve vztahu ke snižování nákladů na jejich získání. Účelné na tomto místě bude i samotné vymezení prezentované metody.

Nutným výchozím bodem tohoto záměru je současný stav obsahové náplně plánu, který je dán platnou legislativou, tj. především zákonem o lesích a jeho prováděcími vyhláškami a zároveň i konstatování, že konvenční metoda sběru primárních dat při obnovách plánů je z tohoto pohledu značně nákladná.

Primární data obnovovaného plánu je možno získat v určitých proporcích takto:

- a) z dat starého plánu (předchozí, zpravidla 10 let starý plán),
- b) z dat starého plánu s nutným následným doměřováním konkrétních údajů v lese,
- c) pouze z dat obrazových médií (letecké, satelitní, fotografické, video a jiné snímky) bez následného doměřování údajů v lese,
- d) kombinovaně, tj. novou metodou HÚL.

Za zcela nejefektivnější variantu pořízení dat plánu z pohledu prezentované metody (minimalizace nákladů) je jistě možno označit tu, která by k danému účelu využívala pouze *data starého (starých) plánů*. Z těchto dat by se následně odvozovaly primární taxační veličiny pro plán nový. Tento postup zároveň předpokládá, že se odvozené taxační veličiny v terénu následně neověřují. Otázkou v tomto případě ovšem zůstává vypovídací schopnost těchto dat, kdy lze předpokládat, že by byla výrazně nižší než v případě, kdy by se k danému účelu provádělo následné doměřování (přeměřování) konkrétních údajů v lese. V tomto případě se tedy jedná o variantu, kdy data nového plánu jsou zjišťována z *dat starého (starších) plánů s nutným následným doměřováním konkrétních údajů v lese*.

Třetí variantu, která k danému účelu využívá *pouze obrazových médií* bez následného doměřování údajů v lese a údajů ze starého (starších) plánů je možno označit jako metodu, která by měla nejmenší vypovídací schopnost poskytovaných dat. Z doposud napsaného vyplývá, že za nejlepší metodu je z tohoto pohledu možno považovat tu, která se bude snažit skloubit výhody všech uvedených variant. A právě pro tento případ jsme dospěli k přesvědčení, že toto může poskytnout pouze *metoda kombinovaná*. Jedná se o tzv. **novou metodu HÚL**, která k danému účelu využívá jak dat starého (starších) plánu, tak obrazových médií (leteckých, především spektrozónálních snímků) a následné doměřování minimálního množství údajů v lese (vygenerováno především počítačovou analýzou obrazu).

Důvod, proč nelze pracovat pouze s daty časové řady stávajících plánů je zřejmý. Je obecně známo, že data v současné době platných plánů poskytují údaje, které se vztahují k nejnižší jednotce rozdělení lesa, tj. porostní skupině, resp. etáži. Je v nich tedy možné dobře vyhledat například informaci o zastoupení konkrétních druhů dřevin na této jednotce. Ovšem v žádném případě z nich není možné zjistit, ve které části této jednotky se konkrétní dřevina nachází! Není tak ani možné získat představu o výskytu směsí a jejich rozmístění apod. Nelze získat představu o tom, ve které části sledované jednotky je snižená hustota lesního porostu, či kde je porost velmi rozvolněný nebo naopak přehoustlý. Uvedené je řešeno generalizovaně zakmeněním, které je však opět vztaženo k celé jednotce jako hodnota průměrná. Obdobně bychom mohli hovořit například o hodnocení zdravotního stavu lesních porostů. Z dat v současnosti platných plánů získá uživatel informaci o tom, zda daná jednotka spadá či nespadá do konkrétního pásma ohrožení imisemi (stupně poškození porostu), avšak již nikoliv

informaci o diferenciaci této charakteristiky v rámci této jednotky. Uvedený výčet příkladů si neklade za cíl postihnout všechna takováto „nedopatření“, pouze se snaží ukázat na jádro problému.

Domníváme se, že právě v současné době při snaze o zavádění obecně řečeno většího podílu listnatých dřevin do lesních porostů nebo tzv. přírodě blízkých způsobů hospodaření se jedná o velmi důležité informace. A právě obrazová informace je schopna exaktně a za příznivých ekonomických parametrů takovýto druh údajů poskytnout, a proto je její využití účelné.

3. Podstata počítačové analýzy obrazu

Nutno podotknout, že myšlenka využití údajů z obrazových médií ve vazbě na problematiku týkající se zjišťování stavu lesních porostů není záležitostí nikterak novou a to ani v podmínkách našeho státu. Již např. TOMSA (1966) ukazuje na možnosti využití leteckých snímků k hospodářské úpravě lesů a doporučuje jejich použití v následujících oblastech:

- a) stanovení a vyhodnocení polohopisu porostního detailu,
- b) posuzování prostorového uspořádání lesa, zejména s ohledem na zajištění porostů proti větru a oslunění,
- c) řešení prostorového rozdělení lesa z velkého do malého,
- d) posouzení dosavadního způsobu hospodaření zejména s ohledem na porostní obnovu,
- e) příprava pochůzek konaných za účelem popisu porostů a vyšetření podkladů pro provozní plánování,
- f) orientace v terénu,
- g) posouzení některých prvků popisu porostů,
- h) rámcové i podrobné hospodářské plánování,
- i) zjišťování porostních zásob, zejména při aplikaci statistických metod.

Nicméně je možno jmenovat literaturu vztahující se k této problematice ještě podstatně starší, než v případě výše uvedené práce. Z pohledu historického je jistě nutno vyzdvihnout práce MATĚJŮ (1937), TICHÉHO a POLANSKÉHO (1937), POSPÍŠILA (1942), TOMSY (1947, 1956), HALAJE (1949), ČIHALA (1958), VYSKOTA a ČIHALA (1958) či ČERMÁKA (1961) a dalších. Jak již bylo konstatováno, využití obrazových médií (v těchto případech leteckých snímků) v lesnictví, není tedy záležitostí nikterak novou.

Nové jsou však možnosti využití výpočetní techniky a specializovaných software k jejich analýze.

3.1 Počítačová analýza obrazu po metodické stránce (ve vztahu k problematice DPZ)

Mezi obecné metodické postupy zpracování obrazu je možno zařadit následující níže uvedené možnosti, které na tomto místě uvádíme především z důvodu obsahové úplnosti předkládaného textu. Zájemce o bližší vysvětlení jednotlivých postupů je možno odkázat např. na práci Tučka (TUČEK, 1988).

3.1.1 Korekce

Obecně je možno konstatovat, že postupy korekcí obrazů jsou zaměřeny na vyhledávání a kompenzaci chyb, šumu a geometrických zkreslení, která vzniknou v procesu snímání, přenosu a zaznamenávání údajů. Cílem těchto postupů je upravit obraz tak, aby co nejvíce odpovídal snímané skutečnosti. Rozdělují se na radiometrické a geometrické.

3.1.2 Vylepšování – zvýrazňování

Metody této kategorie slouží především k vylepšení obrazu z hlediska možností následného zpracování. Obecně konstatováno, jedná se o postup, kterým nezískáme žádnou novou informaci. Některé informace však tímto postupem můžeme potlačit nebo naopak zvýraznit. Do této skupiny metod je možno zařadit následující druhy operací:

- přeškálování obrazu,
- filtrace obrazu,
- barevné kompozice aj.

3.1.3 Transformace

Jedná se o postupy, které umožňují provést redukci zdrojových multispektrálních dat do minimálního počtu obrazů (jednoho nebo dvou), které ve výsledném efektu obsahují většinu použitelných vizuálních informací. Z metod, které lze zařadit do této kategorie analýz obrazu je možno jmenovat, např. metodu hlavních komponent či metodu výpočtu tzv. vegetačních indexů, apod.

Obecně je také tato technika označována jako tzv. segmentace obrazu.

3.1.4 Klasifikace

Klasifikace obrazů je založena na identifikaci spektrálních odrazových znaků jednotlivých typů objektů. Využívá se přitom známé skutečnosti, že různé typy objektů se v různých oblastech spektra různě projevují. Obecně existují dvě kategorie klasifikací – tzv. neřízená a řízená klasifikace.

3.1.4.1 Neřízená klasifikace

Bývá též uváděna jako klasifikace bez pozemního šetření. K danému účelu tento typ klasifikace využívá metody shlukové analýzy, která je aplikována na obrazové elementy analyzovaného obrazu. Do této skupiny je možno zařadit dvě základní kategorie metodických postupů:

- *postupy parametrické:*
 - označované jako „K-means“ nebo ISODATA.
- *postupy neparametrické:*
 - algoritmus NARENDRA a GOLDBERG,
 - algoritmus s hodnocením textury („roughness“),
 - algoritmus AMOEBA.

3.1.4.2 Řízená klasifikace

Oproti neřízené klasifikaci je tento typ označován jako klasifikace s tzv. pozemní podporou. Vyznačuje se tvorbou tzv. trénovacích množin, tj. tříd objektů, na které chceme následně obraz klasifikovat. Děje se tak prostřednictvím výpočtu statistických charakteristik všech typů objektů, tvorbě tzv. signatur, pomocí kterých bude prováděna klasifikace obrazu. Z metodického pohledu je možno tento typ klasifikace rozdělit do dvou základních kategorií, tj. na řízenou klasifikaci s tzv. tvrdými a jemnými klasifikátory:

- *s tvrdými klasifikátory*
 - rovnoběžková (parallelepiped) metoda, tj. klasifikátor pravoúhelníků,

- minimální vzdálenosti od aritmetického průměru (minimal distance analysis),
- klasifikátor „K“ nejbližších sousedů,
- maximální pravděpodobnosti (maximum likelihood),
- Bayesovský klasifikátor.
- s jemnými klasifikátory
 - statistické vyjádření pravděpodobnosti o příslušnosti pixelu do určité třídy,
 - klasifikace s využitím neuronových sítí,
 - tzv. texturální klasifikátory,
 - klasifikace založené na principu neurčitosti („Fuzzy logic“),
 - kontexturální klasifikátory aj.

3.2 Analýza obrazu softwarově (ve vztahu k problematice DPZ)

V současné době je možno se setkat s následujícími základními typy softwarů, které se specializují na řešení daného problému. Za vysoce specializovaná prostředí (tzv. prostředí čisté analýzy obrazu) k řešení daného úkolu je možno považovat (TUČEK, 1998):

- EASI/PACE,
- ER MAPPER ,
- ERDAS IMAGINE.

Problematika analýzy obrazu je řešena i v tzv. GIS prostředích, jako jejich součást:

- IDRISI,
- MGE Intergraph,
- TopoL.

Lze konstatovat, že v současné době existují systémy, mezi kterými existuje velmi dobrá komunikace, tj. jak mezi prostředím tzv. čisté analýzy obrazu, tak i čistým prostředím GIS, mezi které je možno zařadit spojení dvou prostředí, jako např.:

- ERDAS IMAGINE a ARC/INFO.

3.3 Základní pojmy počítačové analýzy obrazu (ve vztahu k prezentované metodě HÚL)

Níže uvedená kapitola podává přehled základních pojmů, které se úzce vztahují k problematice počítačové analýzy obrazu. Nutno dodat, že kapitola je zároveň koncipována tak, aby se tyto pojmy vztahovaly především k prezentované nové metodě HÚL.

Počítačová analýza obrazu patří ke speciálním metodám, které mohou sloužit ve zvláštních případech (mimořádně cenná území, území ve složitých, zejména orografických poměrech atd.) k upřesnění měřených dat, případně k nahrazení získávání dat, zejména biometrických veličin, terestrickými metodami (SIMON a kol., 2010).

3.3.1 Analýza obrazu

Základní vlastností systému analýzy a zpracování obrazu je schopnost vytvářet digitální obrazy různých typů (barevné, šedé, binární), dále je zpracovávat, měřit a získaná data statisticky vyhodnocovat. Analýza obrazu je analytická metoda, která jako vstupní informace využívá digitalizované obrazy. **Digitalizovaný (digitální) obraz** vzniká v procesu digitalizace, kdy se původní obraz (např. obraz scény, snímáný televizní kamerou, obraz předlohy sejmutý skenerem apod.) rozkládá na elementární částičky - tzv. pixely.

3.3.2 Pixel

Pixel (obrazový bod) je nejmenší bod obrazu. Počet aktuálních obrazových bodů je dán velikostí obrazové matice, která závisí na konkrétní konfiguraci systému, zvláště pak na digitalizační kartě (např. 600 x 480, 800 x 600, 1024 x 768, 1920 x 1200 pixelů apod.). Tyto hodnoty, vyjadřující velikost obrazové matice, nám udávají **rozlišení obrazu**. V teorii analýzy obrazu rozlišujeme tři základní typy obrazů: barevné, šedé a binární.

3.3.3 Barevné obrazy

Barevné obrazy jsou složeny ze 3 barevných složek – červené, zelené a modré (red, green, blue – dále jen RGB). Hodnoty pixelů, vyjadřující intenzitu uvedených složek se pohybují v intervalu od 0 do 255 pro každou z uvedených složek. Ke zpracování barevného obrazu se často používá pouze jeho intenzitní složka. Odstín (hue) a sytost (saturation) zůstávají u typických kontrastujících a ostřících transformací stejné.

3.3.4 Šedé obrazy

Šedé obrazy jsou obrazy odvozené a reprezentují podmnožinu obrazů barevných. Hodnoty pixelů šedého obrazu se mění v intervalu 0-255, ale jsou (na rozdíl od typických barevných obrazů) v každém jeho pixelu identické pro všechny tři složky (RGB).

3.3.5 Binární obrazy

Binární obrazy vznikají segmentací barevných (šedých) obrazů. Jsou tedy určitým zjednodušením původních obrazů. Tyto obrazy mohou v každém pixelu nabývat pouze 2 možných hodnot: 0 pro pozadí a 1 pro objekty a struktury. Používají se zejména pro měření tvarů a velikostí a jsou meziproduktem a významnou pomůckou při analytickém zpracování barevných a šedých obrazů. Binární obrazy jsou výsledkem tzv. prahování.

3.3.6 Prahování

Jako prahování (thresholding) je označován proces, kterým se definují parametry pro následnou segmentaci barevného obrazu. Pomocí tohoto postupu je možno nastavit dolní a horní prahové hodnoty pro R, G, B složky barevného obrazu (celkem 6 hodnot) a dále hodnotu tolerance, která specifikuje eventuální rozšíření rozsahu segmentace.

Odečítáme-li hodnotu aktuální tolerance od dolních prahových hodnot R, G, B složek a přičítáme-li hodnotu aktuální tolerance k horním prahovým hodnotám R, G, B složek, dostaneme nové (tj. nižší dolní a vyšší horní) prahové hodnoty pro segmentaci.

3.3.7 Hloubka obrazu

Digitální obraz je kromě rozlišení charakterizován ještě tzv. barevnou hloubkou (Color depth, Bit depth). Její hodnota činí u moderních systémů analýzy a zpracování obrazu nejméně

24 bitů. Ve fotografii běžně používaná 24 bitová barevná hloubka má rezervováno 24 bitů na každý pixel (Bit per Pixel, bpp) a je tedy schopná vytvořit celkem: $2^{24} = 16.777.216$ různých barev. V RGB modelu je každý pixel tvořen 3 kanály (Channels), které popisují příspěvek červené (Red), zelené (Green) a modré (Blue) složky do celkové výsledné barvy pixelu. V literatuře se proto uvádí barevná hloubka vztažená ke každému kanálu (Bit per Channel) a potom např. 8 bitů na každý kanál znamená $3 \times 8 = 24$ bitů na každý pixel. Je tak třeba si vždy všimnout, zda uvedená barevná hloubka je myšlena na pixel nebo kanál. Není však pravidlem, že jednotlivé barevné kanály musí mít stejnou barevnou hloubku. Rozlišení a hloubka obrazu závisí na typu systému použité obrazové analýzy, použitém operačním systému, ovladači obrazovky a hardwarové konfiguraci. Např. systém analýzy a zpracování obrazu NIS – Elements AR je schopen pracovat až s 16 bity na každý použitý kanál (R, G a B).

3.3.8 Základní typy morfologických operací

Zpracování obrazů se řídí logickými pravidly, vycházejícími např. z principů matematické morfologie a není závislé na úrovni pořízení vstupního obrazového materiálu. Jinými slovy – stejnými obrazově analytickými metodami se mohou zpracovávat mikroskopické, makroskopické nebo i letecké (kosmické) snímky.

Zpracování binárních obrazů je prováděno na principech matematické morfologie (SERRA 1982).

3.3.8.1 Eroze

Používá se pro zjednodušení binárního obrazu. Po provedení eroze se objekty zmenší, protože se tím ubere jejich vnější vrstva pixelů. Je-li objekt nebo úzký výběžek menší než ubíraná šířka, zmizí z obrazu.

3.3.8.2 Dilatace

Při dilataci je k objektu přidána vnější vrstva pixelů (tzv. slupka) a objekty se tím zvětší. Je-li vzdálenost mezi dvěma objekty menší než dvojnásobná tloušťka slupky, objekty se spojí. Stejně tak, je-li díra v objektu menší než dvojnásobná tloušťka slupky, vyplní se.

3.3.8.3 Otevření

Otevření je eroze následovaná dilatací stejného rozsahu, takže velikost objektu se významně nemění. Otevření vyhlazuje kontury, odstraňuje malé objekty a rozpojuje části spojené "úzkým přemostěním", čímž objekty zjednoduší.

3.3.8.4 Uzavření

Uzavření je dilatace následovaná erozí stejného rozsahu. Velikost objektů tím není podstatně změněna. Operace vyhladí obrysy a zaplní malé díry a zářezy. Rovněž může spojit těsně sousedící objekty.

3.3.8.5 Homotopické transformace

Jsou to transformace, které nemění topologické vlastnosti obrazu. Hlavní zásadou je, že zůstává zachován počet objektů a počet děr, i když se mohou podstatně měnit velikost a tvar. Otevření, uzavření, eroze a dilatace nejsou homotopické transformace.

Homotopické transformace nejsou základní transformace matematické morfologie, ale jsou nezbytné pro zpracování binárních obrazů.

3.3.8.6 Vyčištění

Je také nazýváno geodesickým otevřením. Nejprve eroduje obraz, takže malé objekty zmizí z obrazu. Pak jsou zbývající objekty zrekonstruovány do jejich původní velikosti a tvaru. Výhodou této operace je, že malé objekty zmizí, ale zbytek obrazu zůstane nedotčen.

3.3.8.7 Vyplnění děr

Tato operace vyplňuje díry uvnitř objektů. Je užitečná v případě, kdy dokážeme detekovat pouze hranice objektů. V konečné fázi operace jsou hranice transformovány na uzavřené oblasti.

3.3.8.8 Strukturní elementy

Eroze, dilatace, otevření, uzavření, vyčištění a některé další operace s binárními obrazy jsou definovány typem matice a počtem iterací. Matici někdy nazýváme též strukturní element nebo kernel. Typ matice nám (zjednodušeně řečeno) udává počet pixelů, jichž se bude daná operace týkat a jejich rozmístění kolem středu strukturního elementu.

Aplikace výše uvedených a dalších transformací v analýze obrazu má některá omezení způsobená digitalizací. Digitalizované obrazy jsou maticová zobrazení analogových předloh, sejmutých cestou diskretního vzorkování spojitého analogového signálu. Dalším omezením je konečný výřez snímaného obrazu.

3.3.9 Obecný postup zpracování obrazu počítačovou analýzou obrazu

Základní etapy zpracování obrazu počítačovou analýzou jsou tyto:

- a) příprava a snímání objektů
 - příprava objektu na snímání a měření,
 - snímání (digitalizace) objektu.
- b) měření objektů
 - kalibrace,
 - prahování barvy – předběžné určení měřených struktur,
 - digitální čištění měřené struktury – její definitivní určení,
 - vlastní měření potřebných veličin.
- c) zápis výsledků, výstup

3.3.9.1 Měření

Měření je zásadní funkce obrazové analýzy. Začíná kalibrací systému, následuje kvantitativní vyhodnocení obrazu (volba vhodné statistiky - texturální nebo objektové, výběr

veličin, definování masky, resp. měřicího rámečku a obrazů, které mají být do měření zahrnuty) a končí vyhodnocením a prezentací dat.

Metoda analýzy a zpracování obrazu umožňuje mj. např. měření délek, ploch, obvodů a tvarů zobrazených (a to i velmi nepravidelných a tedy běžnými metodami prakticky neměřitelných) objektů. Je schopna rovněž měřit barevné vlastnosti (intenzitu, odstín, sytost) a vyhodnocovat např. distribuci hodnot červené, zelené a modré složky (RGB) v aktuálním barevném obraze nebo v jeho uživatelem vymezené části. Takto může být barevně charakterizován každý zobrazený objekt. Obraz je možno rovněž digitálně zaostřit (rozostřit) nebo jinak upravit. Samozřejmostí je možnost archivace takto pořízených obrazů podle uživatelem zvoleného klíče (velikost, barva, typ objektu, název, autoři atd.).

3.3.9.2 Kalibrace

Kalibrace má klíčový význam pro měření. Přiřazuje objektům jejich reálný rozměr. Kalibrace se provádí převážně již při snímání obrazů.

3.3.9.3 Objektová a texturální měření

Před realizací měření je nutno rozhodnout, zda nás zajímá textura nebo objekt. Výsledkem texturálního měření jsou hodnoty veličin v jednotlivých polích (texturách) a následujícím výběrem může uživatel definovat prostor, ve kterém budou provedeny výpočty základních statistických veličin pro textury.

Výsledkem objektového měření jsou hodnoty veličin jednotlivých objektů a následným výběrem může uživatel definovat prostor, ve kterém budou provedeny výpočty základních statistických veličin pro objekty.

3.3.9.4 Masky

V převážné většině měření je zapotřebí jeho zúžení na tzv. oblast měření. Tato oblast je pak definována speciálním binárním obrazem libovolného tvaru, nazývaným obraz masky (range of interest – ROI).

3.3.9.5 Měřicí rámeček

Jedná se o pravoúhlou oblast, na kterou jsou omezena měření veličin. Má odlišný význam pro objektové a pro texturální měření. Při současném použití měřicího rámečku a masky je definitivní oblast měření definována průnikem tohoto rámečku a masky.

3.3.9.6 Obrazy zahrnuté do měření

Barevný obraz, binární obraz, obraz masky (obraz měřicího rámečku). Barevný obraz se používá např. pro měření zastoupení RGB složek, měření intenzity nebo typického odstínu. Binární obraz se používá např. pro měření tvaru a velikosti (plocha, obvod apod.). Obraz masky se často používá (v závislosti na definovaném měřicím rámečku) ke zúžení oblasti měření.

3.3.9.7 Měření veličiny

Většina veličin je definována jak pro objektová, tak i pro texturní měření, existují však některé výjimky. Například plošný podíl plochy může být přiřazen pouze textuře, tzn. že jde o typickou veličinu texturního měření. Oproti tomu např. Feretovy průměry mají relevantní interpretaci pouze v případě objektového měření.

Pro lepší představu uvádíme alespoň stručný výčet nejdůležitějších veličin používaných pro různé typy měření:

a) veličiny používané pro objektová i texturní měření:

- plocha,
- odchylka intenzity,
- typický odstín,
- odchylka odstínu,
- střední hodnota červené složky,
- střední hodnota zelené složky,
- střední hodnota modré složky,
- střední hodnota intenzity,
- střední hodnota saturace,
- střední sečna,
- obvod,
- objem odpovídající válci,
- objem odpovídající kouli a další.

b) veličiny používané pouze pro objektová měření:

- x-souřadnice těžiště,
- y-souřadnice těžiště,
- kruhovost,
- výstřednost-elongace,
- ekvivalentní průměr,
- zaplněná plocha,
- míra zaplnění,
- délka,
- šířka,
- maximální Feretův průměr,
- minimální Feretův průměr,
- orientace a další.

c) veličiny používané pouze pro texturní měření:

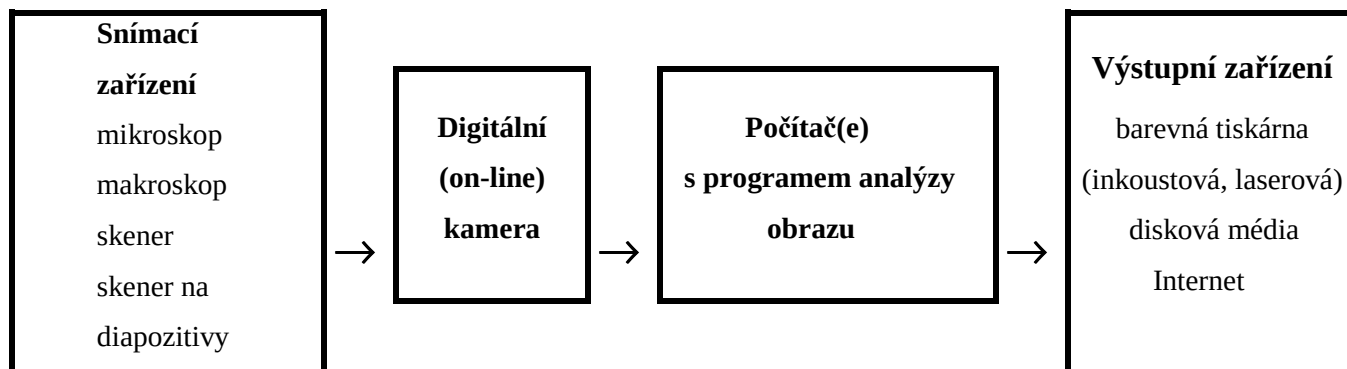
- plošný podíl,
- počet objektů,
- plocha povrchu vztažená na jednotku objemu a další.

Vlastní výčet úloh, které je možno řešit s využitím metod analýzy a zpracování obrazu přesahuje rámec tohoto textu.

3.4 Počítačová analýza obrazu uplatňovaná v nové metodě HÚL

Předkládaná metoda k danému účelu využívá specializovaného software českého původu počítačové analýzy obrazu NIS – Elements AR.

Základní princip použití počítačové analýzy obrazu v obecném vyjádření a návaznost jednotlivých zařízení ukazuje obrázek č.1.



