Lesnícky časopis - Forestry Journal

VERSITA

volume 59, number 1, 2013, p. 1–18
Section: Forestry
DOI: 10.2478/v10114-011-0018-7

Pôvodné práce – *Original papers*

NOVÝ POHĽAD NA VLASTNOSTI A POUŽITEĽNOSŤ KRUHOVÝCH A RELASKOPICKÝCH SKUSNÝCH PLÔCH PRI INVENTARIZÁCII A MONITOROVANÍ LESNÝCH EKOSYSTÉMOV

Štefan Šmelko
Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav Zvolen, T. G. Masaryka 22, SK – 960 92 Zvolen, e-mail: smelko@nlcsk.org

Šmelko, Š., 2013: New view of properties and applicability of the circular and relascopic sample plots for the inventory and monitoring of the forest ecosystems. Lesnícky časopis - Forestry Journal, **59**(1): 1–19, 2013, 5 fig., tab. 6, ref. 16, ISSN 0323 – 1046. Original paper.

In the paper, dendrometric and biometric properties of four types of sample plots (size-constant, size-variable, concentric circles, and relascope method) are comprehensively analyzed. Their possibilities to fulfil new demands for inventories, especially with respect to aims, information spectrum, the precision of results, economic efficiency and time-based comparability of results, which have being imposed during the last years, are reviewed as well. Experimental data obtained from up-to-now research of the author as well as from the computer simulations of model forest stands and direct field measurements in forest stands having diverse structure served as the base for this study. All types of sample plots were established in the same number and in the same location of the same forest stands, which ensures its maximum comparability. The data are processed, generalized and tested by using the adequate mathematical-statistical methods. The results provide proposals for optimal application of the studied types of sample plots in the planning and performance of sample-based forest inventories at the stand, regional as well as the national level. The above-mentioned procedures are an important part of the methodology and decision making and it cannot be performed in the same way for different level or region (locality). They are to be performed with regard to the forest structure, demands for information spectrum as well as to available financial resources.

Key words: *circle sample plots size-constant, size-variable and concentric, relascope sampling, comparison of their properties, practical applicability, algorithms for data processing and result generalization*

V príspevku sa komplexne analyzujú dendrometrické a biometrické vlastnosti štyroch druhov skusných plôch (konštantných, variabilných, koncentrických kruhov a relaskopickej metódy). Súčasne sa posudzuje, aké sú ich reálne možnosti plniť nové požiadavky v inventarizácii a monitorovaní lesa, predovšetkým s ohľadom na účel a informačné spektrum zisťovania, presnosť výsledkov, hospodárnosť, jednoduchosť realizácie a porovnateľnosť údajov pri opakovaných inventarizáciách. Podkladom sú experimentálne údaje z doterajšieho rozsiahleho výskumu autora i z nových počítačových simulácií v modelových porastoch digitálneho lesa a z priamych meraní v konkrétnych porastoch s rozmanitou vnútornou štruktúrou. Pri pokusoch je dodržaná maximálna porovnateľnosť tým, že všetky druhy skusných plôch sú založené v rovnakom počte a na tých istých miestach v tých istých porastoch. Získané údaje sú spracované, zovšeobecnené a otestované adekvátnymi matematicko-štatistickými procedúrami. Výsledkom sú návrhy

na optimálne uplatnenie skúmaných skusných plôch pri plánovaní a realizácii výberovej inventarizácie lesa na úrovni lesného porastu, podniku, regiónu i celého štátu. Tieto činnosti sú dôležitou súčasťou metodológie a rozhodovacieho procesu a dnes sa už nemôžu robiť paušálne, ale musia sa riešiť individuálne pre každé inventarizované územie s ohľadom na štruktúru lesa, požiadavky na informácie a disponibilné finančné zdroje.

Kľúčové slová: *kruhové skusné plochy konštantné, variabilné a koncentrické, relaskopická metóda, porovnanie ich vlastností, praktická použiteľnosť, algoritmy na spracovanie a zovšeobecňovanie výberových údajov*

1. Problematika

Kruhové a relaskopické skusné plochy sú najčastejšie používanými výberovými jednotkami pri reprezentatívnom zisťovaní a monitorovaní stavu lesa v celosvetovom meradle. Prešli zaujímavým historickým vývojom, priebežným zdokonaľovaním a rozvojom. Z jednoduchých kruhov s jednou konštantnou výmerou, ktoré sa po prvýkrát uplatnili v Nemecku pri porastových inventarizáciách na začiatku minulého storočia sa vytvorili nové varianty – variabilné a koncentrické kruhové skusné plochy, aby sa lepšie mohli prispôsobiť konkrétnej vnútornej štruktúre inventarizovaného lesa. Revolučným medzníkom bol rok 1947, kedy Rakušan Walter Bitterlich uverejnil úplne novú koncepciu tzv. „Winkelzähprobe“, čiže metódu založenú na uhlovom spočítavaní stromov na meračskom stanovisku a neskôr vyvinul aj špeciálny prístroj pre tento účel známy ako „Spiegelrelaskop“ (zrkadlový relaskop). V krátkom čase sa metóda stala stredobodom pozornosti vedeckého výskumu i bežnej praktickej činnosti a sám Bitterlich dostal možnosť ju predstaviť a propagovať na okružnej ceste „okolo sveta“ a komplexne ju spracoval v knižnej publikácii (Bitterlich, 1984) s výstižným názvom „Relaskopická idea – relatívne meranie v lesníctve“.

Všetky uvedené varianty skusných plôch sú pomerne dobre známe z odbornej literatúry (u nás najmä z prác Halaja, 1960 a Šmelka 1968, 1991, 2000, 2007) i z výskumnej a hospodársko-úpravníckej praxe. Doterajšie poznatky nie sú však postačujúce na riešenie niektorých problémov, ktoré vznikajú v ostatnom čase pri koncipovaní nových variantov výberového zisťovania stavu lesa a monitorovania jeho zmien na úrovni jednotlivých porastov, lesných celkov, regiónov i celého štátu. V súvislosti s rastúcim významom produkčných i mimoprodukčných funkcií lesa pre život spoločnosti a so zhoršujúcimi sa ekologickými podmienkami sa podstatne rozširujú požiadavky na spektrum zisťovaných informácií. Okrem tradičných veličín charakterizujúcich výmeru, drevinovú, hrúbkovú a vekovú štruktúru, zásobu dreva a ťažbový etát sa pozornosť čoraz viac sústreďuje aj na kvalitatívne vlastnosti, zdravotný stav a ekologické charakteristiky lesných porastov, na biodiverzitu i množstvo odumretého dreva a obsah uhlíka v lesnom ekosystéme. Súčasne sa zvýrazňuje potreba permanentného porovnávania stavov lesa v dlhšom časovom rade a odvodzovanie a hodnotenia vývojových trendov v porovnaní s očakávaným modelom a záujmami spoločnosti.

V nadväznosti na tieto skutočnosti v predloženom príspevku podáme komplexnejší pohľad na dendrometrické i biometrické vlastnosti kruhových a relaskopických skusných plôch a súčasne zhodnotíme aké sú ich reálne možnosti plniť nové požiadavky v inventarizácii a monitorovaní lesa, predovšetkým s ohľadom na účel a informačné spektrum zisťovania, presnosť výsledkov, hospodárnosť, jednoduchosť realizácie a porovnateľnosť údajov pri opakovaných inventarizáciách.