Obr. č.1 : Schéma možného technického řešení počítačové analýzy obrazu

Laboratoř analýzy a zpracování obrazu je obvykle vybavena následujícím technickým zařízením (s ohledem na využití nejen pouze v hospodářské úpravě lesa):

- snímací zařízení
 - mikroskop s fázovým kontrastem, polarizovaným světlem a úpravou pro využití fluorescence (umožňuje zobrazení a snímání objektů o velikosti od cca 0,001 mm),
 - makroskop s kvalitní optikou (umožňuje zobrazení a snímání objektů o velikosti od cca 0,1 mm do cca formátu A3),
 - barevný skener s optickým rozlišením 600 dpi (tj. bodů na 1 palec), softwarovým až 2400 dpi,
 - skener na diapozitivy

Snímání při použití mikroskopu a makroskopu umožňuje digitální barevná on-line kamera s rozlišením alespoň 5 Mpix.

- vyhodnocovací zařízení
 - 1 – 2 PC (Pentium 4, 3.00 GHz, 1-4 GB RAM, 120-200 GB HDD, 24“ monitory) s programy analýzy a zpracování obrazu (např. systém NIS Elements – AR)
- výstupní zařízení
 - barevná inkoustová A3 tiskárna,
 - barevná laserová tiskárna,
 - možnost uložení na pevný (externí) disk, flash-disk nebo vypálení na CD, DVD.

3.4.1 Vstupní media

Jako základní vstupní media ke zjišťování stavu lesa se používají především:

- panchromatické (černobílé) snímky pozemní i letecké; Některé snímky (zejména letecké) byly pořízeny např. ve 40. letech 20. století, kdy ještě nebyla rozvinuta technologie barevné fotografie. Chceme-li však provést srovnání současného stavu a stavu z té doby, nevyhneme se i jejich použití.
 - barevné snímky pozemní i letecké,
 - spektrozonální letecké snímky;

Spektrozonální snímky v nepravých barvách se pořizují měřičskými kamerami na speciální barevný materiál, jehož citlivost je posunuta směrem k delším vlnovým délkám. Ten je schopen zaznamenat obraz ve třech spektrálních pásmech, které odpovídají červené, zelené a blízké infračervené oblasti záření.

- multispektrální letecké snímky;
Klasické multispektrální snímky se pořizují speciálními kamerami se čtyřmi až šesti spektrálními pásmy, z nichž jedno zahrnuje oblast blízkého infračerveného spektra. K lesnické interpretaci se používají (na rozdíl od snímků spektrozonálních) tzv. barevné syntézy jednotlivých spektrálních pásem.

4. Literární podklady – využití obrazových médií ke zjišťování stavu lesa

Tato kapitola je zaměřena na tzv. rozbor literárních podkladů, které se zaměřují na danou problematiku. Z tohoto pohledu se tedy jedná o pojednání o možnostech využití obrazových médií ke zjišťování stavu lesa s doložením konkrétních hodnot přesností těchto postupů. Z těchto důvodů je kapitola rozčleněna na dílčí pasáže tak, aby bylo možné nejdříve odvodit hlavní oblasti používání obrazových médií v lesním hospodářství. Následuje rozbor typů objektů, vhodných k mapování a na závěr doložení přesností tohoto mapování. Přesnosti mapování jsou charakterizovány na základě dvou přístupů. První přístup provádí srovnání přesností výsledné interpretace konkrétního objektu podle jednotlivých druhů snímků, druhý pak uvádí dosahované přesnosti výsledných interpretací podle jednotlivých typů objektů a druhů obrazových médií.

4.1 Hlavní oblasti použití obrazových médií ve vztahu k využití v lesním hospodářství

Na základě analýzy literárních pramenů vztahujících k tomuto tématu je možno vylíčit tři základní oblasti použití obrazových médií k danému účelu:

- mapování ploch bez lesních dřevin a lesních porostů,
- mapování lesních porostů,
- hodnocení zdravotního stavu lesních porostů.

4.2 Mapování ploch bez lesních dřevin a lesních porostů

V tomto případě se jedná o interpretaci (vylišování) např. následujících typů objektů:

- lesní cesty,
- odlesněné plochy (holiny),
- vývraty,
- spáleniště,
- zemní práce (eroze),

- bystřiny, řeky.

4.3 Mapování lesních porostů

Do této oblasti použití obrazových médií k lesnickým účelům je možno zařadit interpretace těchto typů objektů:

- typologických jednotek,
 - druhů dřevin,
 - pokryvnosti dřevin,
 - zápoje dřevin,
 - okrajů porostů,
 - základních taxačních charakteristik:
- a) věk,
 - b) tloušťka,
 - c) výška,
 - d) počet stromů,
 - e) zásoba,
 - f) hustota
 - biomasy,
 - sukcesních stadií porostů,
 - lesních kultur.

4.4 Dosahované přesnosti interpretovaných „objektů“ z jednotlivých typů obrazových médií

Danou problematiku je možno charakterizovat na základě dvou základních přístupů:

- První přístup (A) provádí srovnání přesností výsledné interpretace konkrétního objektu podle jednotlivých druhů snímků - viz tabulka č.1. Výsledkem tohoto přístupu by mělo být doporučení, které z použitých obrazových médií se z hlediska přesnosti nejlépe hodí k vylišení konkrétního „objektu“.
- Přístup druhý (B) uvádí dosahované přesnosti výsledných interpretací podle jednotlivých typů objektů a druhů obrazových médií - viz tabulka č.2.

Z hlediska množství literárně doložených příspěvků věnovaných tomuto tématu se jich maximální množství zabývá přístupem druhým, tj. (B).

Interpretovaný „objekt“	Doložená přesnost	Použitý druh snímku - data	Autor
Hustota porostu Nelesní půda	88,2 % - (73,7 %) - hustý porost 65,0 % - (57,5 %) - řídký porost 100 % - (92,6 %)	Satelitní TM - Thematic Mapper a (MSS - Multi Spectral Scanner)	PRAJAPATHI, 1990
Staré a mladé porosty Holiny (čerstvé) Odlesnění plochy Korunový zápoj Defoliace	Stejná vypovídací schopnost	Satelitní TM - Thematic Mapper a ERS - 1 SAR	ZAWILA, NIEDZWIECKI, 1994
Druhy dřevin Výška dřevin Hustota porostů	90% + max 50 % max 74 %	Satelitní, Letecké kombinace: Landsat TM a CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager) PLA (SPOT Panchromatic Linear Array) kombinace SPOT a Dem (digitální model terénu)	FRANKLIN, 1994
Hustota porostů	95,4 % 74 % 81 %	Satelitní CIR (colour infrared) USGS (US Geological Survey orthophoto) TM (Thematic Mapper)	BROCKHAUS, 1989

Tab. č. 1: Srovnání přesnosti interpretace konkrétního objektu - přístup „A“

4.4.1 Klasifikace (mapování) lesa

Obecně je možno konstatovat, že výše uvedených nejrůznějších typů obrazových médií se používá k mapování a monitorování stavu lesa. K dosažení tohoto cíle je možno dojít prostřednictvím řešení minimálně dvou základních metodických postupů:

- Segmentace,
- interpretace snímků (fotointerpretace).

4.4.1.1 Segmentace

Z hlediska výsledků provedené obsahové analýzy literárních pramenů je možno daný metodický postup charakterizovat např. následovně. Jedná se o metodu definování diskrétních objektů nebo tříd objektů na snímcích (RYHERD, WOODCOCK 1996).

Zároveň je možno konstatovat, že postupy které byly použity k provádění segmentací, prošly jistým vývojem. Zde je možno jmenovat používání nejrůznějších interpretačních klíčů, které byly využity v pracích autorů KRISHNAMOORTHY, BHATTACHARYA, NATARAJANA, SWAMINATHAN, RAMESH 1993; JAGTAP, UNTAWALE, INAMDAR 1994 nebo ŽIHLAVNÍK, PAĽAGA 1995.

Interpreované „objekty“	Doložená přesnost (chyba)	Použitý druh snímku - data	Autor
Typy lesa (příp. porosty)	55 % - 82%	Satelitní Landsat, Landsat TM + GIS	PRIETO, GONZALES 1996
	88,2 % - 83 %	Satelitní Landsat (tm)	SADER, AHL, LIOU, LIOU 1995
	72 % - 82%	Kombinace barevných a texturních dat.	KUSHAWA, KUNTZ, OESTEN 1994
	zvýšení přesnosti o 11,1 %	Blíže nespecifikováno	KESTEREN 1992
	68 %	Letecké Blíže nespecifikováno	ZHOU 1986
Dřeviny	90 % +	Satelitní Landsat TM	WHITE, KROH, PINDER 1995
	rod - 73 % druh - 58 % (menší než 6 %)	Letecké CIR (Colour Infrared)	LEJEUNE, LECOMTE, PREVOT 1993
	88 %	Letecké Blíže nespecifikováno	SPELLMANN 1987
Tloušťka stromů	(5 - 7 %)	Letecké Blíže nespecifikováno	NAESSET 1990
Zásoba (Biomasa)	- stojící zásoba (max. 17,7 %) - pozemní biomasa (max. 12, 9 %)	Letecké Černobílý isopanchromatický T - 42	DANILIN 1993
	(2 % - 5 %)	Letecké Blíže nespecifikováno	NAESSET 1990
	(5,5 %)	Satelitní a letecké Kombinací: multispektrální Landsat 2, Helicopter - borne spectroradiometer	SAUKKOLA, JAAKKOLA 1983
	95,7 %	Letecké Blíže nespecifikováno	BORISOV, KASHKIN, KHLEBOPROS 1987
	(směrodatná odchylka: 20 % - 30 %)	Letecké Monochrome	TOMTER 1988
Hustota porostů	88,2 % - (73,7 %) - hustý porost 65,0 % - (57,5 %) - řídký porost	Satelitní TM Thematic Mapper a MSS - Multi Spectral Scanner	PRAJAPATHI, 1990
	měř.: 1 : 250 000 69,6 % - hustý porost 79,2 % - řídký porost měř.: 1 : 1 000 000 35,9 % - hustý porost 70,1 % - řídký porost	Satelitní Landsat MSS (Multi Spectral Scanner)	LAL, PRAJAPATHI 1989
Počet stromů	směrodatná odchylka mýtní porosty 15,2 % - 26,2 % mladé porosty 41,4 % - 44,2 % (18 %)	Letecké Blíže nespecifikováno	NAESSET 1996
		Letecké Blíže nespecifikováno	BORISOV, KASHKIN, KHLEBOPROS, 1987
Korunový rádius	(8 %)	Letecké Blíže nespecifikováno	BORISOV, KASHKIN, KHLEBOPROS, 1987
Korunový zápoj	(12 %)	Letecké Blíže nespecifikováno	BORISOV, KASHKIN, KHLEBOPROS, 1987
	87 %	Letecké Blíže nespecifikováno	SPELLMANN 1987
Věk porostů	82 %	Letecké Blíže nespecifikováno	SPELLMANN 1987
Půda bez lesních porostů	92,6 % - 100 %	Satelitní TM - Thematic Mapper MSS - Multi Spectral Scanner	PRAJAPATHI, 1990
	51,3 % - 97,4 %	Satelitní Landsat MSS (multi Spectral Scanner)	LAL, PRAJAPATHI 1989
Zdravotní stav lesních porostů (defoliace)	65 % - 95 %	Letecké Normální a barevný IR film	SCRINZI, TOSI 1985
	pro stanovenou přesnost odhadu 1 % - 5 %: 72 % - 100 % pro stanovenou přesnost odhadu 5 % - 10 %: 94 % - 100 %	Letecké Barevný IR film	NELDER. HOWITT 1991

Tab.č. 2: Srovnání přesnosti interpretace různých „objektů“ - přístup „B“

Od interpretačních klíčů, které jsou nejčastěji spojovány s vizuální segmentací, je velmi blízko k dalším postupům, tj. k tzv. automatickým postupům segmentace. Automatické postupy segmentace jsou doménou počítačového zpracování dat a je možno je nalézt například v pracích autorů JEWELL 1995 či SHANDLEY, FRANKLIN, WHITE 1996.

4.4.1.2 Interpretace snímků (fotointerpretace)

Tento postup v podstatě představuje jeden ze závěrečných postupů klasifikace (mapování) lesa. Obdobně jako segmentace i tento postup prodělal a prodělává svůj vývoj. Jedná se o metodický postup, jehož smyslem je vylišit již procesem segmentace vydefinované diskrétní objekty na snímcích.

Nejčastěji se toto vylišování objektů provádí pomocí analýzy tzv. spektrálních dat. V současnosti je tato procedura rozšířena ještě o analýzu i tzv. texturních dat. Což znamená, že se dané vylišování objektů neprovádí pouze rozbořením složek barevného spektra, ale je kombinováno s charakteristikami, které definují tzv. nebarevné vlastnosti těchto objektů jako je např. jejich velikost, tvar apod. (KUSHWAHA, KUNTZ, OESTEN 1994 či RYHERD, WOODCOCK 1996).

Rovněž je pak výše popsáný postup interpretace snímků ještě kombinován s využíváním nejrůznějších výstupů GISů (geograficko-informačních systémů). Příkladem těchto postupů mohou být práce autorů LEJEUNE, LECOMTE, PREVOT 1993; SADER, AHL, LIOU, LIOU 1995; WHITE, KROH, PINDER 1995; PRIETO, GONZALES 1996.

5. Základní filozofie nové metody hospodářské úpravy lesů

Problémové okruhy a požadavky, z kterých vychází nová metoda HÚL lze formulovat takto:

- a) snížení nákladů nutných na pořízení a vypracování plánu,
- b) minimalizace terénní práce kvalifikovaného taxačního personálu na zařizovaném majetku,
- c) snaha po maximálním využití obrazových dat pomocí počítačové analýzy obrazu,
- d) snaha po maximálním využití dat starého plánu,
- e) využití lokálních růstových modelů zkonstruovaných především nad daty starších plánů .

5.1 Snížení nákladů nutných na pořízení a vypracování plánu

Snížení nákladů nutných na pořízení a vypracování plánu tvoří základní bod metody. Je nepochybné, že bez splnění této podmínky je téměř nemyslitelné, aby sebelepší metoda prorazila na taxační trh. Všechny dílčí kroky, které dohromady vytvářejí takovouto metodu, musí být vcelku tedy méně nákladnější, než je stávající stav, tj. konvenční pořízení plánu. K tomuto účelu bylo zapotřebí podřídit všechny dílčí postupy metody.

Přijmeme-li ten fakt, že proces pořízení plánu je možno zobecnit do řešení dvou základních problémových okruhů, tj. *sběr dat – popis porostů a zpracování těchto dat*, pak **hlavní pozornost metody je zaměřena na sběr dat**. Je samozřejmé, že i zpracování dat především z pohledu technologického je nákladnou záležitostí. Nicméně na tuto oblast je možno v podstatě pohlížet jako na konstantu, neboť v případě použití této metody konkrétní taxační firmou lze předpokládat, že takovouto technologii bude muset vlastnit. Logicky pak tuto technologii budou vlastnit všechny firmy, které metodu budou používat. Z tohoto pohledu zde tedy není příliš prostoru pro hledání úspor. Dospěli jsme proto k závěru, že tato oblast nemůže být tou, na kterou by se měla zaměřit veškerá naše pozornost. Nutno však dodat, že i touto oblastí jsme se zabývali, a proto, především z finančních důvodů, metoda preferuje níže popsanou technologii z pohledu jejího softwarového řešení, tj. spojení software

počítačové analýzy obrazu LUCIA – G a tzv. GIS – ového software TopoL ve vazbě na běžně používané taxační software.

5.2 Minimalizace terénní práce kvalifikovaného taxačního personálu na zařizovaném majetku

Již bylo zdůrazněno, že oblast sběru dat plánu tvoří základní bod metody, neboť zde vidíme možný zdroj výrazných úspor nákladů na pořízení plánu. Je samozřejmé, že tato minimalizace terénní práce nesmí být na úkor vypovídací schopnosti plánu.

Ústředním prvkem této minimalizace je především následující úvaha. Proč se má taxátor při obnovách plánu stejného majetku (tj. stejných porostních skupin, etází) opakovaně zabývat popisem např. mladých a středně starých porostů? Vždyť stejnou službu může poskytnout znalost dat starého plánu a k predikci taxačních veličin může být použit vhodný růstový model! A co víc – data starého plánu je možno zpřesnit (zaktualizovat) například vyhodnocením leteckého snímku. Za fungování tohoto předpokladu je možno hovořit o výrazné úspoře pohybu kvalifikovaného taxátora po lesním majetku. Ve výše uvedené úvaze můžeme jít ještě dále. Nebylo by možné ji rozšířit i na porosty starší či mytně staré? V daném případě by se jednalo opět o výraznou redukci podílu lidské práce při tvorbě plánu.

5.3 Maximální využití obrazových médií pomocí počítačové analýzy obrazu

Prezentovaná metoda klade maximální důraz na využití obrazových médií k tvorbě plánu. Tato procedura v sobě obsahuje pořízení obrazového záznamu a jeho následné vyhodnocení. K samotnému vyhodnocení je použita počítačová analýza obrazu.

Z běžně dostupných obrazových médií ve vazbě na cenu jejich pořízení metoda preferuje letecké snímky. Bylo by jistě možné namítnout, že v současné době by snad již bylo výhodnější využívat satelitních snímků (jako např. snímky ze satelitu IKONOS II), které pomocí jedné scény pokryjí výrazně větší území než snímky letecké a jejichž cena může být pro některé subjekty již velmi přijatelná. Nutno však dodat, že v současné době tyto satelitní snímky ještě nedisponují takovým rozlišením jako snímky letecké. Rozlišení snímků ze satelitu IKONOS II (jako toho nejlepšího, co je v současné době k dispozici) se pohybuje v rozmezí 1 – 4 m podle typu snímku (panchromatické, resp. multispektrální), naopak rozlišení leteckých snímků pro obvyklá měřítka se pohybuje v řádu několika desítek centimetrů! Kdybychom k danému účelu využívali satelitních snímků, nebylo by možné provádět především detailní rozbor korunové vrstvy lesních porostů. Bez této analýzy by nebylo možné provádět např. hodnocení zdravotního stavu jednotlivých stromů, avšak především stanovovat počty stromů na jednotku plochy a tudíž ani vypočítávat zásoby porostů.

5.4 Využívání dat starého plánu

Nová metoda hospodářské úpravy lesů věnuje velkou pozornost datům starších plánů. Pozornost v tom smyslu, že v nich spatřuje velké množství informací, kterých je možno následně využít. Metoda chce z tohoto pohledu poukázat na možnost, která do této doby nebyla téměř využívána, tj. na následnou práci s těmito daty. Tvorba plánu pak nepředstavuje

pouze tzv. sběr dat k danému časovému okamžiku, ale využívání těchto dat především k tvorbě lokálních růstových modelů.

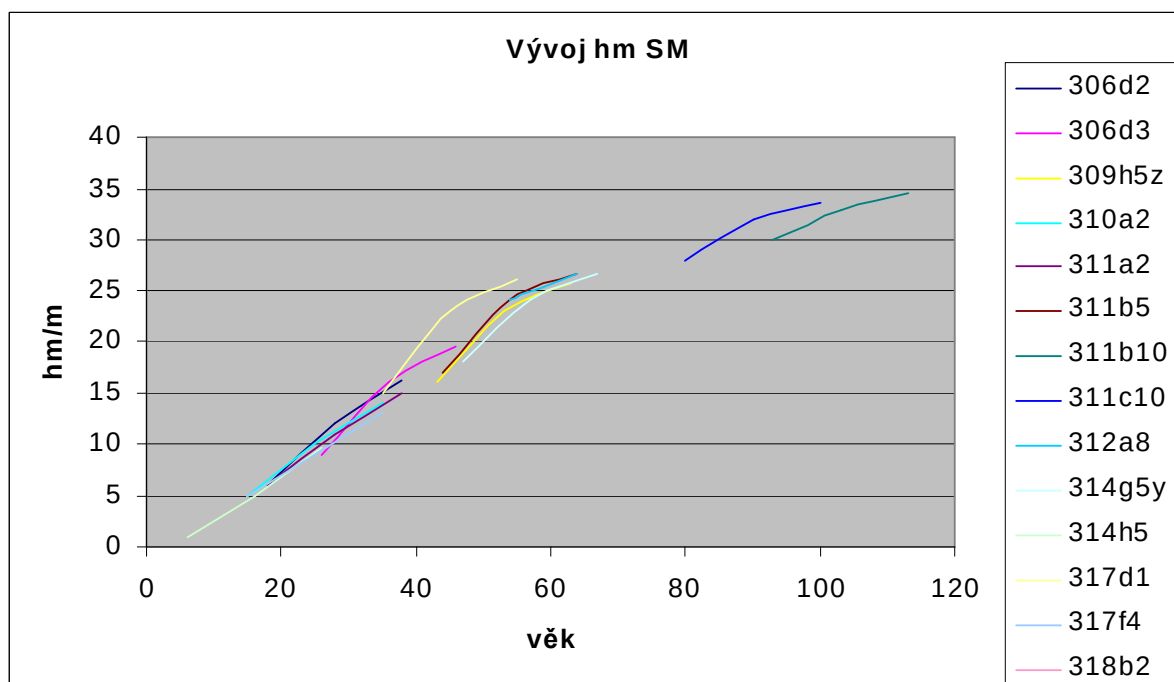
5.5 Tvorba lokálních růstových modelů

Tvorba lokálních růstových modelů představuje průlom v dosavadním využívání obecných růstových modelů (růstových tabulek) používaných v hospodářské úpravě lesů.

Do této doby taxační praxe pracovala výhradně s Taxačními tabulkami (VÚLHM, ÚHÚL 1990), výjimečně s Růstovými modely hlavních dřevin ČR (ČERNÝ, PAŘEZ, MALÍK 1996). Obecně je možno konstatovat, že tyto tabulky jsou konstruovány tak, že jejich vypovídací schopnost se vztahuje na území celého našeho státu. K jejich tvorbě byla totiž použita data ze zkusných ploch, které jsou rozmístěny po celém území ČR. Vypovídací schopnost těchto tabulek je vysoká z pohledu jejich využití pro celou republiku. Nicméně data z těchto tabulek se mohou (a ve většině případů tomu tak jistě i je) výrazně lišit od dat konkrétního lesního majetku. Použití takovýchto tabulek je opodstatnělé v případě centrálně řízené ekonomiky, z pohledu jejich vypovídací schopnosti pro celou republiku a následného vyhodnocení údajů např. z pohledu státní správy lesů.

Využití lokálních růstových modelů, které budou zkonstruovány především z dat starších plánů má za úkol poskytnout vlastníkově informace o vývoji základních taxačních veličin jeho lesních porostů s daleko větší vypovídací schopností (přesností)! O tom, že tato přesnost bude výrazně vyšší snad na tomto místě není ani potřeba diskutovat, neboť jak bylo zdůrazněno, k danému účelu bude využito dat ze starších plánů (taxačních veličin) platných na konkrétním lesním majetku.

Možnost využití dat starších plánů je prezentována na obrázku č. 2. Jedná se o ukázkou predikce střední porostní výšky konkrétních porostních skupin ze dvou na sebe navazujících starších plánů s následnou predikcí hodnoty této taxační veličiny po deseti letech.



Obr. č. 2: Ukázka využití růstového simulátoru k predikci hodnot střední porostní výšky pro dřevinu SM

Konkrétní hodnoty provedených simulací jsou obsahem tabulky č. 3. V této tabulce jsou hodnoty věků konkrétních porostních skupin označeny symboly „T1“ a „T2“ (data z dvou po sobě následujících plánů) a „hm“ označuje jejich střední porostní výšky. Analogicky pak veličina „Tpřed.“ představuje věk, pro který bude provedena růstovým simulátorem predikce hodnoty střední porostní výšky „hmpřed.“ pro tento věk porostní skupiny (ZACH 2001).

POROSTNÍ SKUPINA	T1	hm	T2	hm	Tpřed.	hmpřed.
306d2	18	6	28	12	38	16,2
306d3	26	9	36	16	46	19,4
309h5z	43	16	53	23	63	25,6
310a2	15	5	25	10	35	14,1
311a2	18	6	28	11	38	14,9
311b5	44	17	54	24	64	26,6
311b10	93	30	103	33	113	34,5
311c10	93	30	103	33	113	34,5
312a8	80	28	90	32	100	33,7
314g5y	44	17	54	24	64	26,6
314h5	47	18	57	24	67	26,5
317d1	6	1	16	5	26	9,7
317f4	35	15	45	23	55	26,0
318b2	15	5	25	9	35	13,1

Tab. č. 3: Hodnoty středních porostních výšek provedených predikcí pro dřevinu smrk

6. Popis nové metody hospodářské úpravy lesů

Východiskem pro pochopení metody je popis sledů prací, jejichž výsledkem je prezentovaná metoda. Kapitola se skládá ze čtyř hlavních částí. První z nich se zabývá metodickými problémy metody, druhá problematikou podkladových a vstupních materiálů. Třetí část je věnována jednotlivým způsobům jejího zpracování – tvorbě výstupů metody, poslední (čtvrtá) část je zaměřena na tzv. nadstandardní výstupy metody.

Nutno na tomto místě ještě upozornit na tu skutečnost, že prezentovaná metoda je koncipována tak, aby vyhovovala v současné době platné legislativě (zákon č. 289/1995 Sb., vyhláška Mze č. 83/1996 Sb. a č. 84/1996 Sb.) a byla v souladu s Informačním standardem LH.

6.1 Specifikace metodických postupů nové metody hospodářské úpravy lesů

Není možné hovořit o nové metodě HÚL, aniž bychom nepojednali o základních metodických postupech, které především ve fázi pořizování primárních dat plánu tvoří její základ. Z tohoto pohledu se jedná především o následující druhy problémových okruhů:

- a) druh použitého obrazového média, jeho rozlišení a doba pořízení,
- b) tvorba ortofotorektifikovaného snímku ve vazbě na digitální model terénu (DMT),
- c) vylišení hranic porostních skupin,
- d) klasifikace jednotlivých druhů dřevin,
- e) tvorba syntéz binárních obrazů jednotlivých druhů dřevin, vylišení směsí dřevin,
- f) zjišťování plošného zastoupení jednotlivých druhů a směsí dřevin,
- g) hodnocení zápoje (hustoty) porostů,
- h) stanovení počtu stromů na jednotku plochy.