Všetky tieto atribúty sú nevyhnutným predpokladom pre správne rozhodnutie o druhu a veľkosti skusných plôch pri tvorbe optimálneho dizajnu pre výberové zisťovanie a porovnávanie stavu lesa, ktoré sa už dnes nekoncipuje všeobecne, ale individuálne pre konkrétne podmienky (lesný porast, lesný majetok, región, štát) a podľa požiadaviek a disponibilných finančných zdrojov objednávateľa a užívateľa zisťovaných informácií.

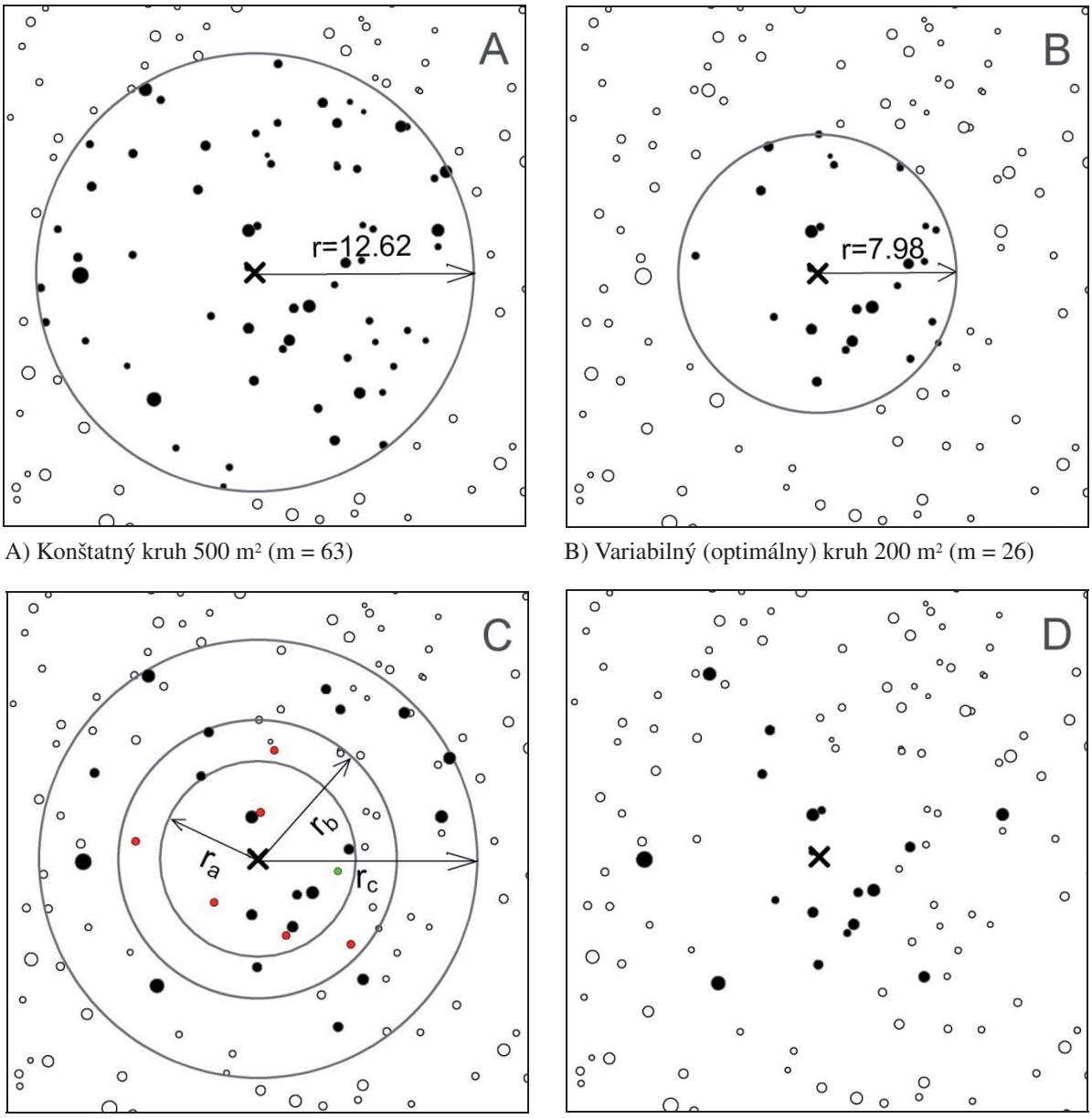
Podkladom pre zodpovedanie nastolených otázok v predloženej štúdii budú údaje a poznatky z predchádzajúceho výskumu autora i nové výsledky získané počítačovými simuláciami v modelových porastoch digitálneho lesa a meraniami v reálnych porastoch s rôznou vnútornou štruktúrou. Pozornosť sa sústredí iba na inventarizáciu stromovej zložky lesných porastov od určitej registračnej hrúbky $d_{1,3}$ (u nás 7, resp. 8 cm), kedy sa kruhové a relaskopické skusné plochy môžu považovať za potenciálne rovnocenné. Pre tenšie jedince a juvenilné štádiá lesa (obnovu, nárasty a kultúry) je relaskopická metóda nevhodná. Bližšie informácie o experimentálnom materiáli budú uvedené v príslušných statiach príspevku.

2. Dendrometrické vlastnosti kruhových a relaskopických skusných plôch

Dendrometrické vlastnosti všetkých druhov skusných plôch charakterizuje predovšetkým to, akým spôsobom sa vyberajú a zaraďujú stromy do skusnej plochy a ako vybraté stromy reprezentujú príslušný stav lesa na danom meračskom stanovisku. Pri kruhových a relaskopických skusných plochách do úvahy prichádza v podstate päť rôznych variantov.

2.1. Konštantné kruhy

Sú to kruhové skusné plochy s jediným pevne zvoleným polomerom platným pre celé inventarizované územie, bez ohľadu na konkrétny stav lesa. Stromy sa do nich zaraďujú iba podľa vzdialenosti ich vegetačnej osi



A) Konštatný kruh 500 m² (m = 63)

B) Variabilný (optimálny) kruh 200 m² (m = 26)

C) Tri koncentrické kruhy 100, 200 a 500 m² (m = 28)

D) Relaskopovanie so ZU = 4 (m = 18)

Obr. 1 (a – d). Výber stromov do štyroch druhov skusných plôch na tom istom mieste v poraste s hustotou N.ha^{-1} = 1 100 ks, m – počet vybratých stromov

Fig. 1 (a–d). *Selection of trees into four sample plots on the same place in a forest stand with N.ha^{-1} = 1100 trees.*
A – constant circle, B – variable (optimal) circle, C – 3 concentric circles, D – relascoping with BAF = 4, m – number of the selected trees

od stredu kruhu, ktorá musí byť menšia ako zvolený polomer. Stromy ležiace presne na obvode kruhu sú tzv. hraničné a do výberu sa zaraďujú 1/2 ich počtu, kruhovej základne a zásoby (pozri obr. 1a). Majú teda konštantnú výmeru, najčastejšie 300 alebo 500 m². Dobre reprezentujú celé vyskytujúce sa hrúbkové rozpätie stromov, od spodnej registračnej hranice až po najhrubšie stromy. Avšak na jednotlivých stanoviskách zachytia veľmi rozdielny počet stromov – v mladších a hustejších porastoch zbytočne veľký, v starších a redších porastoch naopak príliš malý. Rozdiely môžu byť až niekoľkonásobné, napr. v porastoch s hektárovým počtom stromov 2 000 – 1 000 – 200 – 100 sa na 500 m² kruhu vyskytne v priemere 100 – 50 – 10 – 5 stromov.

2.2. Variabilné (optimálne) kruhy

Sú to kruhové skusné plochy, ktorých polomer a výmera sa mení v závislosti od konkrétnej štruktúry lesa. Pri porastovej inventarizácii sa môže zvoliť optimálne veľký kruh pre celý porast, pri veľkoplošnej inventarizácii je ho výhodnejšie voliť osobitne pre každé konkrétne meračské stanovisko. V zahraničí sú tieto kruhy zvyčaj-

ne odstupňované podľa veku porastu v intervale od 50 m² do 500 m², výnimočne do 1 000 m². Na Slovensku sme už pred viac ako 40 rokmi pri koncipovaní nového systému matematicko-štatistickej porastovej inventarizácie (Šmelko, 1968) zistili, že zvolený variabilný kruh je lepšie ako výmerou definovať počtom stromov na kruhu a že optimálny je taký kruh, na ktorom sa zachytí 15 až 25, priemerne 20 stromov. Takýto kruh sa dá veľmi jednoducho prispôsobiť konkrétnemu veku i hustote porastu, veľmi dobre reprezentuje súbor všetkých stromov na meračskom stanovisku a poskytuje optimálny súlad medzi presnosťou výsledku a nákladmi na meranie (obr. 1b). Menšie kruhy sú menej presné a väčšie zase menej hospodárne. Pre bežné praktické potreby sa odporučilo päť štandardných veľkostí kruhov odstupňovaných podľa hustoty (počtu stromov $N.ha^{-1}$) porastu takto: kruh o výmere 100 – 200 – 300 – 500 – 1 000 m² pre $N.ha^{-1}$ väčší ako 1 500 – 800 – 500 – 300 a menší ako 300 stromov. Pre tieto pozitívne vlastnosti bol návrh variabilných kruhov zavedený oficiálne do praxe našej HÚL, kde sa používa dodnes a ich princíp sa neskôr uplatnil aj v niektorých štátoch v zahraničí (pozri Kramer – Akca, 1995).

2.3. Koncentrické kruhy

Sú novým typom kruhových skusných plôch, ktoré sa automaticky prispôsobujú štruktúre inventarizovaného lesa a znižujú rozsah merania. Okolo spoločného stredu sa vytyčuje viac kruhov so zvolenými polomermi a v každom z nich sa meria iný súbor stromov, odstupňovaný podľa hrúbky $d_{1,3}$. Uplatňujú sa väčšinou pri veľkoplošných inventarizáciách a v jednotlivých štátoch Európy dosť rozdielne. Líšia sa jednak v počte koncentrických kruhov, jednak v rozpätí hrúbok stromov, na ktoré sa vzťahujú. Napr. vo Švajčiarsku používajú dva kruhy – malý 200 m² pre hrúbky 12 – 35 cm a veľký 500 m² pre hrúbky nad 35 cm a taktiež v Rumunsku – menší 100 m² kruh pre hrúbky do 24 cm a väčší 300 m² kruh pre hrúbky nad 24 cm. Oveľa častejšie sú tri koncentrické kruhy, ale definované sú tiež veľmi rozmanito. V Nemecku má dokonca takmer každá spolková krajina iné riešenie – v Dolnom Sasku tri kruhy 100 – 200 – 500 m² pre hrúbky nad 7 – 20 – 30 cm, ale v Nodheim-Westfalsku až 5 kruhov definovaných polomermi r = 2,5 – 5 – 10 – 15 – 25 m, s výmerou p = 19,6 – 78,5 – 314 – 706 – 1 962 m² pre hrúbky $d_{1,3}$ nad 7 – 10 – 20 – 30 – 50 cm. Na Slovensku sme pri optimalizácii výberových jednotiek pre veľkoplošné inventarizácie vo viacerých experimentoch porovnali 1 000 klasických a koncentrických kruhov a navrhli sme ako najvhodnejší variant tri koncentrické kruhy – 100 – 200 – 500 m² pre hrúbky $d_{1,3}$ vo dvoch variantoch: nad 8 – 16 – 28 cm a nad 8 – 20 – 32 cm (Šmelko, 2000). V obrázku 1c uvádzame príklad troch koncentrických 100 – 200 – 500 m² kruhov v porovnaní s konštantným 500 m² kruhom. Naše výskumy ukázali, že na takýchto koncentrických kruhoch sa zachytí v širokom priemere až o polovicu menší počet stromov, pričom väčší rozdiel oproti konštantnému kruhu je v hustejších porastoch (merané stromy sa sústreďujú do menších kruhov a, b), menší rozdiel je v redších porastoch (merané stromy sú skoncentrované vo väčších kruhoch b, c). Tým sa samozrejme mení aj reprezentatívnosť jednotlivých koncentrických kruhov v tom zmysle, že tenkým stromom sa venuje 5-krát a stredne hrubým stromom 2,5-krát menšia pozornosť (váha – výmera lesa) ako hrubým stromom.

2.4. Ralaskopovanie bez merania hrúbok vybratých stromov

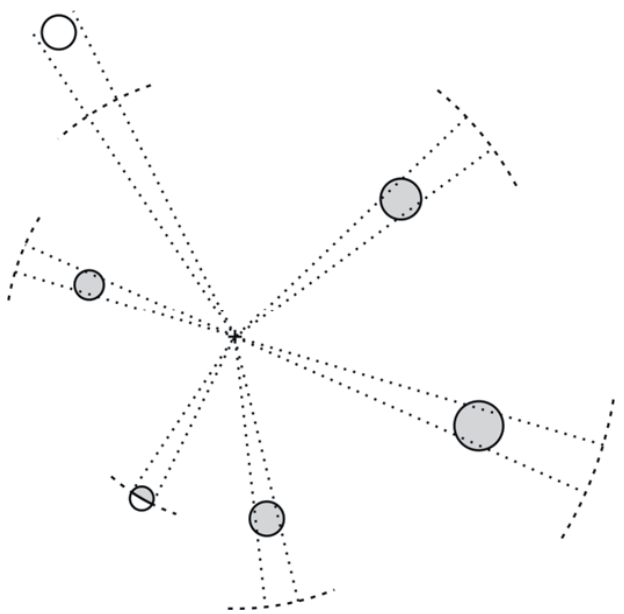
Relaskopovanie je špeciálne optické meranie pomocou zrkadlového relaskopu, alebo inej pomôcky (relaskopického klina alebo platničky), pri ktorom sa v teréne nevytyčujú žiadne skusné plochy, ale sa vyberajú jednotlivé stromy, preto dostalo priliehavý názor „bodový výber“ („Point Sampling“, „Punktstichprobe“). Zo stredu meračského stanoviska sa zvolenou zámernou úsečkou (ZU = 1/4, 1/2, 1, 2 alebo 4) zacieli na všetky okolité stromy, pre každý z nich sa vytvorí virtuálny (myslený) relaskopický kruh s polomerom, ktorý je C-násobkom ich hrúbky $d_{1,3}$ ($C = 50/\sqrt{ZU}$) a posúdia sa nasledovne:

- ak je $d_{1,3} > ZU$ – strom leží v relaskopickom kruhu, počíta sa celý,
- ak je $d_{1,3} = ZU$ – strom je hraničný, počíta sa 1/2,
- ak je $d_{1,3} < ZU$ – strom leží za hranicou relaskopického kruhu, nepočíta sa.