Prezentovaná metoda je zpracovávána především ve dvou základních softwarových produktech, tj. v programu počítačové analýzy obrazu LUCIA – G a tzv. GIS programu TopoL (kromě samozřejmého napojení na programy, které jsou běžně používány v současné taxační praxi).

6.1.1 Druh použitého obrazového média, jeho rozlišení a doba pořízení

Předkládaná metoda upřednostňuje letecké (barevné infračervené) spektrozónální snímky digitalizované v rozlišení 900 dpi. Za nejoptimálnější dobu pořízení (nasnímkování) považujeme podzimní období, tj. stav, kdy se lesní vegetace vyskytuje v tzv. podzimním aspektu.

6.1.2 Tvorba ortofotorektifikovaného snímku ve vazbě na digitální model terénu (DMT)

Zásadním bodem pro využití počítačové analýzy obrazu z leteckých snímků je nutnost odstranění jejich deformací, které vyplývají ze středového promítání. Tato problematika je řešena ortorektifikací snímků nad digitálním modelem terénu (DMT). Ten je vytvářen pomocí vrstevnicového plánu (diference vrstevnic 2 m) a je pořizován převážně bez zaměřování vlíčovacích (identických) bodů v terénu. Je samozřejmostí, že snímek, který vznikl popsáním způsobem, musí být snímkem souřadnicově připojeným v geodetickém referenčním systému

Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S – JTSK). Zároveň je možno konstatovat, že výsledný ortofotosnímek je takto vytvořen nad Státní mapou odvozenou (SMO), jakožto v současné době požadovaného výchozího podkladu při tvorbě lesnické mapy.

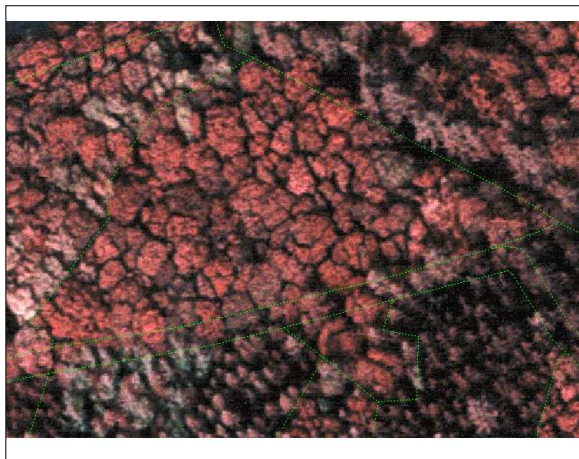
6.1.3 Digitalizace hranic porostních skupin

Prezentovaná metoda pracuje v oblasti rozdělení lesa s převzetím rozdělení do úrovně porostu ze starého plánu (možné je i tzv. dotransformování, příp. předigitalizování hranic porostů podle stavu na snímku). Nejnižší jednotky rozdělení lesa (porostní skupiny) jsou pak vylišovány vizuálně nad ortorektifikovaným snímkem podle následujících zásad:

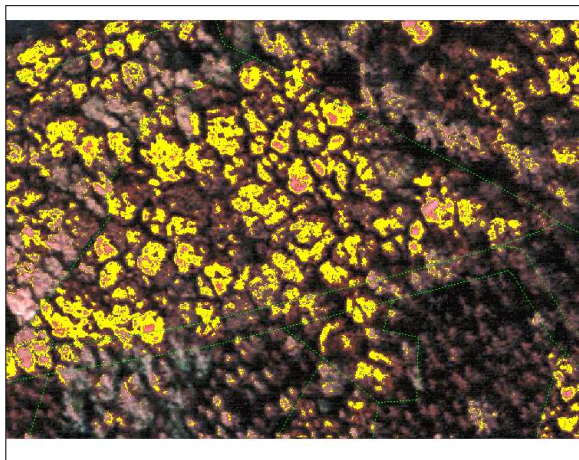
- a) snaha o striktní rozlišení a vylišení skupin jehličnanů a listnáčů, směsí dřevin,
- b) vylišení kompaktních porostních částí,
- c) vylišování provádět na základě velikostí korun a jejich barvy (příp. textury),
- d) přihlédnout k věku porostů (starý plán).

6.1.4 Prahování jednotlivých druhů dřevin (tvorba binárních obrazů korun dřevin)

K tomuto účelu, tj. k vylišení jednotlivých druhů dřevin na konkrétním snímku je používána tzv. metoda prahování. Při této činnosti dochází k interaktivnímu označování míst na barevném obrazu o velikosti 1 až n pixelů, která odpovídají daným reálným objektům, tj. jednotlivým druhům dřevin.



Obr. č.3: Výřez leteckého snímku s vyznačenou hranicí porostní skupiny (zeleně) – výchozí bod prahování binárních obrazů



Obr. č.4: Ukázka počátku procesu prahování binárního obrazu korun jasanů (žlutě)

K této činnosti je tedy nezbytně nutné mít k dispozici údaje z venkovního šetření z tzv. kalibračních ploch (trénovacích množin), na kterých je jednoznačně určen druh a výskyt konkrétní dřeviny jak na daném snímku, tak přímo v terénu (lese). Při popsaném způsobu prahování jsou pak každému druhu dřeviny automaticky přiřazeny parametry prováděné operace, tj. dolní a horní prahová hranice segmentace - „digital number“ (DN), (DN = 0-255) pro každou ze složek (R-červená, G-zelená, B-modrá) barevného obrazu. Výsledné parametry jednotlivých druhů dřevin jsou následně aplikovány na obraz celého snímku, kdy každý

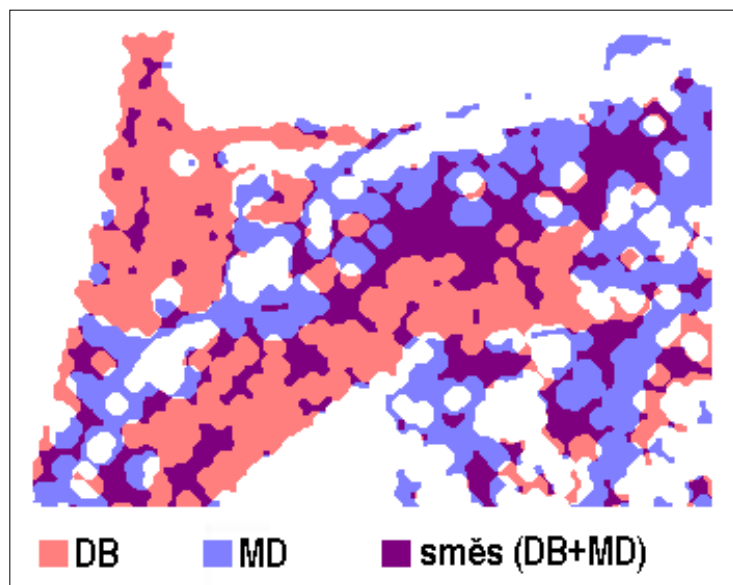
jednotlivý druh dřeviny je označen svým jednobarevným binárním obrazem. Při následné aplikaci všech binárních obrazů jednotlivých druhů dřevin do jednoho snímku dojde v podstatě k vytvoření *tématické mapy výskytu jednotlivých druhů dřevin* na analyzovaném území (snímku).

6.1.5 Tvorba syntéz binárních obrazů (tvorba výsledné tématické mapy zastoupení dřevin)

V procesu vytváření výsledné tématické mapy výskytu druhů dřevin na zkoumaném snímku dochází podle předem vytvořeného algoritmu (ÚHÚL LDF MZLU) k postupnému přidávání binárních obrazů jednotlivých druhů dřevin do výsledné mapy až do konečné fáze, tj. do okamžiku, kdy se na snímku vyskytují všechny druhy lesních dřevin.

Tímto postupem dojde v podstatě k vytvoření dvou základních typů obrazů. Jedním z nich je původní obraz, který odpovídá vstupnímu jednobarevnému obrazu binárnímu z procesu prahování. Druhým typem obrazu je pak ten, který vznikl mícháním původních barevných binárních obrazů jednotlivých dřevin (překryv binárních obrazů). První typ obrazu zachycuje výskyt a lokalizaci stejnorodých druhů dřevin (zastoupení 100), druhý naopak směsí těchto dřevin.

Pomocí zmiňovaného algoritmu, který popisuje pořadí přidávání jednotlivých binárních obrazů do výsledné tématické mapy, jsme schopni zpětně určit z jakých druhů dřevin je výsledná směs složena.



Obr. č.5: Ukázka principu tvorby tématické mapy zastoupení jednotlivých druhů lesních dřevin a jejich směsí

6.1.6 Zjišťování plošného zastoupení jednotlivých druhů dřevin

Zjišťování plošného zastoupení jednotlivých druhů dřevin je prováděno pro nejnižší jednotku rozdělení lesa, tj. porostní skupinu. Nejdříve je binárním editorem vygenerována konkrétní porostní skupina, kterou označujeme jako tzv. masku. Následně je změřena její velikost (v pixlech). Na základě známých popisných parametrů jednotlivých druhů dřevin z procesu prahování (dolní a horní prahová hranice segmentace obrazu) dojde následně k proměření velikosti výskytu konkrétních druhů dřevin v rámci analyzované masky. Podíl velikosti výskytu konkrétního druhu dřeviny k velikosti masky vyjadřuje její plošné zastoupení.

6.1.7 Hodnocení zápoje (hustoty) porostů

Daná problematika je řešena s využitím naprahování obrazu plochy mezi korunami jednotlivých druhů dřevin v rámci analyzované jednotky (porostní skupiny). V daném případě se jedná o tzv. zbytkovou plochu, která je tvořena jak stínem přítomným na daném snímku, tak částí ploch korun, které se nepodařilo v procesu prahování naprahovat. Je však nutno si uvědomit, že i v případě výskytu stejnorodého, plně zapojeného a zakmeněného porostu, se na analyzované plošné jednotce bude vyskytovat jistá část vždy přítomného stínu, tzv. vlastní stín.

Pokud jsme tedy schopni vyjádřit v rámci analyzované plošné jednotky zmiňovanou zbytkovou plochu a plochu, která vyjadřuje vlastní stín, pak na základě rozdílu těchto hodnot předpokládáme, že můžeme kvantifikovat zápoj, příp. hustotu. Tento rozdíl lze vyjádřit jako třídu zbytkové plochy, která je definovaná v níže uvedené tabulce následovně:

Rozdíl (%)	Třída zbytkové plochy	Zápoj (hustota)
do 10	0	9
11-20	1	8
21-30	2	7
31-40	3	6
41-50	4	5
51-60	5	4
61-70	6	3
71-80	7	2
81-90	8	1
91-100	9	0

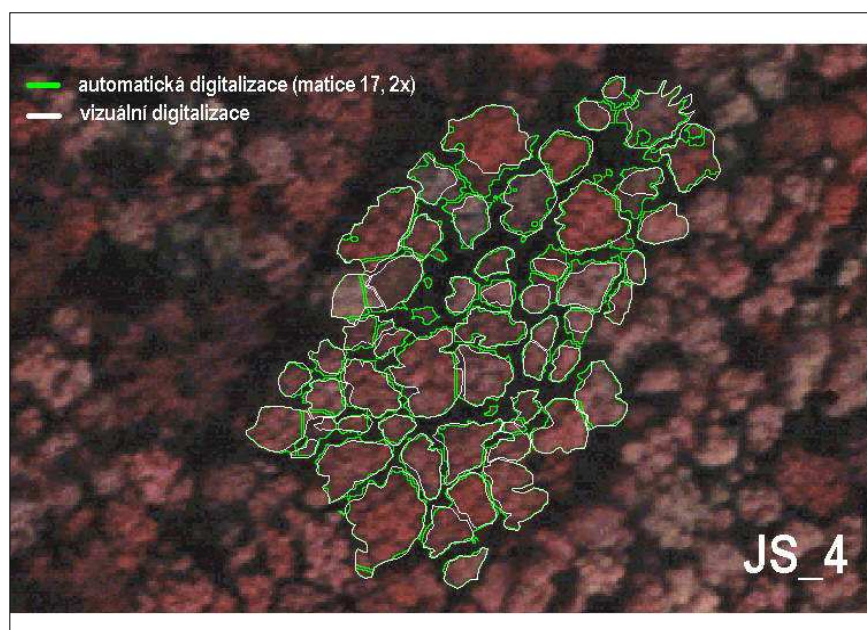
Tab. č.4: Tabulka hodnocení zápoje (hustoty) lesních porostů

Legenda: hustota 0 ... zcela rozvolněný porost
hustota 9 ... zcela zapojený porost

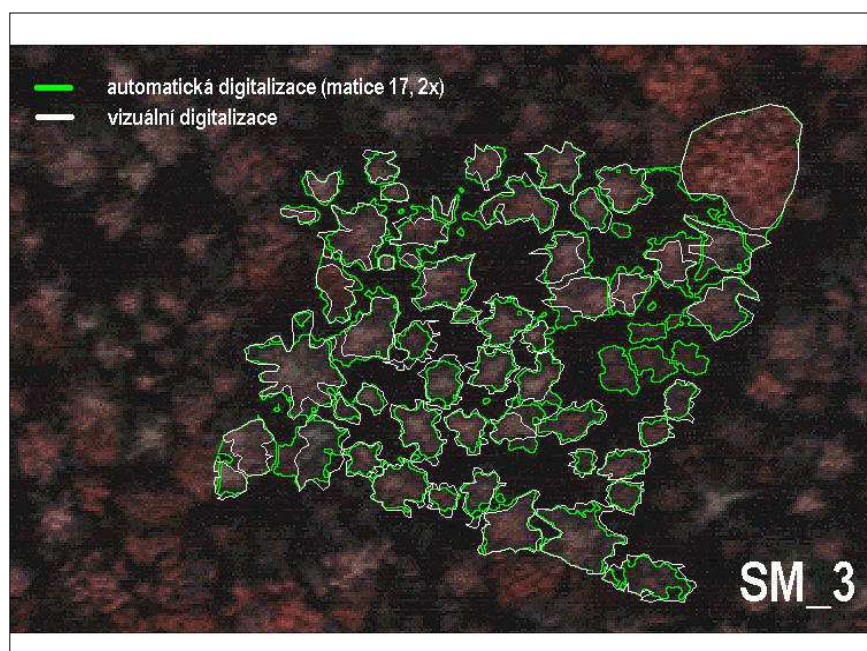
Jak je z tabulky patrné, platí zásada nepřímé úměrnosti mezi třídou zbytkové plochy a zápojem.

6.1.8 Stanovení počtu stromů na jednotku plochy

Zpracování probíhá na základě následujícího postupu. Nejdříve je binárním editorem vygenerována příslušná porostní skupina, ve které bude zjišťován počet stromů. Dochází k nutnému zpracování obrazu (tzv. vyhlazení) a naprahování plochy, která představuje obraz korun všech druhů dřevin, které se vyskytují na této jednotce. Následně je tento obraz zpracován pomocí univerzálních algoritmů (ÚHÚL LDF MZLU), kdy dochází k tzv. binárnímu uzavření, vyhlazení a především morfologické separaci objektů, tj. jednotlivých stromů analyzované jednotky. Následuje proměření těchto objektů z pohledu jejich počtu a výstup dat do tabulkového kalkulátoru.



Obr. č.6: Stanovení počtu stromů – listnatý porost – na základě automatizovaného postupu vyhodnocení



Obr. č.7: Stanovení počtu stromů – jehličnatý porost – na základě automatizovaného postupu vyhodnocení

6.2 Podklady a vstupní materiály

6.2.1 Definovaný lesní majetek

Z pohledu přípravných prací není žádných rozdílů mezi konvenční metodou (v současné době používanou) a metodou prezentovanou. K danému účelu je nutno mít vymezený lesní majetek, pro který budeme zpracovávat plán. Zadáání majetku ke zpracování se provádí obvyklými metodami.

6.2.2 Stávající plán

Metoda předpokládá, že jako další vstupní materiál máme k dispozici starý či ještě lépe starší plány, které se vztahují ke konkrétnímu lesnímu majetku. Opět se ani v tomto případě nejedná o žádný rozdíl oproti přípravným pracím z pohledu konvenční metody. Možné problémy mohou nastat při splnění požadavku na existenci více než jednoho staršího plánu (existence minimálně dvou starších plánů majetku je nutná především z pohledu tvorby lokálních růstových modelů).

V případě starého, tj. v současné době ještě platného plánu, je jistou výhodou existence tohoto plánu v digitální formě. Nutno však konstatovat, že digitální forma tohoto plánu není nutnou podmínkou.

6.2.3 Údaje z OPRL

Je již zaběhlou praxí, že k tvorbě plánů jsou využívány jisté podkladové materiály z Oblastních plánů rozvoje lesů (OPRL). Na této skutečnosti není samozřejmě potřeba nic měnit a údaje potřebné k vypracování plánu se k tvorbě plánu pomocí předkládané metody rovněž převezmou. Z tohoto pohledu se jedná především o údaje kategorizací lesů či typologického mapování lesních porostů daného majetku a jiné.

6.2.4 Ortofotorektifikovaný letecký snímek lesního majetku

V tomto bodu prezentované metody dochází k již podstatnému rozdílu oproti konvenční metodě tvorby plánu. Zmiňovaný rozdíl se netýká ani tak skutečnosti tvorby ortofotorektifikovaného leteckého snímku (s tímto postupem je možno se v současné taxační praxi setkat), ale především v jeho následném zpracování.

Popisovaná metoda k danému účelu využívá tvorby digitálního modelu terénu (DMT), který je přednostně konstruován s pomocí vrstevnicového plánu, tj. bez zaměřování vlíčovacích (identických) bodů přímo v terénu – kritérium minimalizace nákladů (viz. kap. 6.1.2). Zde je zapotřebí vyhodnotit tzv. „střední polohovou chybu“ jako velikost rozdílu mezi liniemi konkrétních hranic na ortofotorektifikovaném snímku a liniemi hranic identického polygonu na mapovém podkladu (SMO). V případě výskytu většího rozdílu než je přípustná odchylka je nutno k danému účelu provést zaměření vlíčovacích bodů přímo v terénu. Výsledkem této procedury je tvorba ortofotorektifikovaného snímku, který je s požadovanou přesností natransformován na SMO a je souřadnicově připojen v geodetickém referenčním systému Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S – JTSK).

Prezentovaná metoda k následnému zpracování upřednostňuje snímky v měřítku 1 : 10 000, konkrétně pak spektrozónální letecké snímky. Nutno podotknout, že spektrozónální snímek není nutnou podmínkou, má-li však být součástí výstupů nové metody i hodnocení zdravotního stavu porostů, pak toto neplatí.

6.2.5 Popis a interpretace jednotlivých druhů dřevin na tzv. kalibračních plochách (trénovacích množinách)

V tomto případě se již jedná o zcela nový prvek předkládané metody oproti metodě konvenční. Popis a interpretace jednotlivých druhů dřevin na kalibračních plochách v terénu totiž představuje, velmi důležitou operaci pro následné zpracování obrazu počítačovou analýzou. Jedná se tedy o venkovní šetření, jehož smyslem je na předem stanovených lokalitách (kalibračních plochách) provést popis objektů – jednotlivých druhů dřevin, které jsou zobrazeny na leteckém snímku. K vymezení těchto ploch se přistupuje především v těch případech, kdy osoba pověřená úkolem interpretace s použitím počítačové analýzy obrazu si není stoprocentně jistá, zda objekt, který popisuje na leteckém snímku je skutečně objektem

popisovaným. Počet a rozmístění kalibračních ploch na analyzovaném majetku se řídí níže uvedenými zásadami, přičemž rozmístění kalibračních ploch je možno volit jak v pravidelné, tak náhodné síti či kombinovaně:

- a) vycházet z digitálního modelu terénu,
- b) ověřit strukturní a texturní parametry korun jednotlivých druhů dřevin podle jejich vývojových fází,
- c) do jednoho oddělení umístit minimálně jednu kalibrační plochu,
- d) popsat na kalibrační ploše co největší množství objektů.

6.2.6 Tvorba lokálních růstových modelů

Jak již bylo uvedeno výše, k danému účelu, tj. k tvorbě lokálních růstových modelů je zapotřebí dat z minimálně dvou posledních plánů analyzovaného majetku. Na základě údajů z těchto plánů jsou vytvořeny simulační růstové modely základních dřevin majetku (ZACH 2001). Následuje jejich využití především z pohledu výpočtů objemů středních kmenů a predikcí středních porostních výšek a středních porostních tloušťek, příp. definování probírkového (podružného) porostu.

Vytváření lokálních růstových modelů je opodstatněné především v případech větších lesních majetků, kde se dá předpokládat dostatečné množství dat pro provádění následných výpočtů nutných k jejich sestavení. V případě menších lesních majetků lze doporučit použití např. již zmiňovaných Růstových a taxačních tabulek (ČERNÝ, PAREZ, MALÍK 1996).

V každém případě je nutné provést ověření fungování daného růstového modelu v terénu (provést tzv. validaci modelu). Předpokládáme, že takovéto ověřování fungování modelu by se mělo pro konkrétní majetek opakovat zpravidla po 30 letech.

6.2.6.1 Výpočet objemů středního kmene

Daná problematika, tj. výpočet objemů středního kmene je řešena s využitím dat ze starých plánů analyzovaného majetku. Objemy středních kmenů majetku jsou výstupem z regresních vztahů lokálního růstového modelu jako výraz závislosti mezi objemy středního kmene a věkovými stupni pro jednotlivé dřeviny daného majetku.

6.2.6.2 Výpočet střední porostní výšky a střední porostní tloušťky

Základní taxační veličiny jsou výstupem z regresních vztahů lokálního růstového modelu jako vyjádření závislosti mezi střední porostní výškou, tloušťkou a věkovými stupni jednotlivých dřevin daného majetku.

Poznámka: body 6.2.6.1 a 6.2.6.2 jsou vyjadřovány ve vazbě na soubory lesních typů (SLT), příp. na jednotlivé hospodářské soubory (HS) lesního majetku.

6.3 Způsob zpracování

6.3.1 Rozdělení lesa

6.3.1.1 Převzetí rozdělení ze starého plánu do úrovně porostu

Metoda problematiku základního rozdělení lesa řeší tak, že přebírá do úrovně porostu rozdělení ze starého plánu. Ve velmi členitých terénech je možné očekávat, že hranice porostů

patrné na leteckém snímku nebudou přesně ztotožněny s přebíraným rozdělením lesa. V tomto případě metoda počítá s možným tzv. dotransformováním, příp. předigitalizováním hranic porostů podle stavu na snímku. Nutně by pak následovalo nové zaplochování a vyrovnaní ploch na výměru lesního majetku.

6.3.1.2 Vizuální digitalizace porostních skupin

Akceptujeme – li převzetí rozdělení lesa do úrovně porostu, je třeba provést digitalizaci (vektORIZACI) porostních skupin, které se vyskytují v rámci jednotlivých porostů.

K danému účelu je použita metoda tzv. vizuální digitalizace, kdy osoba pověřená prováděním daného úkolu označuje hranice míst (porostní skupiny), které se od sebe navzájem viditelně odlišují a ty následně i zapločuje. Tato procedura je tedy vedena především snahou oddělit od sebe jehličnany, listnáče a směsi dřevin s přihlédnutím k údajům starého plánu (především k věku) a struktuře a textuře korun jednotlivých stromů na snímku se vyskytujících.

6.3.1.3 Vizuální digitalizace holin (pasek)

Obdobně jako v případě vektorizace porostních skupin je prováděna i vizuální digitalizace holin, příp. pasek. Výsledkem této procedury je označení hranic ploch, které se v době expozice snímku vyskytovaly ve stavu holin. Předmětem venkovního šetření bude kontrola hranic a popis stavu na jednotlivých plochách.

6.3.2 Digitalizace (vektORIZACE) jiných (ploch mimo tzv. PUPFL) a ostatních ploch

Dalším bodem v procesu zpracování plánu prezentovanou metodou je tzv. digitalizace jiných a ostatních ploch lesního majetku. K tomuto bodu je nutno poznamenat, že je možno zdigitalizovat pouze hranice těch objektů, které jsou na snímku dobře patrné. Proto v tomto případě metoda především předpokládá převzetí linií z jednotlivých vrstev starého plánu, na kterých jsou tyto informace zobrazeny. V případě výskytu nových ploch výše uvedených kategorií je nutné při procesu reambulace mapových podkladů linie těchto objektů zanést do příslušných podkladových vrstev (SMO) a ty následně zvektORIZOVAT. Je samozřejmé, že toto nebude možné provést u všech objektů, a proto bude předmětem venkovního šetření zakreslení těchto nových objektů do pracovních map s následným zdigitalizováním jejich hranic a tzv. zapločováním.

6.3.3 Tvorba popisné části LHP

Smyslem této části metody je zjišťování stavu lesa, tj. tzv. popis porostů. Výsledkem je popis nejnižších jednotek prostorového rozdělení lesa (porostních skupin, resp. etází) a tvorba hospodářské knihy, s cílem získat nutné podklady pro výpočet závazných ustanovení plánu (ve smyslu platné legislativy).

6.3.3.1 Aktualizace údajů o věku jednotlivých porostních skupin

Máme – li vyhodnocené rozdělení lesů až po jeho nejnižší jednotku rozdělení, následuje určení věků těchto jednotek. K danému účelu je využito údajů starého plánu a přičtení počtu let uplynulých od posledního zařízení lesů. V případě, kdy hranice porostních skupin starého

a nového plánu se vzájemně nekryjí, je věk konkrétní porostní skupiny určován jako plošně vážený průměr věků jednotlivých částí, které vytvářejí hodnocenou porostní skupinu.

V případě pasek je věk určován s pomocí údajů z lesní hospodářské evidence (LHE) a následně ověřován v terénu při venkovním šetření.

6.3.3.2 Vyhodnocení zastoupení dřevin

Jedná se o automatizovaný postup zpracování údajů z tzv. kalibračních ploch z venkovního šetření. Tato procedura se v podstatě skládá ze dvou postupů. Prvním z nich je určení počtu jednotlivých druhů dřevin, příp. směsí, postup druhý je pak zaměřen na výpočet jejich zastoupení z konkrétní porostní skupiny (jak v absolutních, tak relativních jednotkách).