Každý takto spočítaný tzv. relaskopicky zaujatý strom predstavuje ZU-násobok kruhovej základne porastu na 1 ha (teda 1/4 – 1/2 – 1 – 2 alebo 4 m², pri hraničných stromoch polovicu z uvedených hodnôt) a celková kruhová základňa porastu je potom daná jednoduchým vzťahom:

$$G.ha^{-1} = ZU \,.\, m \qquad [1]$$

pričom m je počet všetkých spočítaných stromov na stanovisku. Zámerná úsečka sa v zahraničí volí zväčša podľa veku a hustoty porastu (všeobecne sa uprednostňuje väčšia ZU, aby čítaných stromov bolo menej a vzájomne sa neprekrývali). U nás sa používa postup kompatibilný s voľbou optimálnych 15 – 25 stromových kruhových skusných plôch (podľa návrhu Šmelka 1968) a ZU je funkciou počtu stromov $N.ha^{-1}$ a strednej hrúbky d_s porastu, na čo slúži špeciálny nomogram. Takáto relaskopická skusná plocha je pre každý strom a na každom stanovisku iná, jej priemerný polomer zodpovedá C-násobku strednej hrúbky čítaných stromov a veľmi dobre – ešte lepšie ako koncentrické kruhy – automaticky zohľadňuje hustotu porastu i hrúbku a kruhovú základňu stromov. Výsledkom relaskopovania sú však iba údaje o celkovej kruhovej základni $G.ha^{-1}$ porastu a drevín. Údaje pre jednotlivé stromy nie sú známe. Spôsob relaskopovania a jeho porovnanie s kruhovými skusnými plochami znázorňuje obrázok 1d a 2.



Obr. 2. Schéma relaskopovania – výber stromov do relaskopického kruhu (RK) na meračskom stanovisku v lesnom poraste
Fig. 2. *Scheme of relascoping – selection of trees into the relacopic cirles (RC) on a place of measurement in a forest stand*
hraničný relaskopický kruh (RK) zodpovedajúci zvolenej zámernej úsečke (ZU) a hrúbke $d_{1,3}$ dotyčného stromu – *borderline relaskopic circle (RC) corresponding to the used BAF and the DBH of the tree,* strom v RK – *tree inside RC,* hraničný strom – *borderline tree,* strom mimo RK – *tree outside RC*

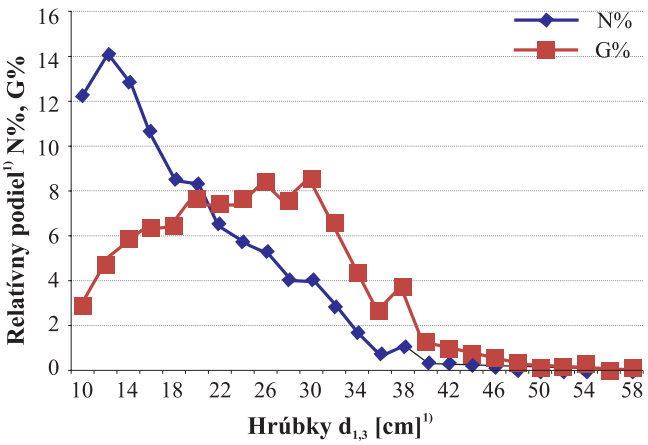
2.5. Relaskopovanie spojené s meraním hrúbok vybratých stromov

Ak sa relaskopovanie spojí s meraním hrúbok $d_{1,3}$ zaujatých stromov, získajú sa všetky taxačné údaje aj pre jednotlivé stromy a celý porast po hrúbkových stupňoch. Umožňuje to skutočnosť, že každý takýto strom reprezentuje nielen určitú kruhovú základňu (G), ale aj počet stromov (*N*), zásobu (*V*), prírastok (*I*) – všeobecne *Y* – priamo na 1 ha podľa nasledovného vzťahu,

$$Y_i = ZU.\frac{y_i}{g_i} \qquad [2]$$

v ktorom y_i je daný taxačný znak (počet stromov = 1, kruhová základňa g_i, objem v_i, prírastok i_i daného i-teho stromu (Bitterlich, 1984). Napr. strom vybratý relaskopom pomocou ZU = 2, ktorý má hrúbku $d_{1,3} = 30\ cm$, kruhovú základňu $g_{1,3} = 0{,}07065\ m^2$ a objem $v = 0{,}845\ m^3$ bude v zmysle vzťahu [2] reprezentovať počet stromov $N.ha^{-1} = 28{,}2$, kruhovú základňu $G.ha^{-1} = 2\ m^2$ a zásobu $V.ha^{-1} = 23{,}9\ m^3$. Samozrejme, že meranie hrúbok zvýši prácnosť a náklady zisťovania, ale výhody v rozšírení informačného spektra to vyváži. Takýto postup v súčasnosti používajú viaceré krajiny Európy, napr. Rakúsko, Nemecko a Fínsko, najmä pri národných inventarizáciách lesa.

Pre lepšie pochopenie princípu relaskopovania a porovnanie jeho výsledkov s klasickými skusnými plochami slúži tabuľka 1. Ukazuje, že na konkrétnom meračskom stanovisku sa na relaskopickom kruhu vyberie celkom iný súbor stromov ako na konštantnom kruhu. Sú v nej údaje z jedného modelového porastu (č. 6/77B) na VšLP TU Zvolen, v ktorom bol na štyroch rôznych miestach (v odstupe 98 × 98 m) počítačovou simuláciou okolo spoločného stredu založený konštantný kruh s výmerou 500 m² a tiež relaskopovanie so zámernou úsečkou ZU = 1. Porast mal výmeru 6,51 ha, drevinové zloženie DB, HB, BK, vek 70 rokov, zakmenenie 082, počet stromov $N.ha^{-1}$ = 696 a kruhovú základňu $G.ha^{-1}$ = 31,3 m². V tabuľke možno sledovať aký počet stromov sa vyskytoval na jednotlivých medzikružiach do vzdialenosti r_i zodpovedajúcej polomeru 1, 2, 3 .... až 35 árových kruhov a vcelku. Na obidvoch skusných plochách sa zachytil zhruba rovnaký celkový počet stromov, ale ich rozmiestnenie okolo stredu bolo diametrálne odlišné – na konštantnom 5-árovom kruhu boli stromy sústredené na súvislej ploche do vzdialenosti $r_i \leq 12{,}62$ m, ale na relaskopickom kruhu boli rozptýlené až do vzdialenosti $r_i \leq 31{,}7$m. To súvisí s tým, že relaskopická metóda vyberá stromy nielen podľa ich vzdialenosti ale aj podľa hrúbky, pričom vybratý strom nereprezentuje danú hrúbku, ale ZU-násobok kruhovej základne prepočítanej na 1 ha. Preto, ak by sme vybraté stromy roztriedili do hrúbkových stupňov, získali by sme dve rozdielne rozdelenia: na konštantnom kruhu tzv. A – normálnu populáciu (rozdelenie početností hrúbok $d_{1,3}$) a na relaskopickom kruhu tzv. B – Bitterlichovu populáciu (rozdelenie hodnôt kruhovej základne $g_{1,3}$), pričom rozdelenie B by bolo zákonite posunuté oproti rozdeleniu A doprava, tak ako to ukazuje obrázok 3. Táto zákonitosť, i keď



Obr. 3. Relatívne zastúpenie počtu stromov (N%) a ich kruhovej základne (G%) v 4 cm hrúbkových stupňoch (modelový porast 6/77B). Porovnanie tzv. „normálnej“ a „Bitterlichovej“ populácie, ktorá je zákonite posunutá doprava
Fig. 3. *Relative frequency of the number of trees (N%) and their basal area (G%) in the 4 cm DBH classes (model forest stand 6/77B). Comparison of the "normal" and "Bitterlich" population*

Tabuľka 1. Porovnanie počtu stromov (m) zaradených do konštantného 500 m² kruhu a relaskopického kruhu so zámernou úsečkou ZU = 1 na tých istých štyroch stanoviskách (ST) v modelovom poraste (č. 6/77B, Stráže VšLP TU Zvolen)
Table 1. *Comparison of the number of trees (m) in the constant 500 m² circular sample plots and relascopic circles with BAF=1 on the same four places (ST) in the model forest stand (No 6/77B, Stráže, VšLP TU Zvolen)*

a) Konštatné 5 árové kruhy – *Constant 500 m² circle plots*

Áre (100 m²)[1)]	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Spolu[3)]**
Polomer r [m][2)]	**5,64**	**7,98**	**9,77**	**11,29**	**12,62**	
ST 1	6	9	9	6	6	36
ST 2	7	4	9	11	6	37
ST 3	2	8	8	3	6	27
ST 4	4	11	13	5	8	41
Priemer[4)]	4,7	8	9,8	6,2	6,5	35,2

b) Relaskopické kruhy – *Relascopic circles*

Áre (100 m²)[1)]	**1 – 5**	**6 – 10**	**11 – 15**	**16 – 20**	**> 20**	**Spolu[3)]**	**Max. kruh / polomer[5)]**
Polomer r [m][2)]	**5,64 – 12,62**	**13,82 – 17,84**	**18,72 –21,86**	**22,57 – 25,24**	**> 25,24**		
ST 1	28	7	0	0	2	37	32 / 31,7
ST 2	24	9	3	0	0	36	14 / 20,5
ST 3	19	11	2	0	0	32	15 / 21,3
ST 4	16	7	3	0	0	26	13 / 19,9
Priemer[4)]	21,7	8,5	2	0	0,5	32,7	

c) Výsledky – *Results (G.ha⁻¹*, jej variabilita s_G% a stredná chyba S_G%)

Metóda[6)]	$\bar{G}.ha^{-1}$	**Index**	s_G%	**Index**	$S_{\bar{G}}$%	**Index**
Celý porast[7)]	31,3	1,000				
KK 500 m²	33,7	1,077	21,3	1,000	±10,6	1,000
REL ZU = 1	37,0	1,182	21,2	0,995	±10,2	0,962
KK 300 m²	29,5	0,942	28,4	1,333	±14,2	1,339
REL ZU = 2	33,0	1,054	31,9	1,498	±15,7	1,481

m – počet stromov vo vzdialenosti menšej ako je polomer r dotyčného 1, 2, ... 32 árového kruhu – *number of trees in a distance less the radius r of the mentioned 1, 2, ...32 ar circle).*
[1)]Area 1 ar = 100 m, [2)]Radius, [3)]Together (sume), [4)]Average, [5)]Maximal circle / radius, [6)]Methode, [7)]Entire stand
G.ha⁻¹ – basal area, their variability s_G% and standard error $S_{\bar{G}}$%

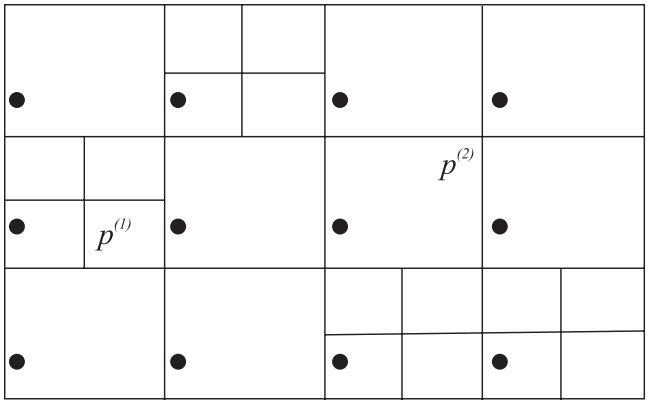
je relatívne menej známa, je veľmi dôležitá pre správne uplatnenie relaskopickej metódy i pre správnu interpretáciu získaných výsledkov. Napriek uvedeným rozdielnostiam bolo určenie kruhovej základne *G.ha⁻¹* v celom pokusnom modelovom poraste obidvomi druhmi skusných plôch (hoci boli iba štyri) veľmi dobré, diferencie Δ*G.ha⁻¹*% kvantifikované v poslednom riadku tabuľky boli rovnocenné, neprekročili hranicu štatistickej významnosti. Pre zaujímavosť sú v nej doplnené aj ďalšie údaje odvodené pre iný variant – konštantné kruhy 300 m² a relaskopovanie so ZU 2 – ktorý je pre daný porast optimálnejší.

3. Biometrické vlastnosti kruhových a relaskopických skusných plôch

Biometrické vlastnosti skusných plôch ovplyvňujú viaceré faktory, ktoré navzájom spolu veľmi úzko súvisia, ale dajú sa zlúčiť do dvoch rozhodujúcich skupín – prvá sa týka výberového dizajnu, druhá algoritmov vhodných na spracovanie a zovšeobecnenie získaných výberových údajov.

3.1. Výberový dizajn

Je základom každého výberového zisťovania a obsahuje niekoľko prvkov. Kým rozsah výberu (počet skusných plôch) *n* sa odvodzuje viac-menej objektívnym spôsobom z variability zisťovaného znaku a z požadovanej presnosti výsledku, ďalšie rozhodnutia o druhu, veľkosti, spôsobe výberu a rozmiestnení skusných plôch po inventarizovanom území sú výsledkom subjektívnej úvahy a voľby z viacerých možností. Z biometrického hľadiska je rozhodujúce, či sú skusné plochy rovnako alebo nerovnako veľké, či sa vyberajú náhodne alebo systematicky, či majú rovnakú alebo nerovnakú pravdepo-



Obr. 4. Inventarizované územie rozdelené na malé $p^{(1)}$ a veľké $p^{(2)}$ skusné plochy a ich systematický výber podľa pravidelnej siete znázornenej bodmi

Fig. 4. *Forest area divided on the small $p^{(1)}$ and large $p^{(2)}$ sample plots and their systematic selection by a regular net of points*

dobnosť dostať sa do výberu a aká je ich reprezentatívnosť vzhľadom k celému inventarizovanému územiu (základnému súboru).

Uvedené vlastnosti a ich vzájomné súvislosti vysvetlíme na jednoduchom príklade v obrázku 4, na ktorom je celé inventarizované územie o výmere P rozdelené na plôšky o dvoch rôznych veľkostiach $p^{(1)}$ a $p^{(2)}$, pričom počet malých je $N^{(1)} = 16$ a veľkých $N^{(2)} = 8$, spolu $N = N^{(1)} + N^{(2)} = 24$.

Uvažujme s náhodným a systematickým spôsobom výberu. Pri úplne náhodnom výbere (*NV*) bude pravdepodobnosť $P_{r(NV)}$, že skusná plocha sa dostane do výberu daná vzťahom

$$P_{r(NV)} = \frac{1}{N} \qquad [3]$$

čiže bude závisieť iba od celkového počtu skusných plôch N (pretože takýto výber sa zvyčajne robí z ich poradia $i = 1, 2, 3...N$, alebo celkom subjektívne), bez ohľadu na ich veľkosť. Pre malé $p^{(1)}$ i veľké plôšky $p^{(2)}$ bude $P_{r(NV)}$ rovnaká (= 1/24). Iná situácia bude pri systematickom výbere (*SV*) a pravidelnom rozmiestnení skusných plôch po celom území podľa štvorcovej alebo obdĺžnikovej siete, čo je v praxi najbežnejšie (v obrázku je sieť znázornená bodmi). Tu pravdepodobnosť $P_{r(SV)}$ je definovaná vzťahom

$$P_{r(SV)} = \frac{p}{P} \qquad [4]$$

a veľmi závisí od veľkosti skusných plôch. V našom príklade je pre malé $p^{(1)}$ štyrikrát menšia (= 1/48) ako pre veľké $p^{(2)}$ (= 4/48), čo sa prejavilo v tom, že pri celkovom rozsahu výberu $n = 12$ bodov boli vybraté len 4 malé a až 8 veľkých plôšok (v zmysle vzťahov: $n^{(1)} = 12.16.1/48 = 4$ a $n^{(2)} = 12.8.4/48 = 8$). Všeobecne platí, že pri systematickom rozmiestnení skusných plôch je pravdepodobnosť ich výberu rozdielna a je tým väčšia, čím sú skusné plochy väčšie a naopak. S veľkosťou skusných plôch súvisí aj tzv. expanzný (prepočítací) faktor *EF*

$$EF = \frac{P}{p} \rightarrow pre\ 1\ ha\ EF(ha) = \frac{10\ 000}{5} \qquad [5]$$

ktorým treba prenásobiť údaj o taxačnej veličine y pri jeho prepočte zo skusnej plochy $p(m^2)$ na výmeru celého inventarizovaného územia $P(m^2)$, resp. na 1 hektár (10 000 m²).