K řešení daného úkolu je využíváno dílčích metodických postupů, které jsou založeny na principu interpretace údajů z kalibračních ploch pro popis jednotlivých druhů dřevin.

6.3.3.3 Odvození střední porostní výšky a střední porostní tloušťky

K danému účelu je využito sestavených lokálních růstových modelů. Pomocí simulačních modelů vývoje růstu základních dřevin analyzovaného majetku je provedena predikce vývoje základních taxačních veličin, tj. střední porostní výšky a střední porostní tloušťky ve vazbě na zaktualizovaný věk dřevin konkrétní porostní skupiny.

6.3.3.4 Vyhodnocení hustoty (zápoje) porostů

Automatizované hodnocení hustoty (zápoje) porostů je řešeno s využitím dílčího metodického postupu až do úrovně porostní skupiny. Výsledkem této části metody je konstatování (vyjádřeno číselně), zda porostní skupina se více blíží stavu rozvolněného či zcela zapojeného porostu.

6.3.3.5 Výpočet počtu stromů v porostních skupinách starších 81 let

Nezbytným krokem k automatizovanému výpočtu skutečných zásob je stanovení počtu stromů. Daná procedura je prováděna pouze pro porostní skupiny starší 81 let, k jejímu řešení je využíváno dílčího metodického postupu. V porostních skupinách mladších 81 let je k této činnosti, tj. k odvození počtu stromů, využíváno údajů z lokálních růstových modelů.

6.3.3.6 Výpočet skutečné zásoby porostů jednotlivých porostních skupin starších 81 let

Danou problematiku je opět možno rozdělit do dvou základních oblastí. První z nich řeší výpočet zásoby v porostních skupinách mladších 81 let. K danému účelu je využíváno lokálních růstových modelů a hodnocení hustoty (zápoje) porostů.

Výpočet skutečné zásoby porostů porostních skupin starších 81 let (druhá oblast problematiky) je proveden automatizovaně na základě znalosti následujících dat:

- druhy dřevin,
- zastoupení jednotlivých druhů dřevin (absolutně i relativně),
- objem středních kmenů jednotlivých druhů dřevin,
- počet stromů jednotlivých druhů dřevin.

6.3.3.7 Editace hospodářské knihy

Na základě výše uvedených informací o porostních skupinách analyzovaného majetku jsme schopni provést editaci hospodářské knihy tak, aby obsahovala veškeré požadované údaje dle platné legislativy (viz. obr. č.I přílohy práce).

6.3.3.8 Stanovení závazných ustanovení plánu

V tomto stadiu řešení je možno odvodit závazná ustanovení v souladu s platnou legislativou.

6.3.4 Tvorba mapových výstupů

Nedílnou součástí všech plánů tvoří mapové výstupy. Oproti v současnosti standardně poskytovaným mapám, jako je v tomto případě mapa obrysová, porostní či hospodářská (obdoba mapy těžební), poskytuje prezentovaná metoda navíc dvě speciální mapy. Jedná se o tzv. „speciální porostní mapu (mapu zastoupení dřevin)“ a „mapu zastoupení dřevin na podkladu lesních typů“.

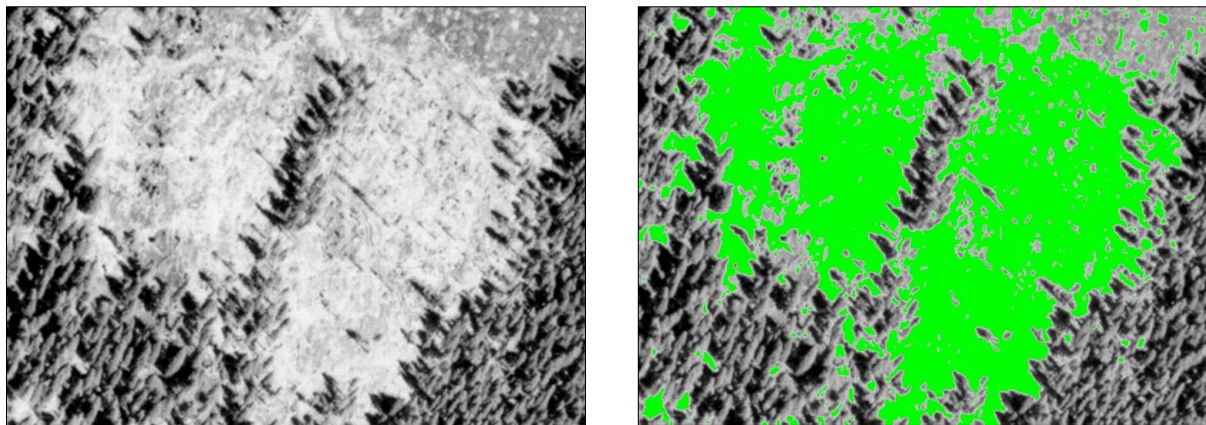
Standardní mapové výstupy prezentované metody jsou tvořeny následujícími typy map:

- a) obrysová mapa (viz. obr. č.II přílohy práce),
- b) porostní mapa (viz. obr. č.III přílohy práce),
- c) hospodářská mapa (viz. obr. č.IV přílohy práce),
- d) speciální porostní mapa – mapa zastoupení dřevin (viz. obr. č.VA a VB přílohy práce),
- e) mapa zastoupení dřevin na podkladu lesních typů (viz. obr. č.VI přílohy práce).

6.4 Nadstandardní výstupy

6.4.1 Rozlišení čerstvých a starších holin

Jedná se o problematiku, jejímž smyslem je především **posouzení včasnosti zalesnění**.



Obr. č.8: Ukázka – vylišení holin (zeleně) – lokalita: Praděd (CHKO Jeseníky)

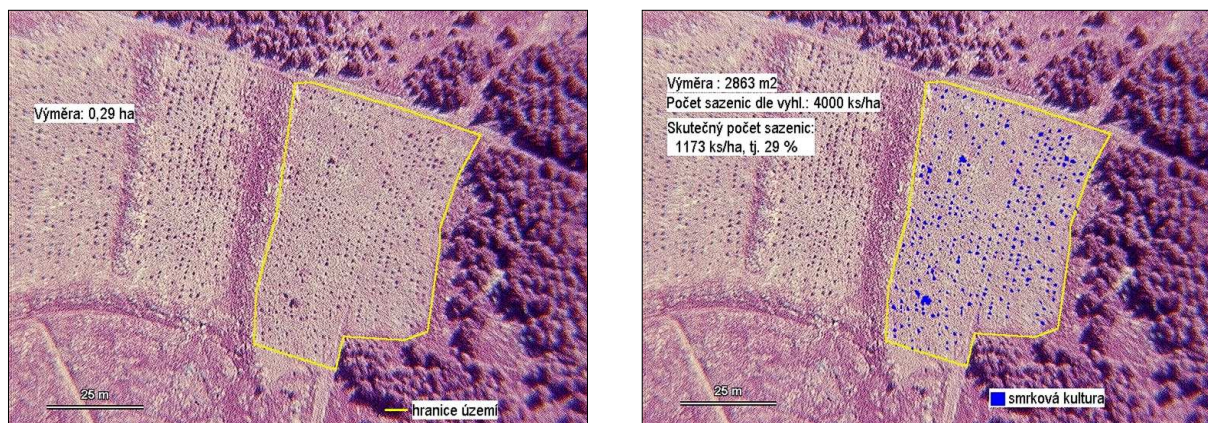
Na základě vstupních údajů, v daném případě se jedná o černobílé letecké snímky, jsme vyklasifikovali (vylišili) místa, která nebyla zalesněna či zalesněna byla, ale je nutné jejich vylepšení. Z tohoto pohledu je možno hovořit o klasifikaci čerstvých či starších holin. Na prezentovaném obrázku, ve vztahu k této problematice, je vylišená holina označena zelenou barvou. Pro možnost srovnání je levá část obrázku ponechána bez provedené klasifikace daného druhu objektu (holiny).

Předpokládaným realizátorem daného nadstandardního výstupu metody jsou nejen orgány státní správy MZe a MŽP, ale samozřejmě i konkrétní vlastník lesního majetku.

6.4.2 Stanovení počtu sazenic a jejich druhového spektra na pasece

Smyslem dalšího nadstandardního výstupu metody je především umožnit objektivní hodnocení:

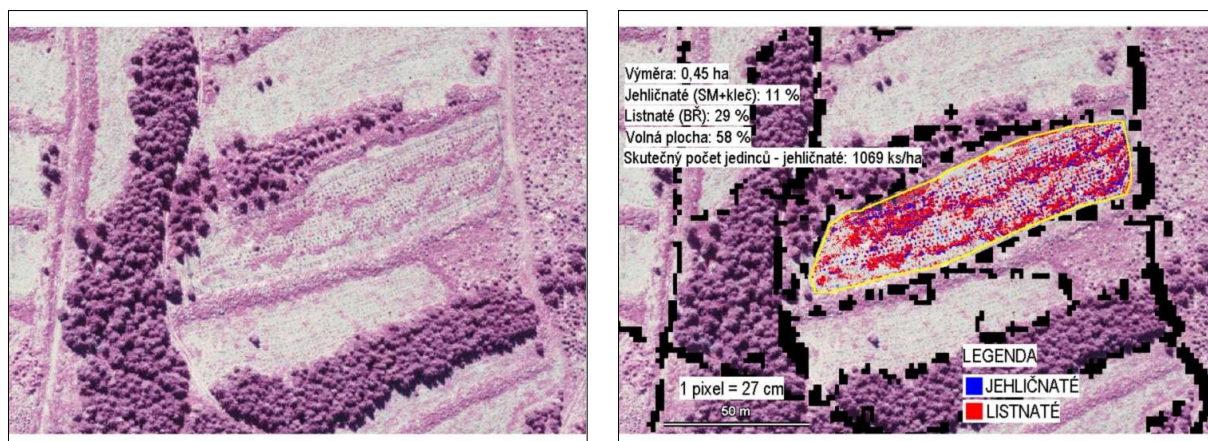
- zalesňovacích projektů,
- efektivnosti zalesnění,
- potřeby vylepšení,
- stavu přirozené obnovy.



Obr. č.9: Ukázka – stanovení skutečného počtu sazenic na pasece – lokalita: LČR Klášterec nad Ohří

V případě prezentovaného obrázku č. 9 se jedná o ukázkou klasifikace smrkové kultury. Vstupním materiálem v daném případě je spektrozónální letecký snímek. Smrková kultura je označena modře. Na klasifikovaném snímku jsou dobře patrná jak místa s pravidelnou strukturou jednotlivých stromků (výsadba v řadách), tak i místa, která jsou zcela bez stromků.

Předpokládaným realizátorem daného nadstandardního výstupu metody jsou jak orgány státní správy MZe a MŽP, tak i konkrétní vlastník lesního majetku.

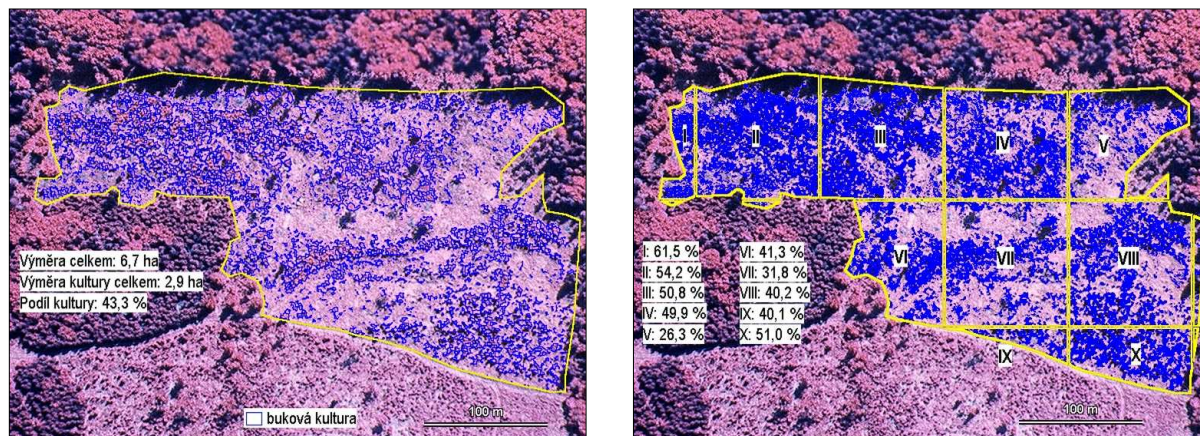


Obr. č.10: Ukázka – stanovení druhového spektra sazenic na pasece – lokalita: LČR Klášterec nad Ohří

Předmětem druhé ukázky vztahující se k této problematice (obr. č. 10) je vylišení kultur lesních dřevin, s jejich detailním rozlišením na jehličnaté a listnaté. Z daného obrázku a provedené klasifikace je např. dobře patrné, že se velmi uspokojivým způsobem podařilo provést vylišení konkrétních jedinců, kteří se vyskytují jak v jednotlivém uspořádání, tak i v uspořádání hloučkovitém.

6.4.3 Hodnocení zajištěnosti kultur na základě zápoje

Smyslem tohoto bodu nadstandardního výstupu metody je především **umožnit efektivně hodnotit výsledky pěstebních projektů, následně plánovat potřeby případného vylepšení či obecně posuzovat stav přirozené obnovy.**



Obr. č.11: Ukázka hodnocení zajištěnosti kultur – lokalita: CHKO Lužické hory

Prezentovaná ukázka této problematiky, tj. hodnocení zajištěnosti kultur, je řešena s využitím stanovení plošného podílu kultury z analyzované, plošně definované jednotky rozdělení lesa (porostní skupiny).

V levé části obrázku (obr. č.11) je provedena klasifikace bukové kultury (modře) se zdůrazněním kontur (okrajů) kultury, pro možnost okulárního posouzení provedené klasifikace s udáním procentuálního podílu analyzované kultury.

Pravá část obrázku tuto problematiku ještě rozšiřuje o stanovení plošného podílu kultury v jednotlivých kvadrantech analyzované jednotky.

Opět i zde jsou předpokládáným realizátorem daného nadstandardního výstupu metody jak orgány státní správy MZe a MŽP, tak samozřejmě i konkrétní vlastník lesního majetku.

6.4.4 Stanovení texturních a strukturních charakteristik porostů

Úkolem daného výstupu je poskytnutí dostatečného množství informací s následujícím využitím:

- **speciální pěstební projekty,**
- **hodnocení pěstební činnosti (prořezávky, probírky),**
- **návrh těžební činnosti.**

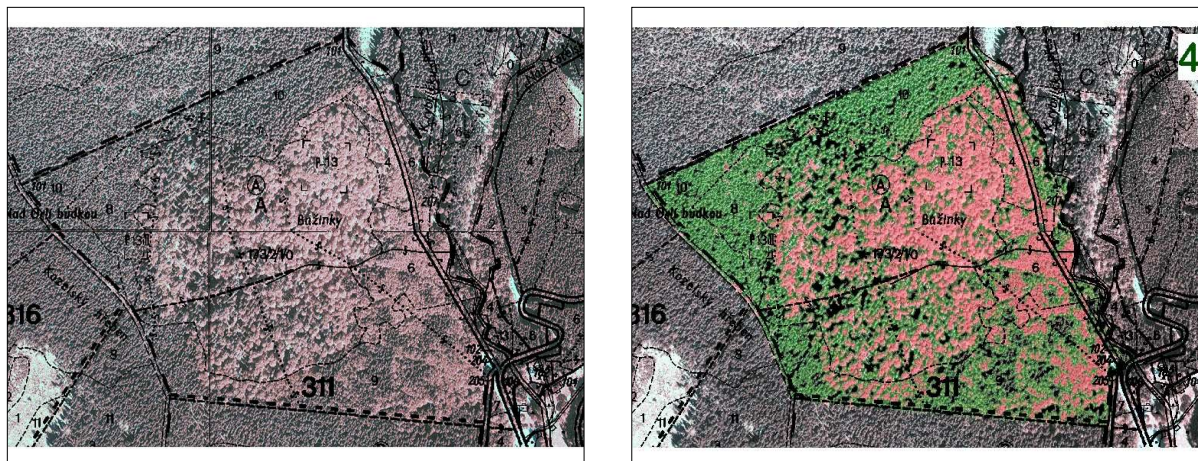
Ústředním bodem daného výstupu je tedy poskytnutí takového druhu dat, který bude využitelný především z pohledu definování vybraných strukturních a texturních charakteristik lesních porostů.

Z texturních charakteristik se jedná především o vylíšení rozmístění jednotlivých druhů dřevin v rámci analyzované jednotky lesa. Mezi základní strukturní charakteristiky tohoto výstupu je možno jmenovat především stanovení hustoty porostů či jejich počtu stromů.

Příkladem výstupu této problematiky je obrázek č.12. Jedná se o ukázku vylíšení smrku (zeleně) a buku (červeně) u věkově tzv. mýtně starého porostu. Vstupním podkladem je barevný infračervený letecký snímek. Kromě klasifikace jednotlivých druhů dřevin obsahuje daný obrázek navíc plošky bez lesních dřevin (označeno černě). Pro aplikační účely je tzv. výsledný obraz (barevná syntéza) opatřen z pohledu barevné sytosti méně výrazným odstínem, aby bylo možné pod tímto obrazem vysledovat i strukturu jednotlivých korun.

Z tohoto pohledu je pak možno konstatovat, že se jedná o speciální porostní mapu – mapu zastoupení dřevin prezentované nové metody hospodářské úpravy lesů.

Předpokládaným realizátorem daného nadstandardního výstupu jsou nejrozličnější vědecko – pedagogická pracoviště a jednotliví vlastníci lesů.



Obr. č.12: Ukázka – speciální porostní mapa – mapa zastoupení dřevin – lokalita: CHKO Krkonoše

6.4.5 Hodnocení korunových parametrů

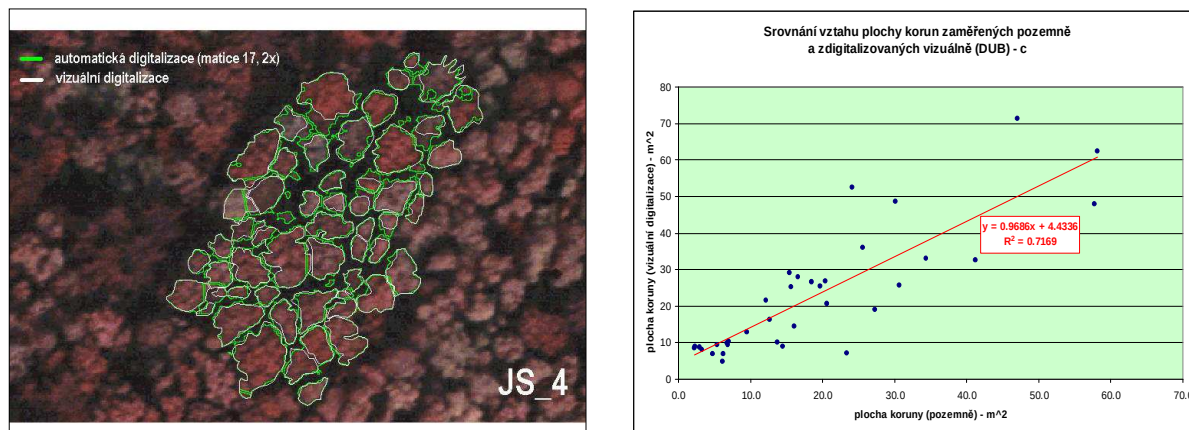
Hlavním smyslem daného výstupu nejsou pouze tzv. speciální pěstební projekty, avšak i konkrétní analýzy, které najdou uplatnění při odvozování základních taxačních veličin lesních porostů.

Z pohledu speciálních pěstebních projektů se může jednat o řešení následujících druhů úkolů:

- hodnocení tvaru korun,
- hodnocení barevných a texturních charakteristik korun,
- definování osluněných a neosluněných částí korun apod.

Do oblasti analýz vedoucích ke zjišťování základních taxačních veličin z korunových parametrů (především z ploch korun) jednotlivých stromů lesních porostů je možno zařadit především odvozování:

- porostní tloušťky,
- porostní výšky.



Obr. č.13: Ukázka - vizuální a automatická digitalizace obrysů korun

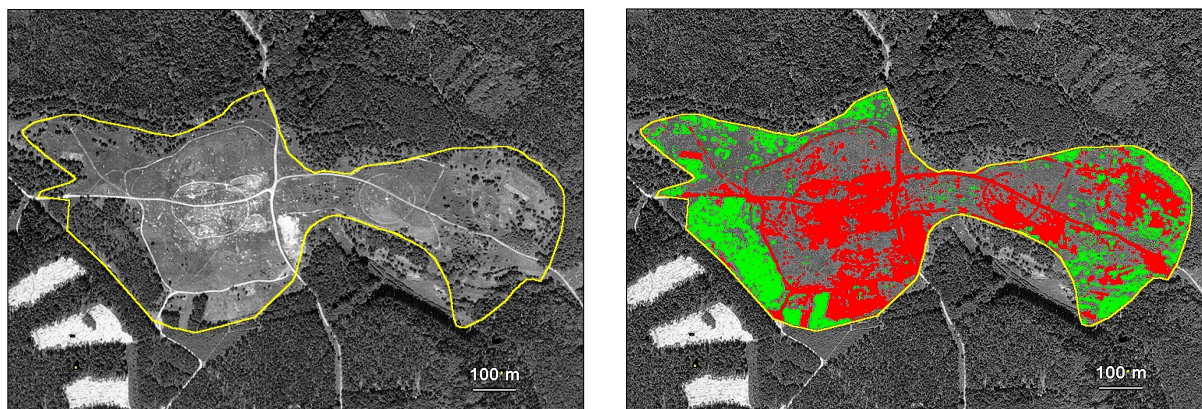
Obrázek č.13 je ukázkou srovnání tzv. vizuální a automatické digitalizace korun jednotlivých stromů. Výstup tohoto druhu může být použit jak z pohledu výše zmiňovaných speciálních pěstebních projektů, tak ke zjišťování základních taxačních veličin stromů a porostů.

Předpokládaným realizátorem tohoto typu výstupu jsou nejen specializovaná vědecko – výzkumná pracoviště, ale i projekční kanceláře či taxační subjekty.

6.4.6 Měření a charakteristika rozptýlených plošných sférických objektů

V tomto případě se jedná o jednu ze základních úloh využití počítačové analýzy obrazu. **Smyslem daného bodu je klasifikace nejružnějších typů objektů.** Využití je mnohostranné v podobě speciálních projektů, jako například:

- pro potřeby meliorací,
- k odhadům ležící dřevní hmoty,
- k hodnocení struktur fytocenóz apod.



Obr. č.14: Ukázka – klasifikace nejružnějších typů objektů – lokalita:bývalý VVP – Ralsko - Prosíčka

Ukázkou tohoto typu výstupu je obr. č.14. Na klasifikovaném černo – bílém leteckém snímku (pravá část obrázku) je žlutě zvýrazněna hranice analyzovaného majetku, zeleně lesní porosty a červeně tzv. zhutněná, těžkou mechanizační technikou poježděná plocha.

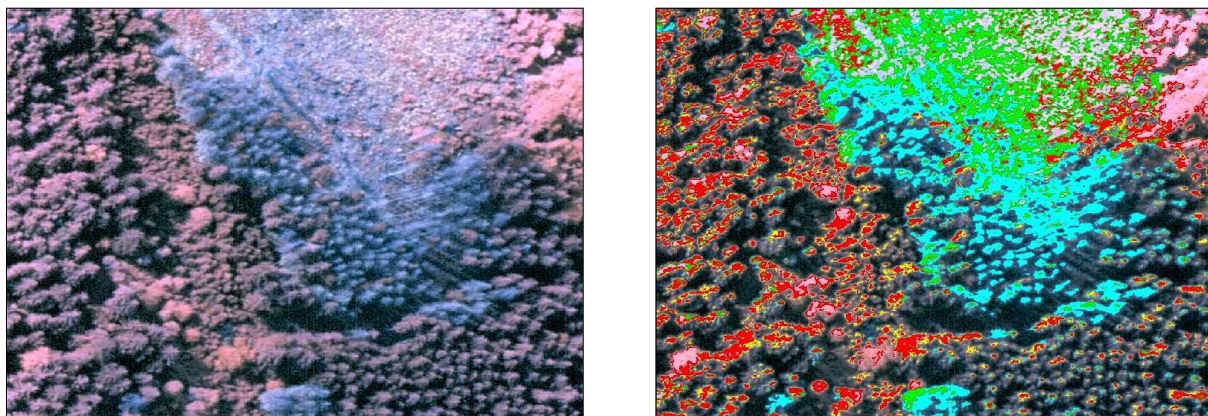
Předpokládaným realizátorem tohoto typu nadstandardního výstupu jsou vědecko-výzkumná pracoviště, projekční kanceláře a vlastníci lesních majetků.

6.4.7 Hodnocení zdravotního stavu porostů

Jedná se o velmi důležitý bod nadstandardních výstupů předkládané metody. Jeho smyslem je **hodnocení zdravotního stavu lesních stromů a porostů.** Využití tohoto typu výstupů je možno zařadit například do následujících oblastí praktických aplikací:

- návrh opatření ochrany lesa,
- monitoring stavu lesa.

Hodnocení zdravotního stavu může být s využitím počítačové analýzy obrazu řešeno jak s pomocí hodnocení defoliace, tj. vyjádřením velikosti ztráty asimilačního aparátu, tak přes analýzy barevných změn asimilačního aparátu.