Keď tieto vlastnosti aplikujeme na preberané druhy skusných plôch, zistíme, že najjednoduchším prípadom sú konštantné kruhové skusné plochy. Keďže všetky majú rovnakú veľkosť (p), pravdepodobnosť P_r aj expanzný faktor *EF* sú pre každú z nich rovnaké (konštantné), bez ohľadu na to, či výber bol náhodný alebo systematický. Napr. v 10 ha poraste bude mať 500 m² kruh $P_r = 0{,}005$, čiže 0,5 % a expanzný faktor $EF = 200$ a $EF(ha) = 20$, čiže výsledky, napr. o zásobe na skusných plochách bude treba pre celý porast vynásobiť 200-krát a pre 1 hektár 20-krát.

Pri variabilných kruhoch existujú dve možnosti. Ak sa pri porastovej inventarizácii zvolí pre celý porast jedna optimálna veľkosť skusných plôch p zodpovedajúca jeho hustote, bude pravdepodobnosť ich výberu $P_{r(NV)}$ aj $P_{r(SV)}$ konštantná. Ak sa však na každom stanovisku použije iná veľkosť kruhov p a systematický spôsob výberu, ich pravdepodobnosť $P_{r(SV)}$ dostať sa do výberu nebude rovnaká, ale pre malé kruhy menšia a pre veľké kruhy väčšia. Podobne sa zmení aj ich expanzný faktor *EF*.

Pri koncentrických kruhoch bude situácia ešte komplikovanejšia. Tu každý z koncentrických kruhov má jednu veľkosť p, čiže pre stromy danej hrúbkovej kategórie rovnakú pravdepodobnosť dostať sa do výberu, ale spoločne pre všetky hrúbkové kategórie bude už rozdielna. Napr. v 10 ha poraste budú mať tri koncentrické kruhy s $p = 100 – 200 – 500$ m² pravdepodobnosti $P_{r(SV)} = 0{,}1 – 0{,}2 – 0{,}5$ % a expanzný faktor $EF(ha) = 100 – 50 – 20$.

Pri relaskopických skusných plochách sa jedná o typický výber s nerovnakými pravdepodobnosťami, a to úmerne k veľkosti kruhovej základne $g_{1,3}$ jednotlivých stromov (preto v biometrickej literatúre je označovaný ako *PPS výber*). Keďže medzi kruhovou základňou relaskopicky zaujatého stromu g_i a výmerou zodpovedajúcou hraničnému optickému relaskopickému kruhu p_i je podľa teórie WZP konštantný (g_i/p_i *po prepočte na 1 ha = ZU*), aj expanzný faktor *EF(ha)* pre každý strom i pre celú skusnú plochu je konštantný.

3.2. Algoritmy pre spracovanie a zovšeobecnenie výsledkov výberu

Najčastejšou úlohou pri zhodnocovaní výsledkov výberového zisťovania je zo získaných údajov na skusných plochách určiť výberový priemer $\bar{y}$ zisťovanej kvantitatívnej veličiny Y a jeho strednú výberovú chybu $S_{\bar{y}}$ a po-

mocou nich odhadnúť neznámy priemer μ_Y celého inventarizovaného územia (základného súboru) vo forme tzv. 95%-ného intervalu spoľahlivosti

$$95\% \text{ IS pre } \mu_y = \bar{y} \pm t_{0,05(n-1)} \,.\, S_{\bar{y}} \cong \bar{y} \pm 2 \,.\, S_{\bar{y}} \qquad [6]$$

v ktorom bude s 95 % pravdepodobnosťou ležať hľadaná hodnota μ_Y a skutočná chyba zisťovania (diferencia $\bar{y} - \mu_Y$) nebude väčšia $\pm 2.S_{\bar{y}}$. Veľkosť IS je mierou presnosti výberového zisťovania a závisí od variability zistených údajov y_i na skusných plochách a od počtu skusných plôch (rozsahu výberu) n. Určenie týchto vstupných charakteristík sa však nemôže robiť ľubovoľne, jednoduchým prevzatím bežných postupov známych zo štatistických metód (hoci sa to často stáva a výsledok je nesprávny), ale pri voľbe vhodného biometrického algoritmu sa musí dôsledne zohľadňovať použitý výberový dizajn, predovšetkým tie jeho vlastnosti, ktoré sme prebrali v predchádzajúcej stati 3.1. V nadväznosti na to uvádzame tri rôzne varianty zodpovedajúce jednotlivým druhom skusných plôch a spôsobom ich výberu, a to tak, aby vynikla ich podstata a súčasne sa zjednodušil a uľahčil celý výpočtový proces.

3.2.1 Obyčajný priemer (common mean)

Hodí sa vtedy, keď skusné plochy majú rovnakú veľkosť a ich výber sa uskutočnil náhodne alebo systematicky. Vstupné charakteristiky pre interval spoľahlivosti sa určia podľa vzorcov, ktoré sú všeobecne známe, nasledovne:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n} \qquad [7]$$

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (y_I - \bar{y})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} y_i^{\,2} - \bar{y}\sum_{i=1}^{n} y_i}{n(n-1)}} \qquad [8]$$

Pritom zistené hodnoty y_i sa môžu vzťahovať na príslušnú veľkosť skusnej plochy (p), alebo na 1 hektár.

3.2.2 Pomer priemerov (ratio of means)

Treba ho uplatniť vtedy, keď skusné plochy sú nerovnako veľké a výber sa uskutočnil náhodným spôsobom. Algoritmus je zložitejší:

$$R = \frac{\bar{y}}{\bar{p}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{\sum_{i=1}^{n} p_i} = \bar{y}.ha^{-1} \qquad [9]$$

$$S_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (y_i - Rp_i)^2}{n(n-1)\bar{p}^2}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} y_i^{\,2} + R^2 \sum_{i=1}^{n} p_i^{\,2} - 2R\sum_{i=1}^{n} y_i p_i}{n(n-1)\bar{p}^2}} \qquad [10]$$

Vychádza z toho, že výsledný priemer $\bar{y}.ha^{-1}$ je vlastne pomerom (Ratio R) zistených hodnôt y_i a veľkosti skusných plôch p_i a preto v jeho strednej chybe S_R sa musí zohľadniť jednak variabilita obidvoch hodnôt y_i a p_i, jednak závislosť (korelácia) medzi nimi. Podstata tohto princípu je dobre zdokumentovaná v špecializovanej literatúre, napr. SHIVER-BORDERS (1996).