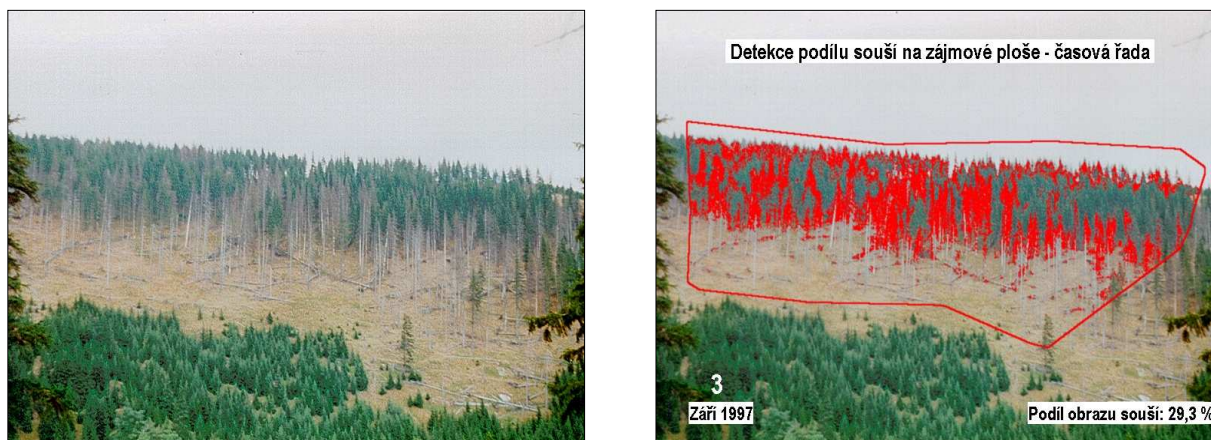


Obr. č.15: Ukázka – hodnocení zdravotního stavu lesních porostů – lokalita: NP Šumava

Ukázka této problematiky je obsahem obr. č.15. Jedná se o vyhodnocený barevný infračervený snímek, na kterém je modrou barvou vyznačena mrtvá (suchá) dřevní hmota. Žlutě a červeně jsou od sebe rozlišeny třídy defoliace lesních porostů, zeleně je vyznačena holina.

K řešení daného úkolu může být použito i klasických fotografických snímků – viz. obr. č.16. V případě většího množství snímků nafotografovaných za sebou v tzv. časové řadě můžeme získat např. vývoj podílů souší na analyzované ploše a tak získat větší množství informací o dynamice vývoje daného faktoru.

Předpokládaným realizátorem tohoto typu výstupů jsou především orgány státní správy MZe a MŽP, vědecko-výzkumná pracoviště a vlastníci lesních majetků.



Obr. č.16: Ukázka detekce podílu souší analyzované plochy – lokalita: CHKO Jeseníky

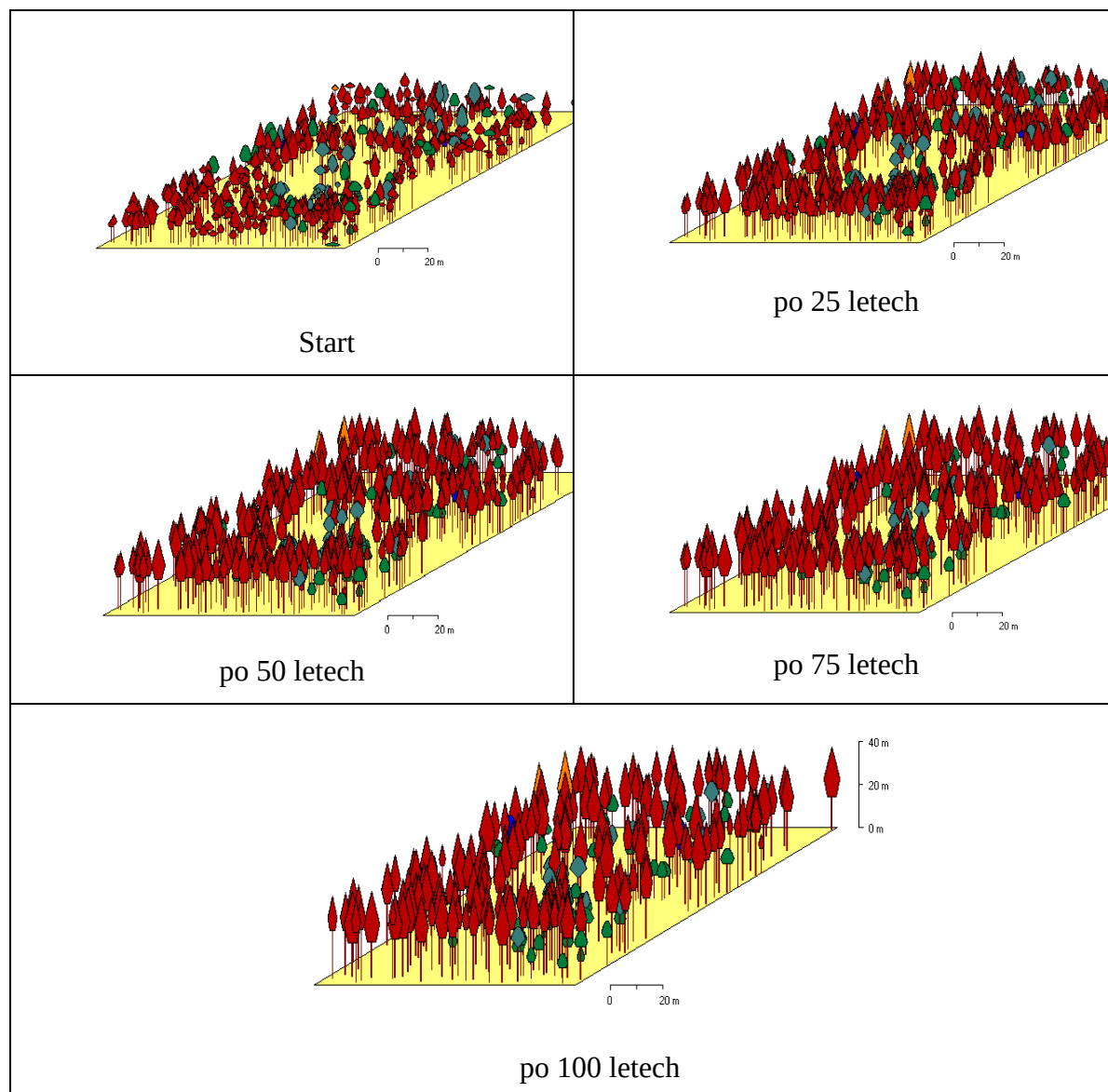
6.4.8 Simulace vývoje porostů – stanovení speciálního managementu hospodaření

Simulace vývoje porostů představuje nadstandardní výstup prezentované metody. Jedná se o speciální problematiku využití růstových simulátorů ke konstatování, zda vybrané části lesního majetku dospějí z pohledu svých růstových schopností do zvoleného, resp. cílového stavu.

Tato procedura může být s úspěchem využita především na vybraných částech majetku, jako např. ve zvláště chráněných územích, vybraných typologických jednotkách, prvcích ÚSES apod., tj. v případech, kde existují tzv. speciální požadavky, které lze „uspokojit“ právě tímto postupem.

Výstupem tohoto nadstandardního postupu je tvorba tzv. speciálního managementu hospodaření.

Předpokládaným realizátorem tohoto typu výstupů jsou především orgány státní správy MZe a MŽP, vědecko-výzkumná pracoviště a vlastníci lesních majetků.



Obr. č.17: Simulace vývoje trvalé výzkumné plochy s využitím růstového simulátoru SILVA 2.2 – simulace přirozeného vývoje (výzkumný úkol ÚHÚL LDF MZLU Brno. In: ĎURSKÝ 2001).

7. Ověřování nové metody HÚL, přesnosti stanovení dat plánu

Zásadním bodem při využití a zavádění nové metody je provozní ověření. Výsledky předložené v této kapitole pocházejí především ze dvou závěrečných zpráv ÚHÚL LDF MZLU v Brně, které byly v letech 1999 a 2000 zpracovány jako projekty Mze ČR (SIMON, KADAVÝ, MAZAL, KNEIFL, DRÁPELA 1999 a SIMON, KADAVÝ, MAZAL, GABZDYL, KNEIFL 2000).

7.1 Charakteristika analyzovaného majetku

Zájmové území, pro ověření nové metody HÚL, bylo vybráno na základě následujících kritérií:

- musí se jednat o plošně ucelený majetek, který je z hlediska aspektů prostorové skladby, zastoupení dřevin a obecně diferenciací porostů maximálně rozrůzněný,
- majetek, kde je vyhotoven jako srovnávací standard aktuální lesní hospodářský plán.

Z hlediska obou podmínek byl vybrán majetek v oblasti KÚ Mrlínek, Sovadina, Rychlov (okres Bystřice p. Hostýnem), kde LHP (platnost k 1. 1. 2000) zpracovali pracovníci ÚHÚL LDF MZLU v Brně.

7.1.1 Zařazení do lesní oblasti a bioregionu

Analyzovaný majetek přísluší k lesní oblasti č. 37 - Kelečská pahorkatina (dle vyhlášky č. 83/1996 Sb.), podle biogeografického členění ČR spadá do Hostýnského bioregionu, do jeho netypické východní části tvořené nižším pahorkatinným reliéfem, součástí Karpatské podprovincie.

7.1.2 Geologické, pedologické a orografické poměry

Geologická stavba území majetku i půdní poměry jsou poměrně jednotvárné. V podloží jsou zastoupeny tzv. vsetínské vrstvy, tvořené flyšemi z jílovců až slínovců křídového až paleogenního stáří. Půdy jsou tvořeny ze zvětralin jílovce, nebo jílovců blízkého sedimentu. V jižní a jihovýchodní části majetku se jedná o uléhavé, obtížně obdělátné půdy, které vykazují náchylnost k povrchovému zamokření, nízkou míru akumulace tepelné energie (tzv. chladná půda), vysokou sorpční schopnost, zpomalenou humifikaci slabé vrstvy humusu, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 3,61$, $\text{pH}_{\text{HCl}} = 3,86$. V části S a SZ, kde je členitější reliéf, drobná údolí ve svahovinách po zbytcích vodních toků, zamokřené sníženiny, ploché hřbety jsou půdy bohatší, s humusovou vrstvou větší mocnosti. Živnější i kyselejší stanoviště se mozaikovitě střídají, což odpovídá i mozaikovosti vegetace. Nejbohatší je nejnižší část majetku (285 m.n.m.) s bohatými náplavami (fragmenty lužních stanovišť). Nejvyšším bodem je kóta 328 m.n.m. v ploché J části majetku.

7.1.3 Klimatické poměry

Mírně teplá a vlhká pahorkatinná oblast charakterizovaná vegetační dobou 166 dnů a následujícími klimatickými údaji: průměrná roční teplota $8,1^{\circ}\text{C}$, průměrná teplota IV - IX - $14,4^{\circ}\text{C}$, průměrné roční srážky - 744 mm, průměrné srážky IV - IX 468 mm, Langův dešťový

faktor - 92. Charakteristické je poměrně dlouhé vegetační období, vysoké průměrné teploty a poměrně příznivé srážky, velký počet letních i mrazivých dnů, pozdní mrazíky, převládající směr větrů JZ - SV.

7.1.4 Lesní vegetace a porosty

Charakteristický je výskyt dubobukového lesního vegetačního stupně, dále pak bukodubového stupně, v případě dubobukového stupně v živné i kyselejší variantě.

Floristicky lze v oblasti sledovat poměrně vyrovnané zastoupení druhů trávovitých a bylinných, deficitní jsou mechorosty. Významný je výskyt druhu *Carex pilosa*.

Území je výrazně ovlivněno účelovou lidskou činností. Dlouhodobě sloužilo jako účelově myslivecky využívaný objekt (bažantnice). Uvedený aspekt se projevil jednak v mimořádně pestré druhové skladbě porostů, jednak ve velmi diferencované prostorové porostní výstavbě porostů. Častá je skupinovitá i individuální příměs stanovištně vhodných i nevhodných dřevin, včetně exotů. Porosty jednotlivých dřevin jsou střední i nižší kvality, lokálně často velmi odlišné hustoty. Častý výskyt keřovitých porostů. Porosty majetku se nacházejí v pásmu ohrožení imisemi D.

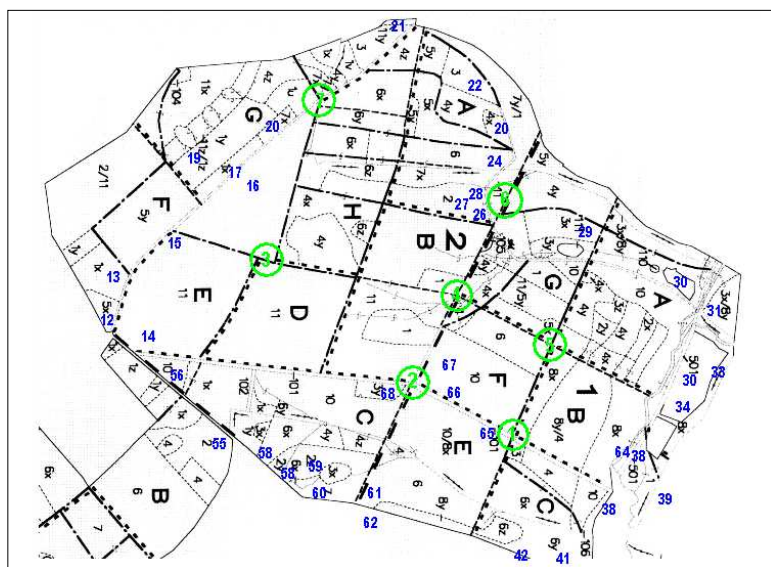
7.2 Analyzovaný materiál (obrazové médium)

K řešení daného úkolu byly použity barevné infračervené (spektrozonální) letecké snímky v měřítku 1:10 500, které byly pořízeny 28. 9. 1999 v 12:15 – 12:20 hod. firmou Argus Geo system, s.r.o., kamerou LMK 2015 s filtrem 490 nm na materiál Kodak 2443.

7.3 Terénní šetření

Terénní šetření se uskutečnilo v letních měsících roku 1999 a 2000. Předmětem činností v roce 1999 byl popis porostů (tvorba nového LHP daného majetku) a především popis tzv. kalibračních ploch (trénovacích množin).

Jejich umístění udává obrázek č.18.

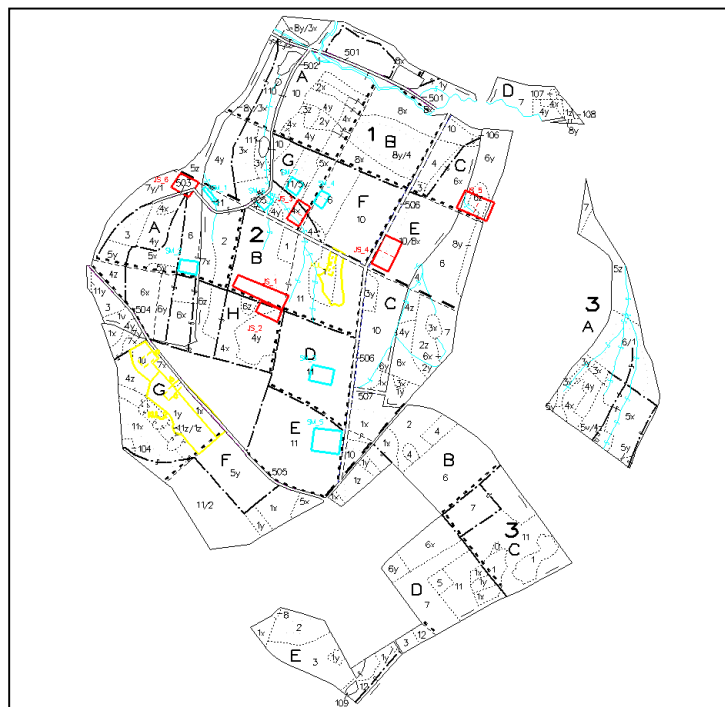


K danému účelu byly zvoleny dva základní metodické postupy, tzn. že plochy byly umístěny:

- a) v téměř pravidelné síti (na obrázku označena zeleně v kroužku) – výrazná místa, snadno identifikovatelná v terénu (7 ploch),
- b) v náhodném uspořádání (tamtéž označena modře – cca 40 ploch).

Obr. č.18: Zákres kalibračních ploch analyzovaného majetku

V roce 2000 byl na vybraných porostech proveden jejich detailní popis z pohledu strukturních a texturních parametrů (obr. č.19).



K danému účelu byly proměřeny čtyři zkusné plochy, které jsou na obrázku označeny jako JS_4, JS_6, JS_2 a SM_3.

Plochy byly lokalizovány a stabilizovány na základě význačných objektů dobře patrných jak na leteckém snímku, tak v terénu (průsek, dobře patrná koruna stromu, křižovatka apod.).

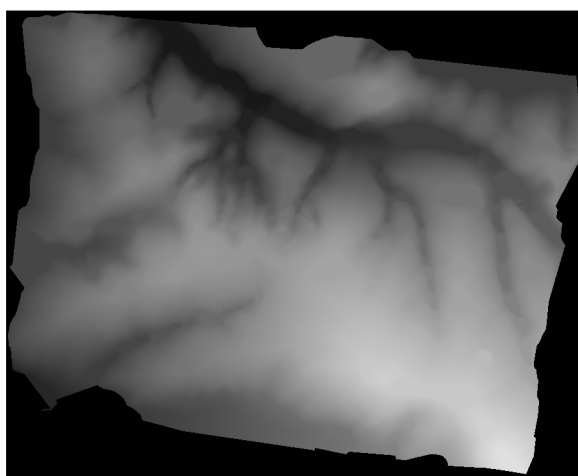
Obr. č.19: Zákres ploch analyzovaného majetku z pohledu proměřování texturních a strukturních parametrů

7.4 Zpracování a výsledky práce

7.4.1 Tvorba ortofotorektifikovaného snímku

Ortofotorektifikovaný snímek analyzovaného území byl zpracován s využitím dílčího metodického postupu (viz. kap. 6.1.2). Vzhledem ke konfiguraci terénu bylo možné použít metodu tvorby DMT bez pořizování identických bodů přímo v terénu.

Střední polohová chyba, tj. odchylka mezi snímkem a závazným mapovým podkladem, činila v tomto případě 1,4 x 1,4 m.



Obr. č.20: DMT analyzovaného území

7.4.2 Digitalizace hranic majetku a rozdělení lesa na úroveň trvalé jednotky rozdělení, jiných ploch a jednotlivých porostních skupin

Vzhledem ke skutečnosti, že ke zpracování této problematiky nebyly v době vyhodnocování k dispozici údaje starého plánu v tzv. digitální formě, bylo k danému účelu použito jako vstupních údajů analogových podkladů. Nad ortorektifikovaným leteckým snímkem byla zvektorizována hranice majetku. Základní rozdělení lesa do úrovně trvalé jednotky rozdělení bylo převzato ze starého plánu (viz. obr. č.VII přílohy práce) a následně proběhla vektorizace tzv. jiných ploch (viz. obr. č.VIII přílohy práce). Jednotlivé porostní skupiny byly vektorizovány vizuálně s využitím dílčího metodického postupu z kap. 6.1.3 (viz. obr. č.IX přílohy práce).

7.4.3 Prahování (klasifikace) jednotlivých druhů dřevin v rámci modelového dílce (porostu)

Klasifikace jednotlivých druhů dřevin byla provedena metodou tzv. thresholdingu neboli prahování. K danému účelu byl vybrán modelový dílec (porost) 2A. Výsledky této části práce jsou předmětem níže uvedené tabulky (tab. č.5) a obrázku přílohy práce (obr. č.VA).

Na základě výsledků je možno konstatovat, že konvenční metoda popisu porostů v této plošně definované jednotce vylišila 9 druhů dřevin, naproti tomu metoda s využitím počítačové analýzy obrazu vyklasifikovala 6 druhů dřevin, což představuje 67 % - tní úspěšnost. Je nutno konstatovat, že na výsledek této procedury má velký vliv především zkušenost osoby pověřené tímto úkolem a vhodná lokalizace kalibračních ploch v terénu. Kdybychom totiž přesnost klasifikace počítačové analýzy vztáhli k počtu druhů dřevin, které byly v terénu k tomuto účelu popsány na kalibračních plochách, tj. byly přímým vstupem pro počítačovou analýzu obrazu, pak bychom mohli hovořit o 86 % - tní úspěšnosti!

Nutno však zdůraznit, že předmětem této části práce je i tzv. nadstandardní výstup, tj. vyklasifikování směsí dřevin. Směs dřevin je pak možno následně specifikovat buď bez kvantifikování podílu konkrétních druhů dřevin, či naopak z pohledu stanovení jejich jednotlivých druhů dřevin.

Počet popsanych (vyklasifikovaných) druhů dřevin		
Nový LHP (popis porostů)	Kalibrační plochy (popis v terénu)	Klasifikace (počítačová analýza obrazu)
9	7	6*

* Poznámka: kromě jednotlivých druhů dřevin je možno procesem klasifikace (postupem tzv. míchání barev) vylišit navíc i jednotlivé směsi dřevin.

Tab. č.5: Výsledek klasifikace jednotlivých druhů a směsí dřevin modelového dílce (porostu)

7.4.4 Vyjádření plošného zastoupení jednotlivých druhů dřevin v rámci modelového dílce (porostu)

Srovnání výsledků zastoupení dřevin obou metod pro jednotlivé porostní skupiny modelového dílce (porostu) je značně problematické. Problematickost tohoto srovnání spočívá především na těchto odlišnostech obou metod:

- způsob zjišťování zastoupení dřevin
- vylišení (tvorba) hranic porostních skupin

Pro vyjádření zastoupení dřevin konvenční metoda používá jak možnosti kvalifikovaného odhadu (především mladé porosty), tak přepočtu prostřednictvím objemu (zásoby) porostu, potažmo jednotlivých druhů dřevin. Počítačová analýza obrazu k danému účelu používá výhradně plošné údaje obrazů korun korunového patra. Jak je patrné, není možné vyloučit rozdílné výsledky případného srovnání, které v tomto případě plynou z rozdílné metody zjišťování (vypočítávání) této veličiny.

K danému srovnávání výsledků je rovněž zapotřebí, aby existoval totožně definovaný plošný rámec, v tomto případě plocha konkrétní porostní skupiny, která bude jak prostorově, tak velikostně identická. Zde narážíme na další metodický problém, neboť lze očekávat, že hranice konkrétní porostní skupiny (jako výstup obou metod) nebudou identické. Pak jakékoliv srovnání nestojí na pevném základu a postrádá smysl.

Z těchto důvodů je provedeno srovnání na jednotku vyšší, tj. na modelový dílec (porost).

Výpočet plošného zastoupení jednotlivých druhů dřevin a srovnání údajů z konvenční metody (nový LHP) a počítačové analýzy obrazu (digitálně) modelového dílce (porostu) je obsahem tab. č.6.

Z výsledků je zřejmé, že digitálně byly vyklasifikovány všechny druhy dřevin, které se podstatně podílejí na dřevinné skladbě analyzované jednotky.

Z pohledu srovnání zastoupení u jednotlivých druhů dřevin je možno konstatovat, že výsledky obou metod jsou velmi podobné. Toto tvrzení však nepodporují údaje u dvou nejzastoupenějších dřevin, konkrétně u jasanu (JS) a smrku (SM), kde rozdíl údajů obou metod představuje 14, resp. 7 % - tních bodů.

Dále je z výsledků práce dobře patrné, že počítačovou analýzou obrazu nebyly popsány ty druhy dřevin, které v konvenčním plánu vykazují malé procento zastoupení (cca do 5%).

Dřevina	Nový LHP	Digitálně	Poznámka k digit. datům
BO	2	-	Borovice nebyla přítomna na nejbližších kalibračních plochách.
BŘ	5	1	
DB	7	8	
JS	29	43	
JV	5	-	Pravděpodobně nevhodná lokalizace kalibrační plochy s javorem.
LP	3	0	
MD	11	10	
OL	1	-	Olše nebyla přítomna na nejbližších kalibračních plochách.
SM	37	30	
směs	-	8	
Suma (%)	100	100	

Tab. č.6: Srovnání zastoupení dřevin konvenční metody (data LHP) a metody počítačové analýzy obrazu (digitálně) modelového dílce (porostu)

7.4.5 Hodnocení hustoty jednotlivých porostních skupin modelového dílce (porostu)

K danému účelu bylo zapotřebí vyjádřit plochu tzv. vlastního stínu dřevin a tzv. zbytkovou plochu.

Vlastní stín dřevin byl určován zvlášť pro jehličnatý, listnatý a smíšený porostní typ. Aby bylo možné vlastní stín vůbec kvantifikovat, bylo nutné z uvedeného typu porostu vybrat tu část, která splňovala předpoklad plochy homogenní (stejnorodé), plně zapojené a zakmeněné. Tímto postupem jsme získali následující hodnoty vlastních stínů dřevin pro jednotlivé porostní typy:

Hodnoty vlastních stínů (%)		
Porostní typ		
<i>jehličnatý</i>	<i>listnatý</i>	<i>smíšený</i>
58	31	43

Tab. č.7: Hodnoty vlastních stínů porostních typů (v %)

Následovalo určení velikosti tzv. zbytkové plochy analyzované porostní skupiny (viz. kap. 6.1.7). Výsledky procedury hodnocení hustoty modelového dílce (porostu) jsou obsahem níže uvedené tabulky. Jak je z tabulky patrné, k danému účelu je nutná znalost velikosti rozdílu hodnot (sloupec D) mezi „zbytkovou plochou“ (sloupec B) a „vlastním stínem“ (sloupec C). Tento výsledek (sloupec B – sloupec C) je zařazen do tzv. třídy zbytkové plochy (sloupec E), a následně podle tab. č. 4 (viz. kap. 6.1.7) je konkrétní porostní skupina zařazena do příslušné třídy hustoty (zápoje) – sloupec F (tab. č.8).

Z takto prezentovaných dat je zřejmé, že tímto procesem je možno hodnotit hustotu (zápoj) každé porostní skupiny analyzovaného majetku.

Pro srovnání jsou součástí těchto výsledků práce i hodnoty konvenčně zjišťovaného zakmenění (sloupec G), ze kterých vyplývá, že v daném případě neexistuje vztah mezi hustotou (zápojem) a terestricky zjišťovaným zakmeněním.

Porostní skupina	Zbytková plocha (%)	Vlastní stín (%)	B - C	Třída zbytkové plochy	Zápoj (hustota)	Zakmenění
A	B	C	D	E	F	G
3	63	58	5	1	8	10
6	71	58	13	2	7	10
2x	57	43	14	2	7	13
7z	59	43	16	2	7	10
11	75	58	17	2	7	9
7x	67	43	24	3	6	10
2y	64	31	33	4	5	13
5x	83	43	40	4	5	10
5y	76	31	45	5	4	10
7y	84	31	53	5	4	10

Legenda: hustota 0 zcela rozvolněný porost
hustota 9 zcela zapojený porost

Poznámka: Zakmenění zjištěno terestricky.