3.2.3 Priemer podielov (mean of ratios)

Treba ho použiť v prípadoch, keď skusné plochy sú nerovnako veľké a ich výber sa uskutočnil systematicky s pravidelným rozmiestnením po inventarizovanom území v štvorcovej alebo obdĺžnikovej sieti. Algoritmus je taký, že zistené údaje y_i na skusných plochách o výmere p_i sa najprv prepočítajú na 1 hektár, čiže na hodnoty $y_{ha(i)}$

$$y_{ha(i)} = \frac{y_i}{p_i} \qquad [11]$$

a potom sa z nich vypočíta priemer $\bar{y}_{ha}$ a jeho stredná chyba $S_{\bar{y}_{ha}}$:

$$\bar{y}_{ha} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_{ha(i)}}{n} \qquad [12]$$

$$S_{\bar{y}ha} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (y_{ha(i)} - \bar{y}_{ha})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} y_{ha(i)}^{\;2} - \bar{y}_{ha}\sum_{i=1}^{n} y_{ha(i)}}{n(n-1)}} \qquad [13]$$

Algoritmus bol navrhnutý špeciálne pre dizajn systematického výberu s variabilnými (optimálnymi) kruhovými skusnými plochami (SABOROWSKI – ŠMELKO, 1998; ŠMELKO – SABOROWSKI, 1999) a bol overený pomocou 20-krát opakovaných počítačových simulácií na súbore modelových porastov zo slovenských podmienok (spolu 124 ha lesa so zmapovanou pozíciou všetkých stromov na ploche každého porastu). Experimenty jednoznačne potvrdili vhodnosť postupu a ukázali, že keby sa na zhodnocovanie použil algoritmus „Ratio of Means“ vzniklo by vo výsledkoch veľké systematické vychýlenie voči skutočnosti. Algoritmus je použiteľný aj pre relaskopické skusné plochy, čo teoreticky zdôvodnil MANDALLAZ (1991).

Spoločné poznámky k všetkým trom algoritmom:

- Vzorce pre strednú chybu platia pre prípad, keď intenzita výberu n/N, resp. $\Sigma p/P$ je menšia ako 0,1 a dá sa zanedbať. Ináč ju treba prenásobiť koeficientom = $\sqrt{1 - n/N}$, čím sa zmenší.
- Keď sa vo vzorcoch pre strednú chybu vynechá v menovateli n, získa sa s_y – smerodajná odchýlka jednotlivých hodnôt y_i okolo priemeru $\bar{y}$.
- Variačný koeficient s_y% a relatívna stredná chyba S_y% sa získa, keď sa s_y a $S_{\bar{y}}$ vyjadria v % z hodnoty aritmetického priemeru $\bar{y}$.

4. Porovnanie kruhových a relaskopických skusných plôch s ohľadom na požiadavky inventarizácie a monitorovania lesa

4.1. Účel a informačné spektrum inventarizácie

Účel inventarizácie a zisťované informačné spektrum spolu veľmi úzko súvisia. Kým porastová inventarizácia je zameraná na najmenšie jednotky rozdelenia lesa (dielce, čiastkové plochy, porastové skupiny a etáže) a vystačí pre potreby HÚL s pomerne malým spektrom zisťovaných údajov, pri inventarizáciách zameraných na väčšie územia – lesné celky, oblasti, regióny až po celoštátnu úroveň – sa postupne rozširujú nielen ich ciele, ale aj informačné spektrum. Môže ísť o inventarizácie jednoúčelové (napr. pre produkciu, kvalitu, zdravotný stav, stanovište a ekológiu lesa), kedy počet zisťovaných znakov a veličín dosahuje niekoľko desiatok, alebo o inventarizáciu viacúčelovú (polyfunkčnú), akou je, napr. celoštátna národná inventarizácia, kde sa zisťovanie sústreďuje minimálne na 100 rôznych znakov a veličín. Kruhové a relaskopické skusné plochy sú prakticky použiteľné vo všetkých uvedených typoch inventarizácie, ale nie sú rovnako vhodné pre celé informačné spektrum. Najuniverzálnejšie sú konštantné a variabilné kruhy, pretože umožňujú zisťovať stromové i porastové veličiny vo všetkých vývojových fázach – od obnovy až po najhrubšie kmeňoviny. Pri zisťovaní biodiverzity sú však oveľa vhodnejšie optimálne kruhy s približne rovnakým počtom (napr. 20) stromov, pretože lepšie podchytia relatívne podiely drevín potrebné pre kvantifikáciu biodiverzitných indexov (Šmelko, 2008). Relaskopické skusné plochy sú naopak obmedzené iba na vyspelejšie porastové štruktúry, s hrúbkami stromov nad registračnou hranicou 7, resp. 8 cm a bez hustého podrastu znemožňujúceho optické posudzovanie stromov vo výške 1,3 m nad zemou. Majú však navyše viaceré výhody v tom, že z počtu relaskopicky vybratých stromov – ak sa evidujú osobitne podľa druhu dreviny, kvality, poškodenia, príslušnosti k podružnému porastu a ďalších znakov – dajú sa veľmi jednoducho bez zložitejších výpočtov stanoviť relatívne podiely týchto stromových kategórií zodpovedajúcich ich kruhovej základni $G.ha^{-1}$. Najnovšie výskumy (Šmelko, 2011) potvrdili, že relaskopická metóda je dokonca dobre použiteľná aj pre inventarizovanie odumretej dendromasy (pňov po ťažbe a hrubej ležaniny) a pre kvantifikáciu obsahu uhlíka v lesných ekosystémoch.

4.2. Presnosť zisťovania

Presnosť výsledku zisťovaných veličín patrí medzi najdôležitejšie vlastnosti všetkých inventarizačných metód. Pre náš účel zhodnotíme dosiahnuteľnú presnosť porovnávaných skusných plôch tak, aby čo najlepšie vynikli ich dendrometrické a biometrické zvláštnosti a aby bolo možné posúdiť ako sa mení variabilita výsledkov s meniacim sa počtom stromov a spôsobom ich zaraďovania do skusných plôch.

4.2.1 Presnosť porovnávaných skusných plôch odvodená z počítačových simulácií v modelových porastoch digitálneho lesa

Jedná sa o čistú presnosť určenia hlavných porastových veličín – počtu stromov *N*, kruhovej základne $G(m^2)$ a strednej hrúbky $d_g(cm)$ pomocou všetkých štyroch druhov skusných plôch (konštantných, optimálnych, koncentrických a relaskopických), ktorú sme získali najobjektívnejším možným spôsobom bez akéhokoľvek subjektívneho ovplyvnenia. Podkladom je 10 modelových porastov z nášho predchádzajúceho výskumu (Šmelko, 1979) i z niektorých štátov strednej Európy o výmere 4 až 9 ha, s rozmanitou drevinovou skladbou, hustotou 2 025 až 171 stromov na hektár, vekom 30 až 115 rokov a so známou polohou a dendrometrickými veličinami všetkých stromov rozmiestnených po ploche. V každom poraste sa zvolil rozsah výberu (počet skusných plôch) $n = 15 – 38$ a vytvorila sa zodpovedajúca štvorcová sieť stredov skusných plôch. Pomocou simulačného programu STIPSI (2008) sa okolo každého z nich automatizovane „založili“ skúšané varianty – konštantný kruh o výmere 500 m², optimálny 20 stromový kruh o variabilnej výmere 100 – 1 000 m² v závislosti od hustoty $N.ha^{-1}$ porastu, tri koncentrické kruhy o výmere 100 – 200 – 500 m² pre hrúbky $d_{1,3}$ nad 7 – 20 – 30 cm a re-

Tabuľka 2. Charakteristiky modelových porastov digitálneho lesa, v ktorých sa uskutočňovali počítačové simulácie skusných plôch ($N.ha^{-1}$, $G.ha^{-1}$, d(g) – počet stromov, kruhová základňa a stredná hrúbka daného porastu)