Tab. č.8: Hodnocení hustoty porostních skupin modelového dílce

7.4.6 Určení procenta úspěšně identifikovaných stromů s využitím leteckého snímku a pozemního šetření

Je třeba stanovit, s jakou pravděpodobností je možno přesně identifikovat jednotlivé stromy (koruny) přímo v terénu s využitím leteckého snímku a terestrického šetření na analyzovaném majetku. To znamená, zda je vůbec možné úspěšně identifikovat jednotlivé stromy v terénu podle jejich obrazů na leteckém snímku a následně tak ověřit úspěšnost automatizovaného postupu určení počtu stromů?

K danému účelu bylo využito výsledků ze čtyř ploch. Základní charakteristiky těchto ploch jsou obsahem níže uvedené tabulky (tab. č.9). Jak je z dat patrné, byla snaha zkusné plochy situovat do porostů, které svými věky pokryjí co pokud možno nejdelší období jejich vývoje, budou se vyskytovat na různých typologických stanovištích, budou obsahovat více

než jednu porostní etáž a budou co do počtu dřevin pokud možno velmi pestré (viz. tab. č.10).

Označení plochy	JS_4	SM_3	JS_6	JS_2
Porostní skupina	1E10/8x	2D11	2A7y/1	2H4x
Převládající dřevina	DB	MD	JS	JV
Věk (*)	78	106	69	38
LT (*)	3D9	3O7	3D5	3O7
Zakmenění (*)	10	8	10	10

Tab. č.9: Základní charakteristiky zkusných ploch (*) – údaj dle platného LHP

Plocha č.	Dřevina – zastoupení na zkusné ploše (%)											
	SM	MD	BO	JS	DB	JV	HB	LP	BR	BK	OL	JL
JS_4	6	8			72	6	6	6	4			
SM_3	10	57	10	3	17			1		1		
JS_6				78	2		2	2	4		6	6
JS_2				17		80		1				1

Tab. č.10: Zastoupení dřevin na zkusných plochách (%)

Odpověď na výše položenou otázku, tj. zda je možno identifikovat jednotlivé stromy s využitím leteckého snímku přímo v terénu lze poskytnout na základě tabulky č.11.

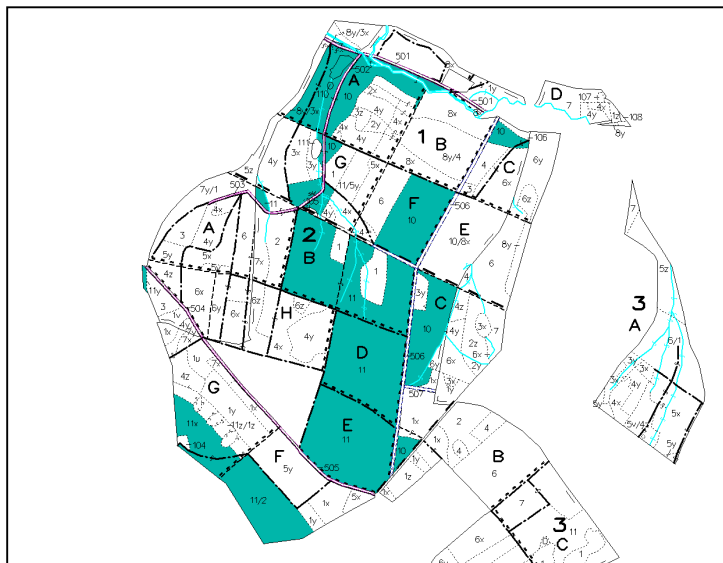
Z výsledků této části práce vyplývá, že tato identifikace je obecně možná u středně starých a starších lesních porostů. Konkrétně v případě ploch JS_4 a JS_6 se jedná o 83%, resp. 80 % - tní úspěšnost, která vypovídá o tom, že v daném případě nebylo možné takto identifikovat pouze podúrovňové stromy, neboť obrazy jejich korun překrývaly na snímku stromy z úrovňové a nadúrovňové vrstvy. Na ploše SM_3 je patný jistý pokles procenta úspěšně identifikovaných stromů, který je možno vysvětlit především sníženým zakmeněním dané plochy (srovnej viz. tab. č.9). Porost je z tohoto pohledu možno považovat za rozvolněnější, vykazuje větší množství stínů, které znesnadňují úspěšnou identifikaci stromů z leteckého snímku.

U porostů mladších (simulováno zkusnou plochou JS_2) je možno konstatovat, že pravděpodobnost úspěšné identifikace, tj. přiřazení koruny na leteckém snímku konkrétnímu stromu v terénu je velmi nízká (v daném případě 44%).

	JS_4	SM_3	JS_6	JS_2
Procento úspěšně identifikovaných stromů na snímku(*)	83	68	80	44
Procento podúrovňových stromů na ploše	17	18	22	38

Tab. č.11: Procento úspěšně identifikovaných stromů (*) ze všech stromů zkusné plochy

7.4.7 Výpočet skutečné zásoby porostních skupin starších 81 let analyzovaného majetku



Opodstatněné je provádění výpočtu skutečné zásoby pouze u těch porostů, ve kterých jsme schopni přesvědčivě identifikovat jednotlivé stromy a následně k tomuto využít analýzy obrazu.

K řešení daného úkolu byly proto vybrány všechny porostní skupiny analyzovaného majetku, které jsou starší jak 81 let (i s ohledem na v současné době platnou legislativu, především ve vztahu k výpočtu závazného ustanovení maximální výše těžeb...).

Obr. č.21: Znázornění porostních skupin o věku 81 let a starších pro ověření praktické aplikace postupu výpočtu zásob

K výpočtu skutečné zásoby je nutná znalost následujících informací o jednotlivých porostních skupinách:

- počet stromů,
- zastoupení dřevin,
- objem středního kmene.

7.4.7.1 Stanovení počtu stromů

Daná problematika je řešena s využitím dílčího metodického postupu (viz. kap. 6.1.8). Na základě znalostí konkrétních hodnot počtu stromů z jednotlivých zkusných ploch bylo provedeno ověření automatizovaného výpočtu počtu stromů s využitím počítačové analýzy obrazu. Výsledky této procedury jsou obsahem tab. č.12.

Jako univerzální typ matice, která umožňuje řešit tuto problematiku je možno označit matici 16, příp. 17 s jedním opakováním, neboť při použití právě tohoto typu se výsledný počet analýzou obrazu stanovených stromů bude pohybovat v rozmezí od +8 do -6 % od terestricky stanoveného počtu (pro velikost pixelu od 0.41 m do 0.78 m, při rozlišení monitoru 800 x 600). V případě analyzovaného majetku výše uvedené rozpětí pixelů obrazovky představuje pro názornost asi 1 – 2 porostní skupiny, které se najednou zobrazí na monitoru počítače. Pokud budeme pracovat s velikostí pixelu 0.13 m (lze očekávat, že na monitoru počítače budeme mít v průměru 0.5 – 1 porostní skupinu), je za optimální typ(y) matice možno označit matici č. 15, 16 či 17, ve všech případech s dvojnásobným opakováním (viz. tab. č.12). V níže uvedené tabulce jsou žlutě vyznačeny případy možných typů matic z pohledu výsledné chyby výsledku, tj. odchýlení se výsledku od terestricky naměřených hodnot, kdy předpokládáme, že z pohledu následného využití těchto údajů by se chyba měření neměla odchylovat od $\pm 10\%$.

Rozlišení monitoru: 800 x 600 Matice, počet opak.	Výsledný počet stromů - chyba (%)				
	Velikost pixelu obrazovky (m)				
	0.13	0.41	0.57	0.78	0.95
15, 1x	42	-1	-17	-6	-30
15, 2x	-6	-36	-45	-43	-65
15, 3x	-17	-	-	-65	-
16, 1x	58	8	-6	-1	-30
16, 2x	-5	-32	-40	-36	-65
16, 3x	-14	-	-	-60	-
17, 1x	55	8	-6	-1	-30
17, 2x	-5	-32	-40	-36	-65
17, 3x	-14	-	-	-60	-
5, 1x	29	-23	-32	-31	-60
5, 2x	-18	-62	-77	-68	-87
5, 3x	-26	-	-	-69	-

Tab. č.12: Stanovení přesnosti měření automatizovaného výpočtu počtu stromů

Předmětem níže uvedené tabulky (tab. č.13) jsou výsledky automatizovaného postupu stanovení počtu stromů v konkrétních porostních skupinách. Stanovení počtu stromů na jednotku plochy představuje velmi důležitý údaj, bez kterého by nebylo možné vypočítat skutečné zásoby porostů.

Na základě níže uvedených výsledků je možno konstatovat, že hodnoty analýzou obrazu vypočítaných počtů stromů mají ve vztahu k věku porostních skupin reálný základ. Není možné však neupozornit na porostní skupiny, které se od výše uvedeného konstatování přece jen odchyľují, a to především na porostní skupinu 2A11 (počet stromů na hektar – 489), příp. 1G10 (337 kusů).

Pořadové číslo	Porostní skupina	Počet stromů na ha
1	1A10	210
2	1C10	268
3	1G10	337
4	1F10	290
5	2A11	489
6	2B11	172
7	2C10	158
8	2D11	194
9	2E11	191
10	2F11/2	199
11	2G11x	170
12	2G11z/1z	223

Tab. č.13: Automatizované stanovení počtu stromů v porostních skupinách

7.4.7.2 Výpočet zastoupení dřevin v jednotlivých porostních skupinách

Zastoupení dřevin v jednotlivých porostních skupinách je předmětem níže uvedené tabulky č.14. Zajímavé je z tohoto pohledu jistě srovnání s údaji LHP. Toto srovnání je možno provést jak z pohledu množství dřevin, které v daných porostních skupinách popisuje LHP a které vykazuje způsob analýzy obrazu, tak podle absolutních hodnot zastoupení podle jednotlivých dřevin, příp. skupin dřevin.

Z pohledu srovnání podle množství dřevin dopadnul prezentovaný způsob následovně. LHP v níže uvedených porostních skupinách popisuje celkem 11 druhů dřevin, z tohoto počtu připadají 4 druhy na jehličnaté dřeviny. Analýza obrazu v daných porostních skupinách vyklasifikovala 6 druhů dřevin (55 % - tní úspěšnost), přičemž z tohoto počtu na jehličnaté dřeviny připadají dva druhy, konkrétně SM a MD (50 % - tní úspěšnost). K daným výsledkům je však nutno podotknout, že v každém případě byly analýzou obrazu vylišeny a z pohledu zastoupení dřevin vyčísleny jak v případě jehličnatých, tak listnatých dřevin druhy nejzastoupenější, což je možno jistě považovat za nesmírně důležitý fakt.

Srovnání zastoupení dřevin ve vazbě na absolutní hodnoty zastoupení podle jednotlivých druhů dřevin, příp. jejich skupin se jeví jako velmi problematické. Složitost tohoto porovnání pramení především z rozdílného metodického postupu výpočtu, neboť jak známo, výpočet zastoupení dřevin podle konvenčního LHP se obecně odvozuje ze zásoby, naopak analýza obrazu k danému účelu využívá plošný podíl jednotlivých dřevin z celkové plochy všech dřevin na plošné jednotce se vyskytujících.

Pořadové číslo	Porostní skupina	Zastoupení (%)						Suma
		MD	SM	JS	DB	BR	BK	
1	1A10	13.7	0.0	51.2	19.8	15.4	0.0	100
2	1C10	5.1	60.8	34.0	0.0	0.0	0.0	100
3	1G10	17.6	40.2	18.6	9.7	14.0	0.0	100
4	1F10	7.9	38.3	32.8	5.8	2.5	12.7	100
5	2A11	0.0	96.5	1.4	2.1	0.0	0.0	100
6	2B11	1.9	76.6	10.7	8.6	2.2	0.0	100
7	2C10	0.5	49.1	37.0	11.6	1.8	0.0	100
8	2D11	59.0	19.6	9.7	0.0	0.0	11.7	100
9	2E11	15.2	66.0	10.6	7.9	0.4	0.0	100
10	2F11/2	35.1	23.3	34.8	6.8	0.0	0.0	100
11	2G11x	0.0	79.3	13.8	3.7	3.2	0.0	100
12	2G11z/1z	0.0	77.9	14.6	4.7	2.8	0.0	100

Tab. č.14: Výpočet zastoupení dřevin v jednotlivých porostních skupinách

7.4.7.3 Výpočet objemu středního kmene

K výpočtu skutečných zásob porostů bylo využito dat LHP, konkrétně objemů středního kmene. Obsahem níže uvedené tabulky jsou regresní vztahy a míry závislostí mezi objemy středního kmene a věku (věkového stupně) ze všech porostních skupin na analyzovaném majetku se vyskytujících, podle základních druhů dřevin. Vysoké indexy korelací nás opravňují k zahrnutí těchto dat do výsledků práce.

Dřevina	Rovnice	Index korelace
MD	$y = 0.0038x^2 + 0.1551x - 0.2063$	0,858
SM	$y = 0.0066x^2 + 0.0595x - 0.0971$	0,856
JS	$y = 0.0223x^2 - 0.0694x + 0.1311$	0,795
DB	$y = 0.0177x^2 - 0.0257x + 0.0274$	0,870
BR	$y = -0.0029x^2 + 0.119x - 0.167$	0,863

Tab. č.15: Stanovení objemu středního kmene základních dřevin analyzovaného majetku (z dat LHP)

Konkrétní hodnoty použitých objemů středního kmene jsou pak obsahem tabulky č.16.

Věkový stupeň	Objem středního kmene (m ³ b.k.) (z proložených dat LHP)					
	Dřevina					
	MD	SM	JS	DB	BR	BK
10	1.725	1.158	1.667	1.540	0.733	1.667
11	1.960	1.356	2.066	1.886	0.791	2.066

Tab. č.16: Objemy středního kmene jednotlivých dřevin

7.4.7.4 Vypočítaná skutečná zásoba jednotlivých porostních skupin

Výpočet skutečné zásoby byl proveden na základě výše uvedených údajů prezentovaného postupu, tj. dat počtu stromů na hektar, zastoupení dřevin v jednotlivých porostních skupinách a hodnot objemů středního kmene (b. k.).

Z pohledu výsledků práce (tab. č.17) je možno konstatovat, že pokud budeme hodnotit vypočítané hodnoty zásob jednotlivých porostních skupin, pak na analyzovaném majetku je možno očekávat variační rozpětí odchylek od dat z LHP ve výši od – 28 do + 34 %.

Pokud budeme hodnotit průměrnou odchylku automatizovaným postupem vypočítaných zásob za všechny analyzované porostní skupiny dohromady ve vztahu k průměrné hodnotě z dat LHP, pak lze konstatovat, že tato hodnota se od údaje z dat LHP liší pouze o –2%, což je vysoce pozitivní.

Pořadové číslo	Porostní skupina	Skutečná zásoba (m ³ b.k.) na 1 ha		A/B*100-100
		Automatizovaný postup	LHP (100%)	
		A	B	
1	1A10	316	323	-2
2	1C10	365	410	-11
3	1G10	448	467	-4
4	1F10	358	351	2
5	2A11	673	503	34
6	2B11	254	355	-28
7	2C10	219	260	-16
8	2D11	315	401	-22
9	2E11	298	401	-26
10	2F11/2	368	309	19
11	2G11x	247	253	-2
12	2G11z/1z	328	253	29
Průměr		349	357	-2

Tab. č.17: Srovnání skutečné zásoby vypočítané pomocí automatizovaného postupu s údaji z LHP

8. Limitující faktory použití nové metody HÚL na konkrétním lesním majetku

Je nutno konstatovat, že každá metoda má svá omezení z pohledu jejího efektivního použití. Bylo již zdůrazněno, že prezentovaná nová metoda HÚL je alternativou při zpracovávání plánů především z pohledu technologického. Jedná se tedy o alternativní technologii, která však po metodologické stránce stojí na prvcích současné hospodářské úpravy lesů, tj. na metodě věkových tříd. Alternativou je v tomto případě modifikace procesu sběru tzv. primárních dat plánu a jejich následné zpracování. K danému účelu se využívá obrazových médií (především leteckých snímků), zkonstruovaných lokálních růstových modelů a počítačové analýzy obrazu tak, aby se dospělo k podstatnému snížení nákladů na vypracování plánu.

Jaké jsou tedy limitující faktory, které mohou omezit použití této metody na konkrétním lesním majetku? Jedná se především o následující druhy:

- a) značná diferenciací terénu,
- b) výrazná strukturní bohatost porostů.

Je samozřejmé, že pokud uvažujeme o použití prezentované technologie ke zpracování plánu konkrétního lesního majetku, pak je zapotřebí nejdříve tento majetek vyhodnotit z pohledu členitosti terénu. Obecně je možno konstatovat, že z tohoto pohledu proti možnosti použití této metody stojí výrazná členitost terénu, jako např. prudké svahy, hluboká zařízlá údolí, velké převýšení terénu na malé vzdálenosti apod. Jedná se o případy, kdy je zapotřebí k tvorbě digitálního modelu terénu (DMT) použít velkého množství identických bodů přímo v terénu, což má za následek zdražení DMT jako takového. Uvážíme – li však, že i dnes již u větších majetků (především ve správě LČR, s.p.) je využíváno k tvorbě plánů ortofotosnímků (DMT je jejich nedílnou součástí), pak z tohoto úhlu pohledu toto navýšení nákladů na zpracování plánu nebude až tak vysoké, jak se na první pohled mohlo zdát. Navíc, uvážíme – li že takto zkonstruovaný DMT bude k dispozici i pro následné obnovy plánu (po deseti, dvaceti atd. letech), je nutné na tyto náklady nahlížet i z tohoto pohledu. Navíc, využití takto zkonstruovaného DMT není jednoúčelné, neboť je možné jeho další využití, např. pro hodnocení terénní typizace – kalkulaci nasazení technologií apod.

Daleko důležitějším bodem se pak jeví správné zhodnocení podmínek daného majetku z pohledu strukturní bohatosti lesních porostů. K tomuto účelu se jako velmi vhodná pomůcka jeví použít výsledky starého plánu. Zde se doporučuje vyhodnocení dat plánu především na základě následujících veličin:

- počet dřevin v porostních skupinách, resp. Etážích,
- zastoupení dřevin (příměs, směs dřevin),
- zásoba (odchylka od modelové křivky),
- plocha porostních skupin, resp. etáží se sníženým zakmeněním,
- věková struktura lesních porostů majetku
 - plocha holin, pasek,
 - plocha etážovitých porostních skupin.

Vyhodnocení je možné provést s použitím *metody indexů*, pomocí které daný majetek charakterizujeme z pohledu tzv. **tříd rozrůzněnosti strukturní bohatosti lesních porostů**. Použití této metody je zřejmé z tabulky č.18.

Index číslo	Veličina	Specifikace	Charakteristika	Body indexu
I₁	dřevina	počet	1	1
			2 - 3	3
			3 +	5
I₂	dřevina	zastoupení	do 20 %	1
			nad 21 %	2
			směs (40:60, 50:50)	1
I₃	zásoba	odchylka od modelové křivky	do 5 %	1
			6 - 20 %	3
			nad 21 %	5
I₄	zakmenění		9 – 10, (10 +)	1
			7 - 8	3
			pod 7	5
I₅	věk	věkový stupeň	1 – 4	1
			5 – 10	2
			11 – 13	3
			14 - 17	4

Tab. č.18: Indexy strukturní bohatosti lesních porostů

Každé porostní skupině analyzovaného majetku je pomocí této metody přiřazen jistý počet bodů (bodů příslušného indexu). Následně se celková suma těchto bodů všech výše uvedených indexů rozdělí do čtyř tříd rozrůzněnosti strukturní bohatosti porostů majetku. Třída č.1 představuje majetek s velmi nízkou strukturní bohatostí, naopak třída č.4 označuje majetek s velmi vysokou strukturní bohatostí lesních porostů.

Výše popsany postup byl odzkoušen na ověřovacím majetku prezentované metody (viz. kap. č. 7). K vyjádření celkové sumy bodů indexů všech porostních skupin analyzovaného majetku bylo vyzkoušeno 8 algoritmů, z nichž největší vypovídací schopnost měl algoritmus následujícího znění:

$$I_{\text{SUMA}} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5$$

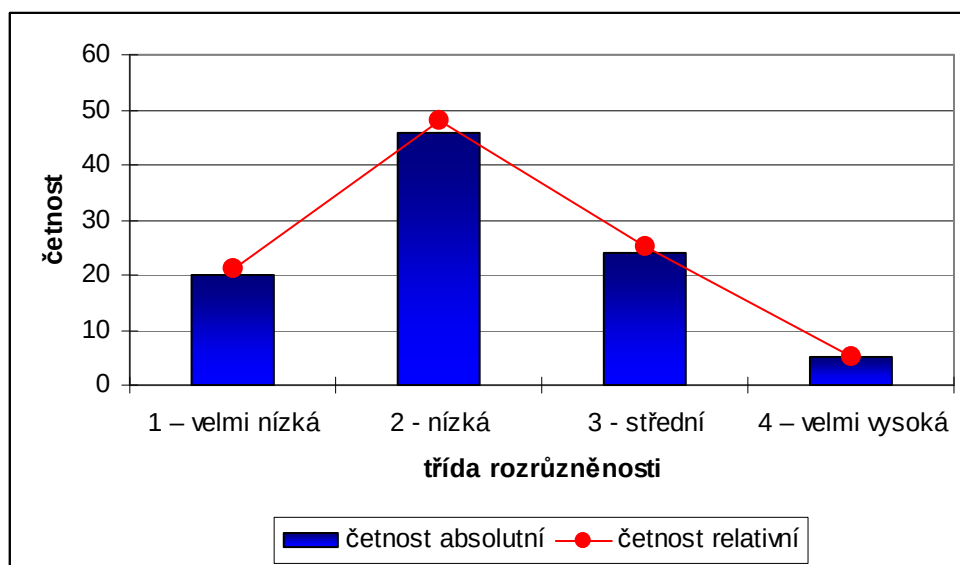
Následně byly výsledné body jednotlivých indexů rozčleněny do čtyř tříd z pohledu četnosti jejich výskytu v jednotlivých třídách rozrůzněnosti strukturní bohatosti porostů.

Třída rozrůzněnosti	Četnost - absolutní	Četnost - relativní
1 – velmi nízká	20	21
2 - nízká	46	48
3 - střední	24	25
4 – velmi vysoká	5	5
celkem	95	100

Tab. č.19: Třídy rozrůzněnosti strukturní bohatosti lesních porostů

Údaje z výše uvedené tabulky jsou pro lepší názornost umístěny do grafu (obr.č. 22). Z výsledků vyplývá, že 48 % porostních skupin daného majetku je možno zařadit do třídy č.2, tj. s nízkou rozrůzněností. 25 % porostních skupin se nám zařadilo do stupně č.3 a 21 % do nejnižšího stupně rozrůzněnosti. Velmi vysokou rozrůzněnost vykazuje 5 % porostních

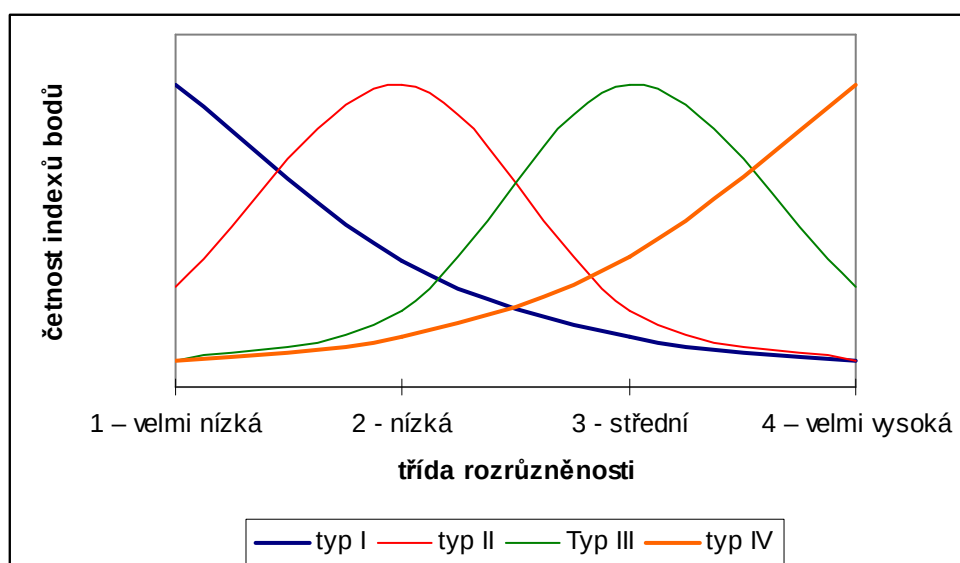
skupin. Obecně je možno daný typ majetku charakterizovat jako majetek s nízkou až střední strukturní bohatostí.



Obr. č.22: Strukturní bohatost ověřovacího majetku

Jak by měl tedy vypadat majetek z pohledu jeho strukturní bohatosti, aby se na něm dala efektivně aplikovat nová metoda HÚL? Odpovědět na tuto otázku by nám měly pomoci informace uvedené v obrázku č.23.

Za nejideálnější je možno považovat strukturu majetku s klesajícím rozdělením četností tříd rozrůzněnosti (typ I). Dále následuje typ s levostranným rozdělením (typ II). Ve výjimečných případech je možné použití této metody pro pravostranné rozdělení (typ III). Za zcela nevhodnou strukturu majetku je pak možno označit typ s rostoucím rozdělením četností (typ IV), kdy největší četnost vykazuje třída č.4, tj. třída s velmi vysokou rozrůzněností strukturní bohatosti lesních porostů.



Obr. č.23: Typy lesních majetků na základě strukturní bohatosti jejich lesních porostů

9. Ekonomické zhodnocení nové metody hospodářské úpravy lesů

Tabulka č.20 uvádí ekonomickou kalkulaci na tři varianty vyhotovení LHP. Jedná se o standardní metodu (terestrické šetření, zpracování), standardní metodu s využitím počítačové analýzy obrazu – doplněný standard, nadstandardní metoda s využitím počítačové analýzy obrazu se snahou po maximálním omezení venkovních šetření - nadstandard. Kalkulace zde uvedené jsou logicky rámcové, přesná kalkulace je závislá na lokálních porostních podmínkách a v neposlední míře na výměře majetku, tedy ceně vstupních médií pro obrazovou analýzu. Generalizované, zde uvedené hodnoty, jsou do značné míry srovnatelné. Z tohoto důvodu je možná volba varianty závislá na specifikaci požadavku struktury vlastníkem, v závislosti na legislativním prostředí.

I. Standardní metoda		II. Varianta A - doplněný standard		III. Varianta B - nadstandard	
1.	Přípravné práce (vč. materiálu) 30	1.	Přípravné práce (vč. materiálu) 80	1.	Přípravné práce (vč. materiálu) 80
2.	Zjišťování stavu lesa 40 _T	2.	Zjišťování stavu lesa 20 _T	2.	Zjišťování stavu lesa 20 _T
	plán - 40		přídavné údaje - 60		přídavné údaje - 60
	reambulace map - 120		plán - 40		plán - 20
			reambulace map - 120		šum - 40
3.	Zpracování grafické databáze (stand. vrstvy) 80	3.	Zpracování grafické databáze (stand. vrstvy) 80	3.	Zpracování grafické databáze 50
4.	Tisky (zákl. sada map) 30	4.	Tisky (zákl. sada map) 30	4.	Tisky (zákl. sada map) 30
5.	Režie včetně vedení 50	5.	Režie včetně vedení 60	5.	Režie včetně vedení, terén 30
6.	Marže (zisk) 10 - 13 % 20	6.	Marže (zisk) 10 - 13 % 20	6.	Marže (zisk) 10 - 13 % 20
Celkem/ha 410 Kč		Celkem/ha 510 Kč		Celkem/ha 350 Kč	

Tab. č.20: Rozpis ekonomické kalkulace ceny LHP (Kč/1ha) podle jednotlivých variant (průměrné údaje z různých zdrojů)

Poznámka: Kalkulace se vztahují k cenové hladině z roku 2002.

Poznámky k údajům tabulky č.20:

I. - /2.3.4.5.6 - údaje - Lesprojekt Kroměříž s.r.o. (údaje k listopadu 2002)

II. - /1 - Pořízení spektrozónálních snímků , vytvoření ortofotomapy

- přídavné údaje - zastoupení v SLT, HS, počty stromů, zajištěnost kultur, počty sazenic v zalesnění, zápoj, vývoj hustoty atd.

- index „T“ - terestrické zjišťování

III. - /1 - 2 - V případě zpracování LHO násobeno v průměru indexem 1,5

III. - /2 - šum. - terénní ověření neurčitých údajů

Údaje pro cenu LHP klasickou standardní metodou jsou údaje generalizované. V současné době, v prostředí vysoké konjunktury, je zřetelné značné kolísání cen a jejich posun, v určitých případech i mimo úroveň potřebnou pro odpovídající kvalitu zpracování LHP. Z tohoto důvodu je třeba ekonomické hodnocení chápat spíše jako orientační, s vědomím faktu, že využití metody počítačové analýzy obrazu snižuje cenu o cca 30%.

10. Vazby prezentované technologie a struktury zpracování LHP klasickou metodou

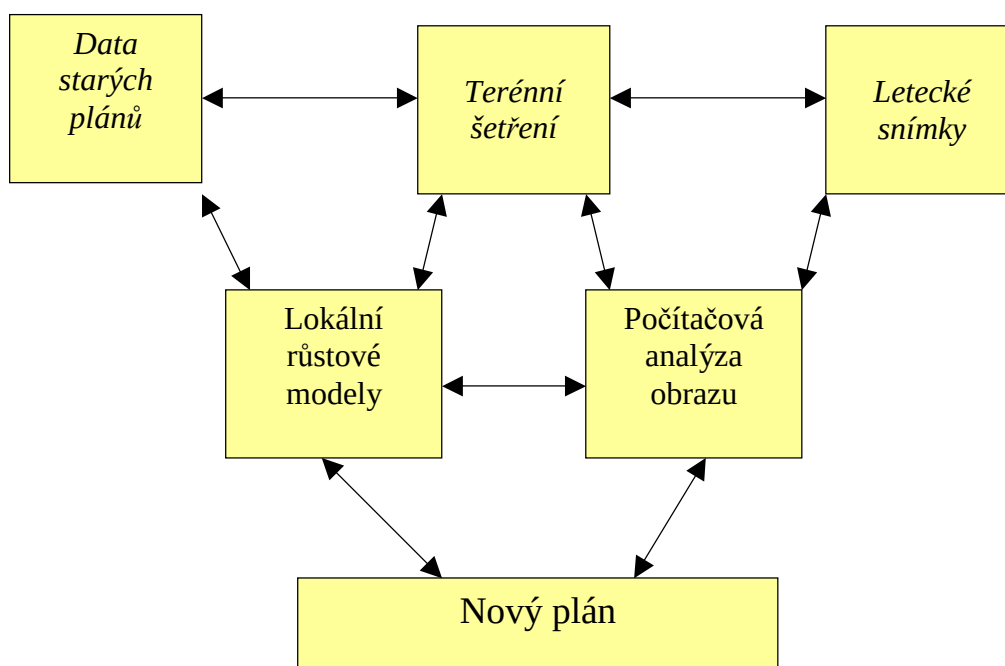
Klasická technologie zpracování lesních hospodářských plánů a osnov s platnou legislativou (zákon č. 289/1995 Sb., vyhláška Mze č. 84/1996 Sb.) a Informačním standardem LH, využívá zpracování leteckých snímků jen ve velmi omezené míře, a to zejména pro polohopisné analýzy. Využívány jsou zpravidla barevné ortofoto snímky, a to pro hodnocení změn charakteru lesa (vymezení holých ploch, např. z kalamit a jejich zákres, transport do mapových vrstev, okulární hodnocení porostů po zásazích, proředění atd.). Celkově lze říci, že letecké snímky nejsou využívány v potřebné míře nebo v míře a rozsahu jak by bylo možné a výhodné. Prezentovaná metoda zpracování lesního hospodářského plánu, s možností využití přirozeně i pro tvorbu lesních hospodářských osnov, je postavena právě na zpracování leteckých snímků (různého typu), využitelné jsou ve více směrech i snímky barevné, které zpravidla vždy při zpracování jsou k dispozici. Její využití pro náhradu nezanedbatelné části terénních šerení je bezproblémové a hlavně výsledky nejsou zatíženy subjektem měřiče. Využití nebrání ani celkem striktně formulovaný Informační standard lesního hospodářství, a to hlavně z toho důvodu, že formuluje zejména úroveň výstupu a metody, dále pak zjišťování stavu lesa si vždy optimalizuje zpracovatel. Využití metod počítačové analýzy obrazu není limitováno ani v jednom plánovacím systému, hospodářsko-úpravnické soustavě (lesa pasečného, lesa s bohatou strukturou) v podmínkách velmi diferencovaných porostních struktur může tvořit vhodné doplnění, případně základ terestrických metod.

Lze předpokládat, že optimální variantou by bylo provázání všech metod v jeden celek. Uvedené se jeví výhodné i v případě předpokládaného zjednodušení obsahu i formy lesních hospodářských plánů i osnov.

11. Závěr

Předložená práce podává popis nové metody hospodářské úpravy lesů. Jedná se o alternativní technologii zpracování plánů, která klade maximální důraz na využití počítačové analýzy obrazu. Výchozím bodem této metody je snaha po minimalizaci nákladů na vypracování plánu. Z tohoto důvodu je těžiště metody možno hledat v tzv. pořizování primárních dat plánů, tj. v popisu porostů a jejich následném zpracování do podoby standardních výstupů.

K danému účelu metoda využívá vyhodnocení barevných leteckých (především spektrozonálních) snímků počítačovou analýzou obrazu. Údaje popisné části plánu metoda odvozuje z lokálních růstových modelů, které jsou zkonstruovány nad daty starších plánů konkrétního lesního majetku. Tvorbu plánu podle nové metody HÚL je tedy možno vyjádřit pomocí následujícího vztahu:



Obr. č.24: Konstrukce plánu podle nové metody HÚL

Domníváme se, že jak pro zpracovatele plánu, tak především pro vlastníky lesních majetků je zásadní fakt, že již v současné době je možné zlevnit a zároveň zkvalitnit finální díla hospodářské úpravy lesů.

Předpokládáme, že efekt této metody se však nejvíce projeví v době, kdy dojde k postupnému avšak výraznému zdražování kvalifikované lidské práce. A právě na tuto skutečnost reaguje a nabízí řešení předkládaná tzv. nová metoda HÚL.

12. Souhrn

Monografie prezentuje výsledky, které ve svém konečném důsledku vyústily v definování tzv. nové metody HÚL. Metoda je postavena na základním výchozím bodu, kterým je především snaha po snižování nákladů na pořizování a vypracování lesního hospodářského plánu (příp. osnovy) a zlepšení a zkvalitnění jeho výstupů.

Problematickou možných úspor nákladů ve vztahu k vypracování plánu se v současné době zabývá kapitola druhá monografie. Ústředním bodem nové metody HÚL je především využití a zapojení počítačové analýzy obrazu do této problematiky. Třetí kapitola monografie se tak věnuje právě této problematice, čtenář získává základní informace o obsahu a významu počítačové analýzy obrazu a v neposlední řadě i o jejím zapojení do prezentované metody. Použití a využití výsledků analýz nejružnějších obrazových médií formou počítačové analýzy obrazu je více než široké, jak ostatně vyplývá z obsahu čtvrté kapitoly. Spektrum možných analýz je zaměřeno především na mapování ploch s výskytem či bez výskytu lesních porostů, příp. na hodnocení jejich zdravotního stavu. Není nezajímavé, že prezentované výsledky se již v současné době zaměřují na výstupy, které můžeme z našeho hospodářsko-úpravnického pohledu zařadit do oblasti zjišťování primárních taxačních veličin (střední tloušťka, střední výška či zásoba porostu apod.), ač dosahované přesnosti výsledků nejsou ještě zcela na úrovni, kterou bychom rádi předpokládali.

Základní filozofií nové metody se zabývá kapitola pátá. Jak již bylo konstatováno výše, metoda stojí především na snaze po maximálním využití počítačové analýzy obrazu při procesu tvorby lesního hospodářského plánu či osnovy. Metoda dále vzájemně, a domníváme se, že i vhodně, kombinuje výstupů z analýzy obrazu a dat tzv. starého plánu a nově zkonstruovaných lokálních růstových modelů. Z běžně dostupných obrazových médií ve vazbě na cenu jejich pořízení metoda preferuje letecké snímky. Nově tvorba plánu (osnovy) tak nepředstavuje pouze tzv. sběr nových dat k danému časovému okamžiku, ale především jejich využití k tvorbě lokálních růstových modelů. Lokální růstové modely a jejich použití pak metoda chápe jako průlom v dosavadním využívání růstových modelů (růstových tabulek) v současné hospodářské úpravě lesů v ČR.

Stěžejní část monografie je obsahem šesté kapitoly. V ní je proveden detailní popis jednotlivých částí, které v souhrnu vytvářejí zmiňovanou metodu. Jsou tak zde jasně definovány vstupní podkladová data a materiály, způsob jejich zpracování a bližší specifikace konkrétních dílčích metodických postupů. Nedílnou součástí je pak definování tzv. nadstandardních výstupů, které mohou sehrát zajímavou roli při kalkulování finální ceny nově vzniklého plánu (osnovy) na bázi této metody.

Prezentovaná metoda byla ověřena na konkrétním majetku, na kterém byl ve stejné době zpracováván plán klasickým postupem. Výsledky tohoto ověření jsou shrnuty v sedmé kapitole. Z výsledků a srovnání s daty klasicky zpracovaného LHP vyplývají mimo jiné následující závěry: LHP v analyzovaných porostních skupinách popisoval celkem 11 druhů dřevin, z tohoto počtu připadaly 4 druhy na jehličnaté dřeviny. Analýza obrazu v daných porostních skupinách vyklasifikovala 6 druhů dřevin (což představuje 55 % - tní úspěšnost). K daným výsledkům je však nutno podotknout, že v každém případě byly analýzou obrazu vylišeny a z pohledu zastoupení dřevin vyčísleny jak v případě jehličnatých, tak listnatých dřevin druhy nejzastoupenější, což je možno jistě považovat za nesmírně důležitý fakt. Srovnání zastoupení dřevin ve vazbě na absolutní hodnoty zastoupení podle jednotlivých druhů dřevin, příp. jejich skupin se jeví jako velmi problematické. Složitost tohoto porovnání pramení především z rozdílného metodického postupu výpočtu, neboť jak známo, výpočet zastoupení dřevin podle konvenčního LHP se obecně odvozuje ze zásoby, naopak analýza obrazu k danému účelu využívá plošný podíl jednotlivých dřevin z celkové plochy všech dřevin na plošné jednotce se vyskytujících. Co se týče výpočtu parametru skutečné zásoby podle nové metody a jeho srovnání s údajem z LHP, který byl zpracován klasickým postupem, pak je možno konstatovat, že na analyzovaném majetku je možno očekávat variační rozpětí odchylek od dat z LHP ve výši od – 28 do + 34 %. Pokud budeme hodnotit průměrnou odchylku automatizovaným postupem vypočítaných zásob podle nové metody za všechny analyzované porostní skupiny dohromady ve vztahu k průměrné hodnotě z dat LHP, pak lze konstatovat, že tato hodnota se od údaje z dat LHP liší pouze o – 2 %, což je dle našeho názoru, výsledek vysoce pozitivní.

Každá metoda má svá omezení z pohledu jejího efektivního použití. Autoři se proto v kapitole osm zamýšlejí nad možnými problematickými místy použití metody v současné době. Zdůrazňují, že prezentovaná metoda je alternativou při zpracování plánů především z technologického pohledu. Konstatují, že návrh nové metody HÚL je proto především návrhem alternativní technologie, která však po metodologické stránce stojí na prvcích současné hospodářské úpravy lesů, tj. na metodě věkových tříd. Alternativou je v tomto případě modifikace procesu sběru tzv. primárních dat plánu a jejich následné zpracování. Jako limitní faktory jsou vyzdvihovány především značná diferenciací terénu a výrazná tzv. strukturní bohatost porostů. Součástí kapitoly je pak prezentování metodického postupu, jehož výsledkem je doporučení, zda je pro konkrétní majetek použití této metody vhodné či nikoliv.

Nedílnou součástí monografie je ekonomické zhodnocení nové metody HÚL (kapitola devět), z kterého vyplývá, že použití prezentované metody tvorby LHP (LHO) by mohlo snížit náklady na jeho zpracování o cca 30 %.

V desáté kapitole se autoři zamýšlejí nad možným (nutným) provázáním klasických postupů tvorby LHP (LHO) s prezentovanou novou metodou. Zdůrazňují, že jako optimální se dle jejich názoru jeví provázání všech stávajících metod v jeden funkční celek. Co dále pokládají za rovněž důležité je pak i ten fakt, že uvedené se zdá jako výhodné i v případě předpokládaného zjednodušení obsahu i formy lesních hospodářských plánů a osnov.

13. Citovaná literatura

BORISOV, A. N., KASHIN, V. B., KHLEBOPROS, R. G., 1987: Method for indication of horizontal structure of tree stands. Doklady - Biological-Sciences., 293: 1 - 6, 132 - 133; Translated from Doklady Akademii Nauk SSSR (1987) 293 (4) 1016 - 1018. Ru; 7 ref.

BROCKHAUS, J. A., 1989: An assessment of remotely sensed imagery for use in hardwood stand density distribution mapping in central California. Agenda for the 90's. Technical Papers 1989 ASPRS-ACSM Annual Convention. Volume 3. Remote sensing. 109 - 117; 7 ref.

ČERMÁK., V., 1961: Určovanie najdôležitejších taxačných veličín smrekových porastov z leteckých snímok. Lesnícky časopis, 7 (5): 356 – 369.

ČERNÝ, M., PAŘEZ, J., MALÍK, Z., 1996: Růstové a taxační tabulky hlavních dřevin ČR. IFER – Ústav pro výzkum lesních ekosystémů, s.r.o.

ČIHAL, A., 1958: Lesnická interpretace leteckého snímku. Kandidátská dizertační práce. VŠZL. Brno.

DANILIN, I. M. 1993: Determining the parameters of the aerial biomass of stands from aerial photos. Lesnoe-Khozyaistvo., No. 1, 35-36; 8 ref.

ŘURSKÝ, J., 2001: Uplatnenie rastových simulátorov v lesnom hospodárstve. In: Nová strategie zpracování lesních hospodářských plánů. Sborník referátů. LDF MZLU Brno.

FRANKLIN, S. E., 1994: Discrimination of subalpine forest species and canopy density using digital CASI. SPOT PLA, and Landsat TM data. PE-and -RS, - Photogrammetric-Engineering-and-Remote-Sensing. 60: 10, 1233-1241; 68 ref.

HALAJ, J., 1949: Príspevok k odhadu drevnej hmoty s leteckej snímky. Sborník Vysoké školy zemědělské v Brně. Fakulta lesnická. Brno.

HENŽLÍK, V., 1991: Klasifikace poškození lesů antropogenním znečištěním ovzduší. Lesprojekt Brandýs nad Labem. 20 pp.

JAGTAP, T. G., UNTAWALE, A. G., INAMDAR, S. N., 1994: Study of mangrove environment of Maharashtra coast using remote sensing data. Indian-Journal-of-Marine-Sciences., 23:2, 90 - 93; 21 ref.

JEWELL, N., 1995: Satellite remote sensing of natural and plantation forest. Special issue remote sensing. Sri Lanka-Forester., No. Special Issue, 25 - 36; 4 ref.

KESTEREN, A. R. VAN, 1992: Air photo interpretation of Damman forest types on calcareous terrain in western Newfoundland. Information-Report- Newfoundland-and-Labrador-Region-Forestry-Canada. No. N-X-286, iv + 18 pp.; 37 ref.

KRISHNAMOORTHY, R., BHATTACHARYA, A., NATARAJAN, T., SWAMINATHAN, M. S., RAMESH, R., 1993: Mangroves and coral reef mapping of South Andaman Islands through remote sensing. Sustainable management of coastal ecosystems. Papers from a workshop held in Madras in October 1991. 143 - 151; 6 ref.

KUSHWAHA, S. P. S, KUNTZ, S., OESTEN, G., 1994: Applications of image texture in forest classification. International-Journal-of-Remote-Sensing., 15:11, 2273 - 2284; 39 ref.

LAL, J. B., PRAJAPATI, R. C., 1989: Effect of scale on vegetation mapping by remote sensing. Indian-Forester., 115: 6, 372 – 377.

LEJEUNE, P., LECOMTE, H., PREVOT, H., 1993: Use of GIS in forest resources management: application to a regional forest inventory. Bulletin-des-Recherches-Agronomiques-de-Gembloux., 28, 2 - 3, 275 - 286; With English figures and tables; 22 ref.

MATĚJKA, K., 1993: Monitoring stavu lesů České republiky, Sci PP Č. Budějovice 68 pp.

MATĚJŮ, K., 1937: O významu a využití letecké fotografie v lesnictví. Les. práce.

NAESSET, E., 1990: Prediction of mean diameter, tariff number and gross value in coniferous stands from aerial photographs. 158 pp.; Doctor Scientarium Theses No. 19; 10 pp. of ref.

NAESSET, E., 1996: Determination of number of stems in coniferous forest stands by means of aerial photo-interpretation. Scandinavian-Journal-of-Forest-Research., 11:1, 76-84; 48 ref.

NELDNER, V. J., HOWITT, C.J., 1991: Comparison of an intuitive mapping classification and numerical classifications of vegetation in south-east Queensland, Australia, Vegetatio. 94:2, 141 - 152; 35 ref.

POSPÍŠIL, R., 1942: Letecká fotogrametrie v lesnictví. Les. práce.

PRAJAPATHI, R. C., 1990: The effect of sensor on the accuracy of vegetation mapping. Van-Vigyan. 28: 1 - 2, 51 - 54.

PRIETO-PALACIO, J. L., GONZALEZ-LUNA, L., 1996: Improving spectral results in a GIS context. International-Journal-of-Remote-Sensing. 17: 11, 2201 - 2209; 16 ref.

RYHERD, S., WOODCOCK, C., 1996: Combining spectral and texture data in the segmentation of remotely sensed images. PE-and-RS-Photogrammetric-Engineering-and-Remote-Sensing. 62: 2, 181 - 194; 65 ref.

SADER, S. A., AHL, D., LIOU-WENSHU, LIOU, W.S., 1995: Accuracy of Landsat-TM and GIS rule-based methods for forest wetland classification in Maine. Remote-Sensing-of-Environment. 53: 3, 133-144, 34 ref.

SAUKKOLA, P., JAAKKOLA, S., 1983: Digital image interpretation in forest inventory and mensuration. Tutkimuksia.-Valtion-Teknillinen-Tutkimuskeskus.- Finland. No. 151, 108 pp.: 1 pl., 1 col. map: 27 ref.

SCRINZI, G., TOSI, V., 1985: Forest dieback and large-scale aerial photography. An experiment in Trento. Italy. Annali-dell'Istituto-Sperimentale-per-l'Assessmento-Forestale-e-per-l'Alpicoltura. 1985-1987, 10: 1 - 70; 10 col. pl.; 42 ref.

SERRA, J., 1982: Image Analysis and Mathematics Morphology. Academic Press, London.

SHANDLEY, J., FRANKLIN, J., WHITE, T., 1996: Testing the Woodcock-Hardward image segmentation algorithm in an area of southern California chaparral and woodland vegetation. International-Journal-of-remote-Sensing. 17: 5, 983 - 1004; 39 ref.

SIMON, J., DRÁPELA, K., 1997: Integrated Enumeration Survey and Assessing the Condition of Forests on the Basis of Computer - Aided Image Analysis. Referát z XII. světového kongresu. Antalya (Turecko). 13. - 20. 10. 1997; 12 pp.

SIMON, J., DRÁPELA, K., KADAVÝ, J., MAZAL, P., ZACH, J. 1997, 1998 a 1999: Metodika posuzování stavu lesa na základě počítačové analýzy obrazu. Výroční zpráva projektu EP 0960986480 Mze ČR, NAZV, Praha.

SIMON, J., KADAVÝ, J., MAZAL, KNEIFL, M., DRÁPELA, K. 1999: Rozvoj aplikací počítačové analýzy obrazu pro hodnocení stavu lesa – Mrlínek I. ÚHÚL LDF MZLU Brno.

SIMON, J., KADAVÝ, J., MAZAL, GABZDYL, M., KNEIFL, M., 2000: Rozvoj aplikací počítačové analýzy obrazu pro hodnocení stavu lesa – Mrlínek II. ÚHÚL LDF MZLU Brno.

SIMON, J. a kol., 2010: Strategie managementu lesních území se zvláštním statutem ochrany. Obecná část I. Lesnická práce, s.r.o., Kostelec nad Černými lesy, 567 pp., ISBN 978-80-87154-50-2.

SPELLMANN, H., 1987: Forest classification, digital stand mapping and computation of area with the aid of aerial photography. Plant-Research-and-Development. 25:69-84; ORS. Transl. from Forstarchiv (1985) 56(5) 186 - 190; 8 ref.

TICHÝ, A., POLANSKÝ, B., 1937: Použití leteckých snímků lesníkem. Lesnická práce.

TOMSA, K., 1947: Návod pro používání leteckých snímků. Brandýs n. L.

TOMSA, K., 1956: Relativní orientace snímků. Lesnictví.

TOMSA, K., 1966: Praktická geometrie lesnická. SZN Praha.

TOMTER, S. M., 1988: Volume determination from aerial photographs. Norsk-Skogbruk., No. 4, 18 - 19, 10 ref.

TUČEK, J., 1998: GIS Geografické informační systémy. Principy a praxe. Computer Press. 424 pp.

UHLÍŘOVÁ, H., 1996: Symptomy poškození lesních dřevin. MZe ČR a VÚLHM Zbraslav Strnady. Praha: 243 pp.

ÚHÚL LDF MZLU, 1999: Metodika zjišťování stavu kultur z vyhodnocených leteckých snímků s využitím počítačové analýzy obrazu. Brno, 14 pp.

ÚHÚL, VÚHLM, 1990: Taxační tabulky. Brandýs n. L., Zbraslav Strnady (platnost od 1. 1. 1990).

VYSKOT, M., ČIHAL., A., 1958: Příspěvek k otázce stanovení zápoje. Lesnictví, 1, 1 – 20.

WHITE, J. D., KROH. G. C., PINDER, J. E., 1995: Forest mapping at Lassen Volcanic National Park, California, using Landsat TM data and a geographical information system. PE-and-RS-Photogrammetric-Engineering-and-Remote-Sensing. 61:3, 299-305; 40 ref.

ZACH, J., 2001: Využití matematického modelování při zpracování LHP. In: Nová strategie zpracování lesních hospodářských plánů. Sborník referátů. LDF MZLU Brno.

ZAWILLA-NIEDZWIECKI, T., 1994: Radar in forestry oriented remote sensing. Sylwan., 138:2. 31 - 40; 19 ref.

ZHOU, H. Z., 1986: Application of information theory to aerial-photograph interpretation. Journal-of-North-East-Forestry-University, - China. 14:4, 36 - 41; 3 ref.

ŽIHRAVNÍK, S., PALAGA, J., 1995: Interpretation key-topographic elements and tree species on colour syntheses. Lesnictví-Forestry. 41: 10, 476 - 482; With English figures; 10 ref.

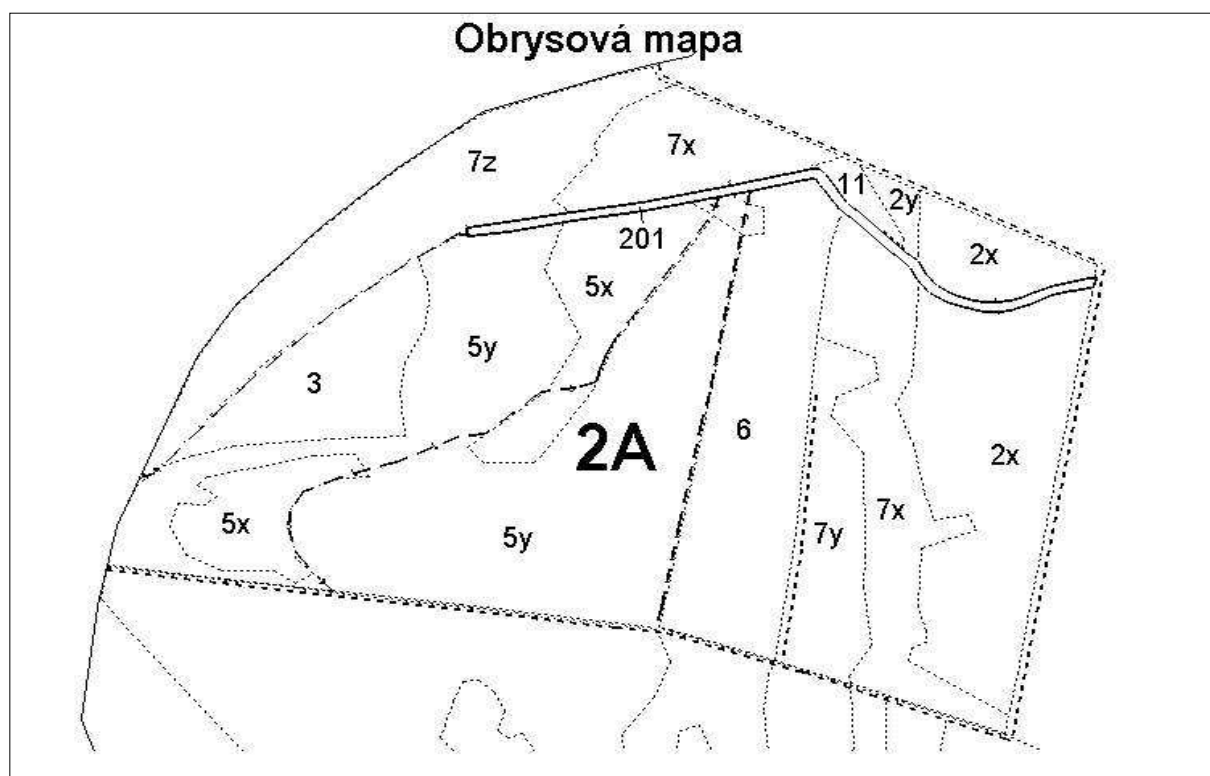
14. Přílohy

Řazení příloh odpovídá struktuře textu této práce.

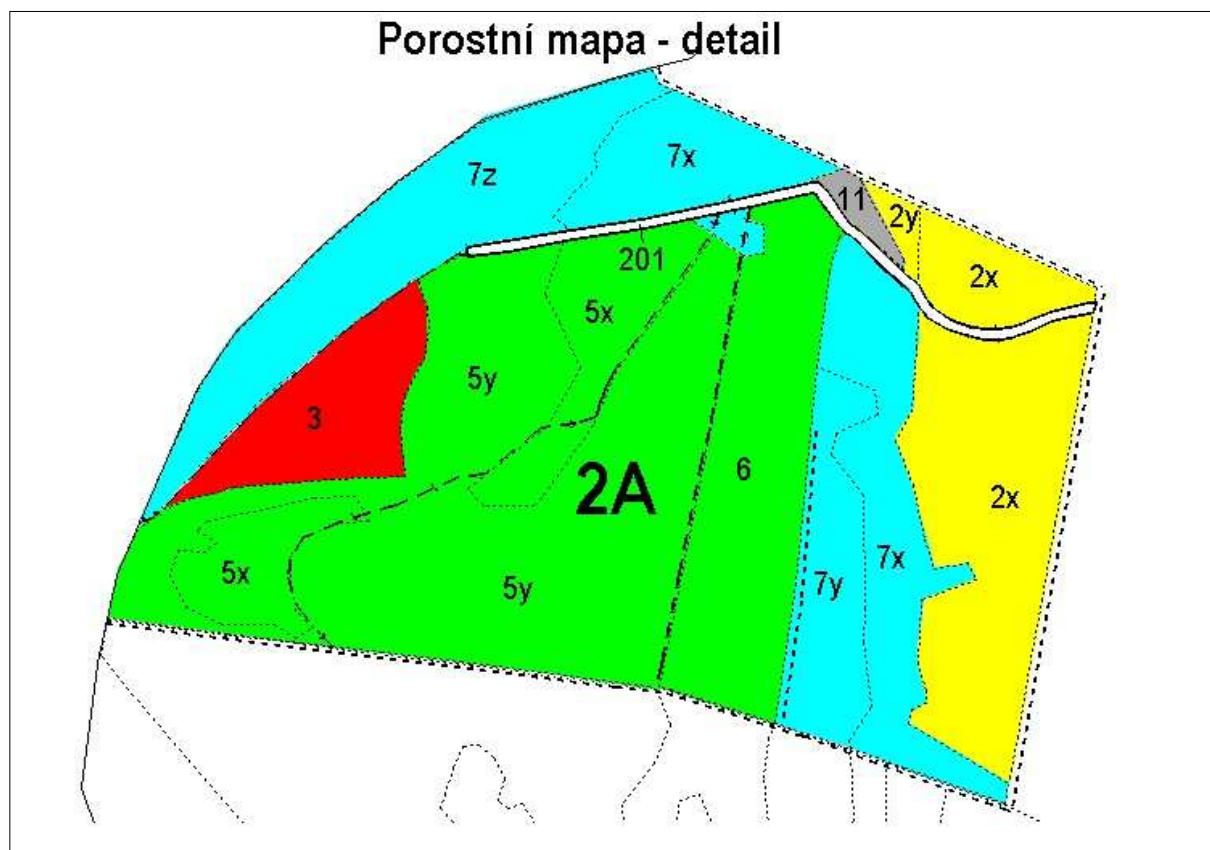
Obr. č. I: Ukázka výstupu nové metody HÚL – naeditovaná hospodářská kniha

Oddělení:	2	Plocha:	73,41	Majitel:	701	LO:	37	Kalešská pahorkatina	LHC:	604701	Platnost:	1.1.2000-31.12.2009	Strana:	3													
Dílec:	A	Plocha:	10,41	Kategorie/překryv:	10	Zvl. St.:			Pásmo ohrož:	D	LS(LZ):		Revír:														
Por. skupina:	7x	Plocha por. skup.:	0,55	Les. typ:	3D5	Les. úřad:			3708 - Kroměříž	Kód KÚ:	370801107	Název KÚ:	Rychlov u Bys. p. H.														
Popis por. skup:																											
Hosp. soubor	456 69 10	Věk		Zakme- nění	Dřevina	Zastoi- pení	Výč. omýtí	Výška m	Objem m3 b.k.	Bonita abs.	Bon. rel. v. 84/96Sb	Gen. klasif.	Poškození Druh	%	limise	Zásoba v m3 b.k.	Na 1 ha	Souše ha	Celkem na 1 ha	Nálé- havost	Plocha ha	Objem m3	Těžba obnovní Plocha ha	Obřety / Obn. doba:	120/30	% mel. a zpevň. dřevín:	
					JS	79	26	24	0,64	28	3	C				230	127						17				
					BR	1	26	24	0,59	26	2	C				3	2						1				
					MD	7	30	26	0,89	30	2	C				35	19						1				
					DB	7	28	25	0,77	28	2	C				27	15						1				
					Směš	6	27	26	0,72	30	3	C				33	18										
Por. sk. celkem:						100										328	181	0	0,55	20							
Por. skupina:	7y	Plocha por. skup.:	0,57	Les. typ:	3D5	Les. úřad:										3708 - Kroměříž	Kód KÚ:	370801107	Název KÚ:	Rychlov u Bys. p. H.							
Popis por. skup:																											
Přimíšené MD, DB, KS.																											
Hosp. soubor	456 69 10	JS	49	26	26	22	0,71	28	3	C						158	90						12				
		DB	18	26	22	0,58	26	3	C							58	33						1				
		MD	22	30	28	0,99	32	1	C							122	69						2				
		Směš	11	27	27	0,75	32	2	C							64	37						1				
Por. sk. celkem:			100													402	229	0	0,57	16							
Por. skupina:	7z	Plocha por. skup.:	1,16	Les. typ:	3D5	Les. úřad:										3708 - Kroměříž	Kód KÚ:	370801108	Název KÚ:	Sovadina							
Popis por. skup:																											
Přimíšené MD, DB, KS.																											
Hosp. soubor	456 69 10	JS	49	26	24	0,64	28	3	C							143	166						22				
		DB	20	26	23	0,60	26	3	C							68	79						3				
		MD	9	30	29	1,05	34	1	C							52	61						2				
		BR	4	26	22	0,54	24	3	C							11	13						3				
		Směš	18	27	25	0,69	30	3	C							94	109						2				
Por. sk. celkem:			100													368	428	0	1,16	32							

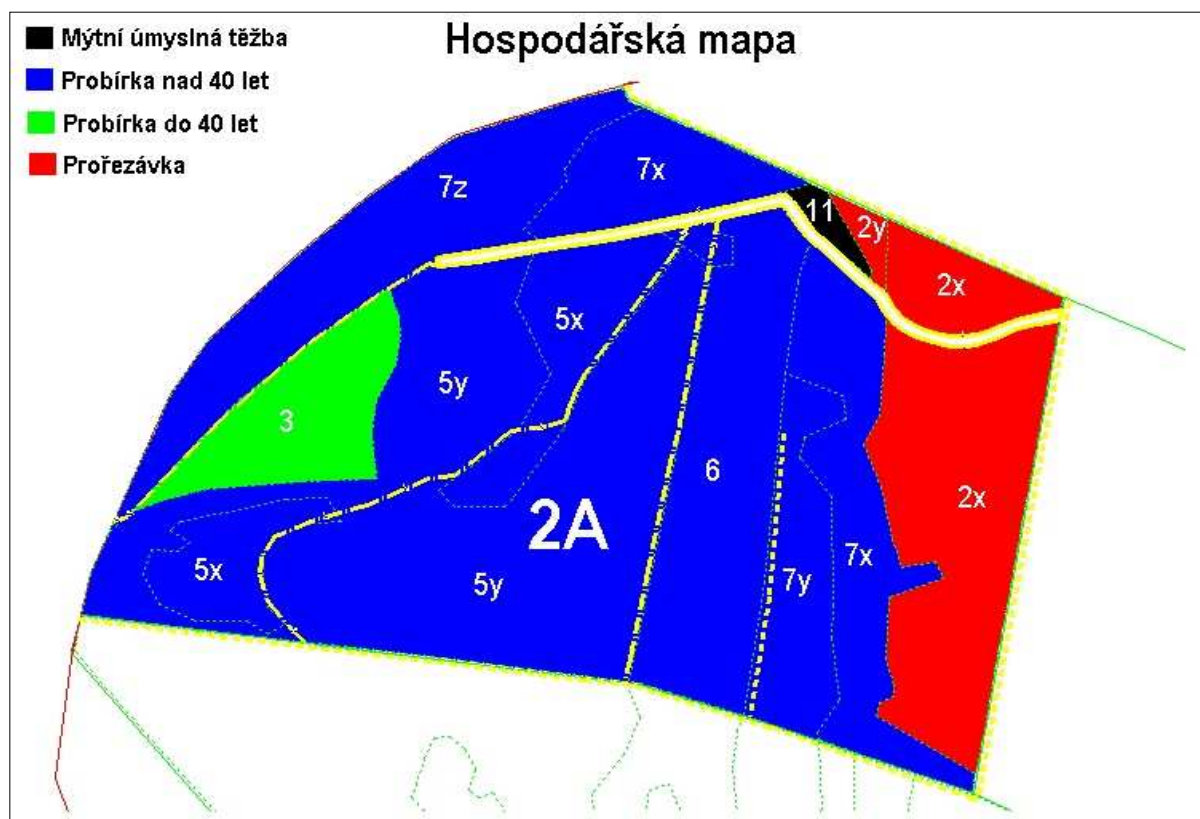
Obr. č. II: Obrysová mapa



Obr. č. III: Porostní mapa

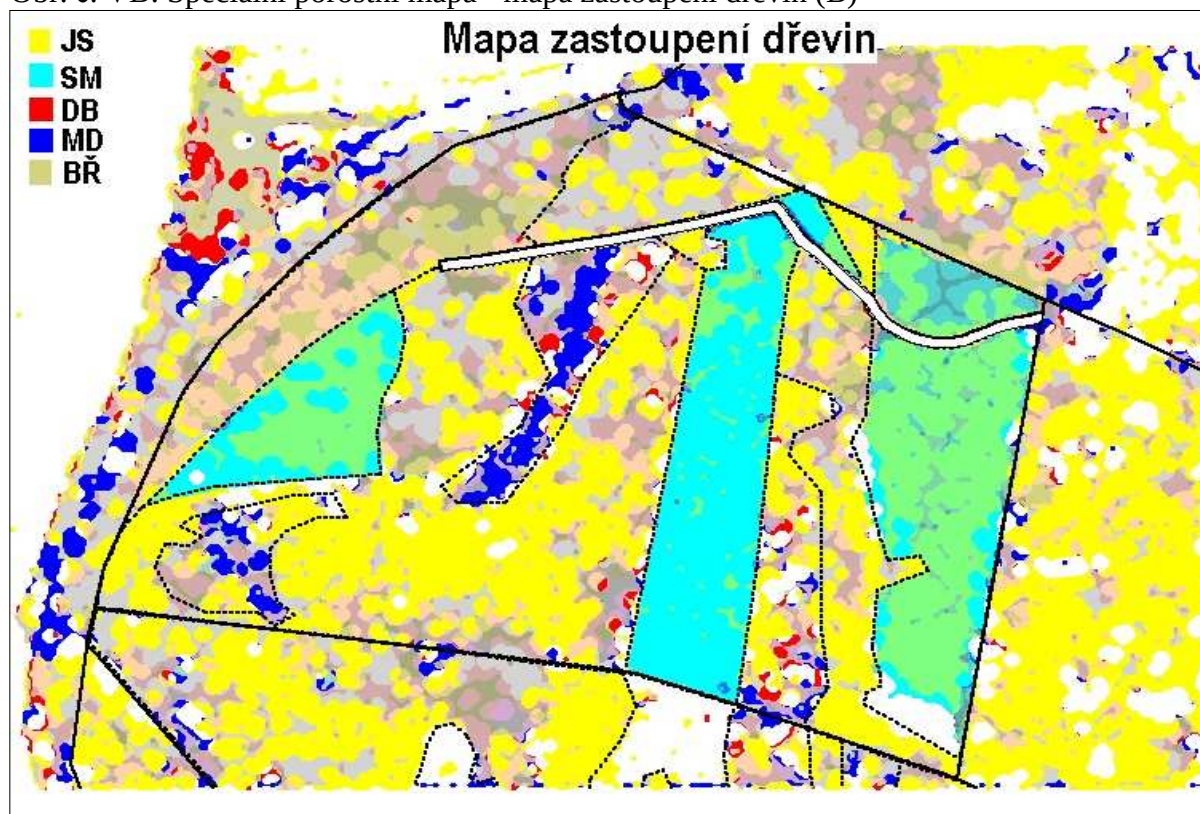


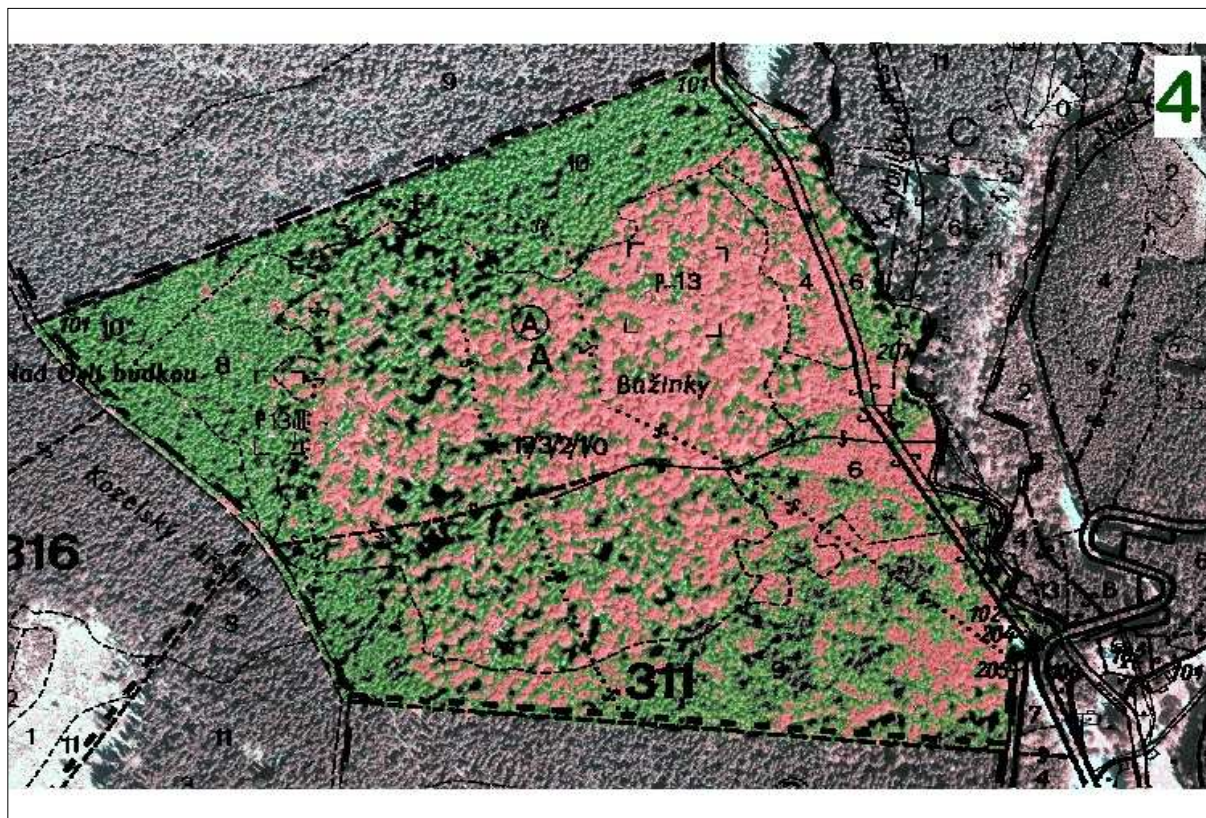
Obr. č. IV: Hospodářská mapa



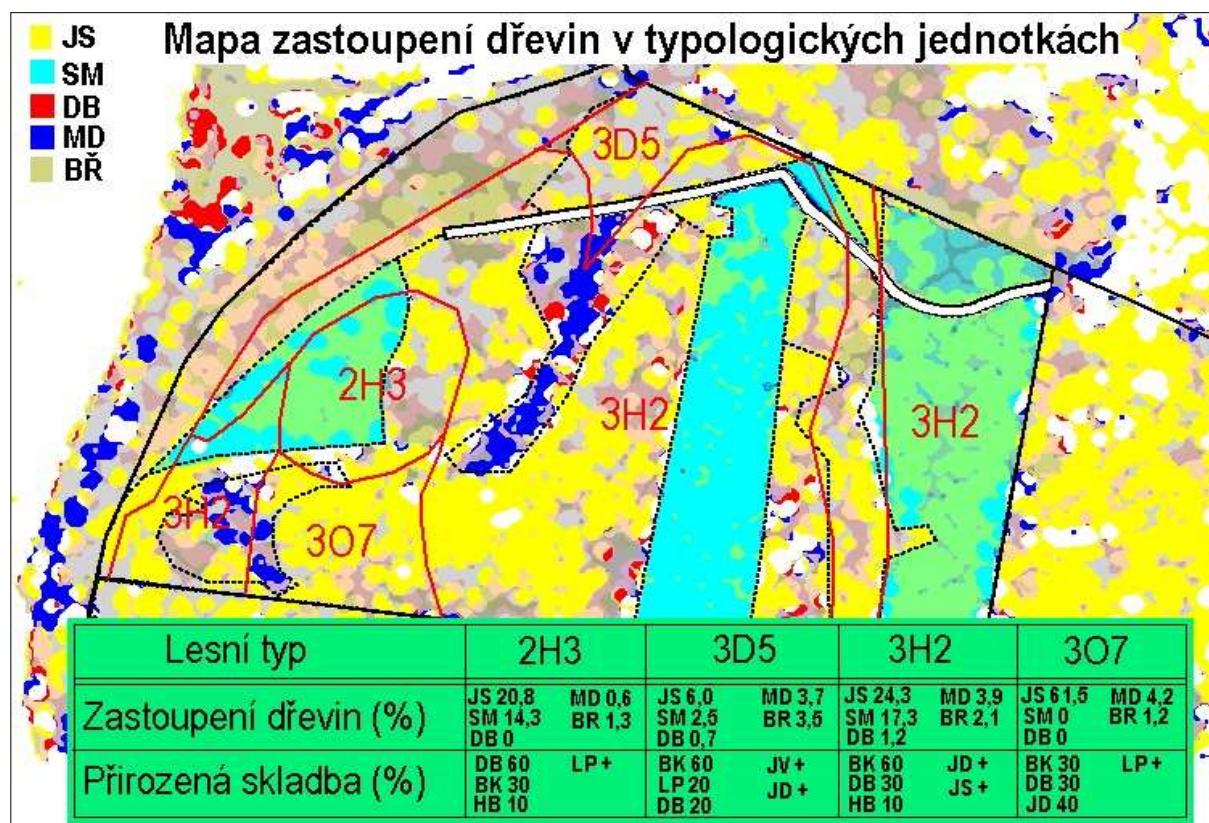
Obr. č.VA: Speciální porostní mapa - mapa zastoupení dřevin (A)

Obr. č. VB: Speciální porostní mapa - mapa zastoupení dřevin (B)





Obr. č. VI: Mapa zastoupení dřevin v rámci vylišených lesních typů

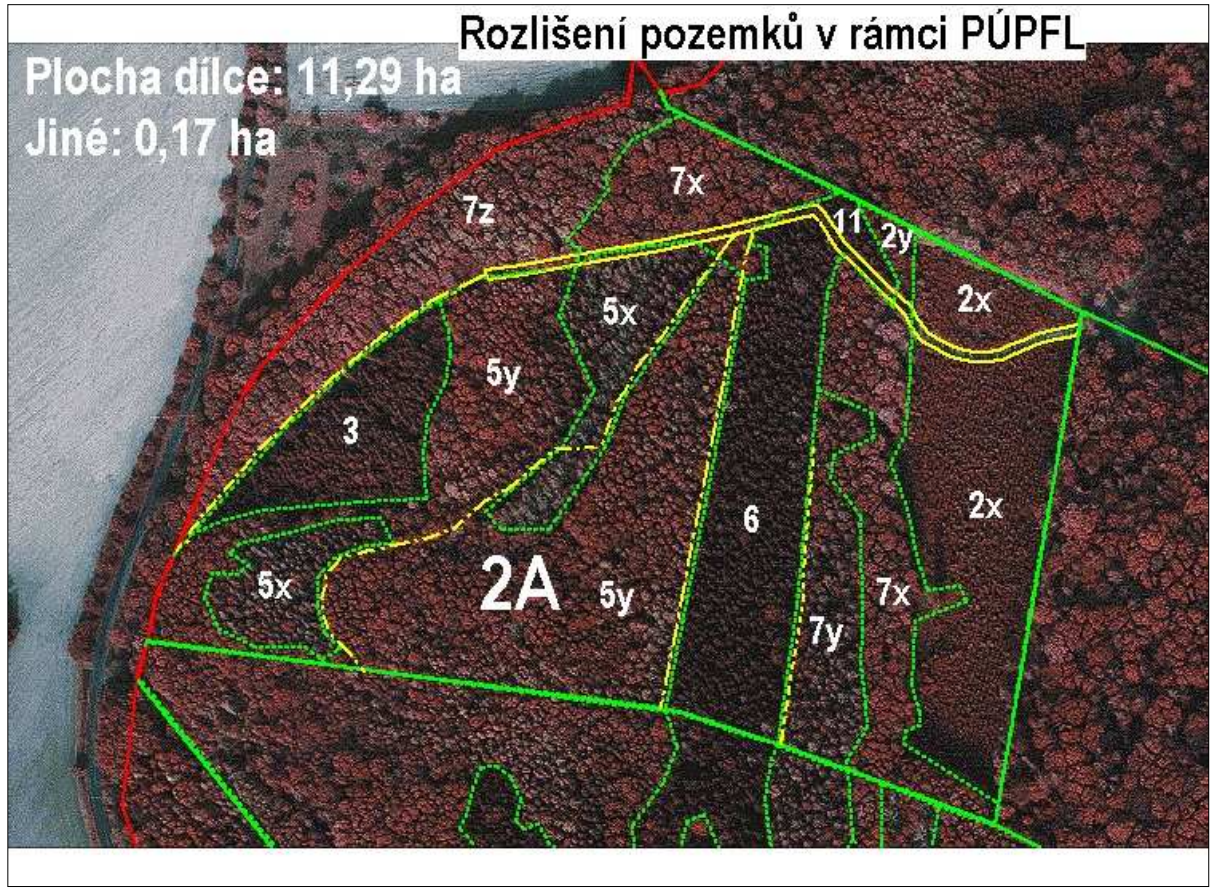


Obr. č. VII: Vylišení hranic majetku a základní rozdělovací síť

**Ortofotomapa na bázi spektrozónálního materiálu
s vylíčením hranic majetku a základní rozdělovací sítě**

Ortofotomapa zobrazená na sítích, která ukazuje pozemkové parcely a jejich hranice. Hranice jsou vyznačeny červenými a zelenými čarami. Mapa je založena na spektrozónálním materiálu, což umožňuje rozlišení různých typů půdy a vegetace. Vlevo dole je vidět vodní nádrž a vpravo dole je zobrazena silnice.

Obr. č. VIII: Vylišení pozemků v rámci PUPFL



Obr. č. IX: Vylišení porostů a porostních skupin