Table 2. *Characteristics of digital model forest stands in which were realised computer simulations of sample plots*

Model porast, č.[1)]	Výmera[2)]	Základný súbor[3)]			Rozsah výberu n[4)]
	ha	$N.ha^{-1}$	$G.ha^{-1}$	d(g)	
1	8,98	2 025	18,7	10,8	36
2	8,69	1 992	24,9	12,3	36
3	8,38	1 364	16,9	12,6	36
4	7,76	838	19,6	17,2	32
5	4,17	724	23,1	20,2	18
6	6,00	568	37,3	28,9	24
7	4,12	484	33,7	29,8	15
8	6,42	370	16,4	23,7	24
9	5,08	297	28,8	35,2	20
10	5,00	171	26,1	44,1	20
Priemer[5)]		883,3	24,5	23,5	26,1
Smerodajná odchýlka[6)]		680,2	7,1	11,0	8,2
Variačný koeficient[7)]		77,0	28,9	46,6	31,3

[1)]Model stand No, [2)]Area (ha), [3)]Entire population, $N.ha^{-1}$ – number of trees, $G.ha^{-1}$ – basal area, d(g) – mean DBH, [4)]Sample siza (n), [5)]Average, [6)]Standard deviation, [7)]Variation koefficient

Tabuľka 3. Porovnanie výsledkov zo simulovaných skusných plôch voči údajom celého modelového porastu
Table 3. *Comparison of results obtaned by simultaion of sample plots against entitre model stand*

Model porast[1)]	Skusná plocha[2)]	Výberové výsledky[3)]									
		N/ha	Dif.N%	G/ha	Dif.G%	d(g)	Dif.d%	s(G)%	S(G)%	m	t-dif.G%
1	KK 500	2 004	-1,04	18,6	-0,53	10,9	0,93	6,6	0,9	91	-0,594
2	KK 500	2 016	1,20	25,0	0,40	12,6	0,02	5,8	0,8	101	0,502
3	KK 500	1 364	-2,15	17,0	0,59	12,6	0,00	8,3	1,1	68	0,538
4	KK 500	837	-0,12	19,5	-0,51	17,2	0,00	29,2	4,1	42	-0,124
5	KK 500	636	-12,15	20,2	-12,55	20,1	-0,50	35,8	6,8	32	-1,846
6	KK 500	535	-5,81	35,5	-4,83	29,1	0,69	22,2	3,7	27	-1,304
7	KK 500	510	5,37	34,5	2,37	29,3	-1,68	10,2	2,1	26	1,130
8	KK 500	367	-0,81	16,6	1,22	24,0	1,27	27,6	4,6	18	0,265
9	KK 500	320	7,74	30,0	4,17	34,6	-1,70	16,1	2,8	16	1,488
10	KK 500	169	-1,17	25,7	-1,53	44,0	-0,23	21,3	3,8	8	-0,403
Priemer[4)]		875,8	**-0,89**	24,26	**-1,12**	23,44	**-0,12**	18,3	3,07	**42,9**	-0,365
Smerodajná odchýlka[5)]		682,1	**5,49**	7,1	**4,67**	10,8	**0,99**	10,5	1,91	**32,5**	
Stredná kvadratická chyba[6)]			**5,56**		4,80		1,00				
t-test priem. diferenciácie[7)]			**-0,514**		-0,759		-0,390				
1	VK 100	1 904	-5,98	19,5	4,28	11,6	5,41	16,5	2,6	19	1,646
2	VK 100	2 018	1,31	24,4	-2,01	12,4	-1,59	12,4	2,0	20	-1,005
3	VK 100	1 337	-4,09	16,8	-0,59	12,6	0,00	17,0	2,7	13	-0,219
4	VK 200	889	6,09	20,6	5,11	17,2	0,00	52,0	8,4	18	0,608
5	VK 300	654	-9,67	21,4	-7,36	20,4	0,99	38,4	8,0	20	-0,920
6	VK 300	535	-5,81	34,9	-6,43	28,8	-0,35	27,7	5,0	16	-1,286
7	VK 400	529	9,30	33,7	0,00	28,8	-3,36	14,3	3,1	21	0,000
8	VK 550	374	1,08	16,7	1,83	23,9	0,84	28,4	4,6	21	0,398
9	VK 700	313	5,39	29,9	3,82	34,9	-0,85	12,0	1,9	22	2,011
10	VK 1000	164	-4,09	25,1	-3,83	44,2	0,23	17,9	2,5	16	-1,532
Priemer[4)]		871,7	**-0,65**	24,30	**-0,52**	23,48	**0,13**	23,7	4,08	**18,6**	-1,127
Smerodajná odchýlka[5)]			**6,21**	6,60	**4,40**	10,79	**2,25**	13,1	2,40	**2,7**	
Stredná kvadratická chyba[6)]			**6,25**		4,43		2,25				
t-test priem. diferenciácie[7)]			-0,330		-0,372		0,187				
1	3KK	1904	-5,98	19,5	4,28	10,7	-0,93	16,5	2,6	19	1,646
2	3KK	2028	1,81	24,7	-0,80	12,5	-0,79	12,3	2	20	-0,402
3	3KK	1337	-4,09	16,8	-0,59	12,6	0,00	16,4	2,6	13	-0,228
4	3KK	932	11,22	20,7	5,61	16,8	-2,33	40,6	6,8	11	0,825
5	3KK	676	-6,63	21,3	-7,79	20,0	-0,99	42,6	9,4	11	-0,829
6	3KK	577	1,58	37	-0,80	28,6	-1,04	25,1	4,5	17	-0,179
7	3KK	497	2,69	34,2	1,48	29,6	-0,67	16,6	3,8	15	0,390
8	3KK	378	2,16	16,5	0,61	23,6	-0,42	40,9	7,7	8	0,079
9	3KK	331	11,45	30,6	6,25	34,3	-2,56	19,0	3,5	13	1,786
10	3KK	169	-1,17	25,8	-1,15	44,1	0,00	22,0	4	8	-0,287
Priemer[4)]		882,9	**1,30**	24,71	**0,71**	23,28	**-0,97**	25,2	4,69	**13,7**	0,151
Smerodajná odchýlka[5)]		659,7	**6,28**	7,16	**4,08**	10,88	**0,86**	11,7	2,46	**4,2**	
Stredná kvadratická chyba[6)]			**6,42**		4,15		1,30				
t-test priem. diferenciácie[7)]			0,656		0,549		-3,573				

laskopická skusná plocha so zámernou úsečkou ZU = 1 alebo 2, zodpovedajúcou optimálnemu 20 stromovému kruhu. Pre každú skusnú plochu ($i = 1, 2 ...$ n) sa zo zahrnutých stromov do nej vypočítali zodpovedajúce hodnoty $Y_i = N.ha^{-1}(ks)$, $G.ha^{-1}(m^2)$, $d_g(cm)$ a podľa algoritmov uvedených v stati 3.2. sa odvodili výsledné charakteristiky celého výberu. Informácie o modelových porastoch, ktoré plnia úlohu základných súborov, sú uvedené v tabuľke 2. Výberové výsledky a ich porovnanie voči základnému súboru i voči konštantným kruhom obsahuje tabuľka 3 a 4.

Vyplývajú z nich tieto skutočnosti:

– V tabuľke 3 možno veľmi dobre sledovať ako sa chovajú jednotlivé druhy skusných plôch a ako reprezen-

Pokračovanie tabuľky 3 – *Continuation of the table 3*

Model porast[1)]	Skusná plocha[2)]	Výberové výsledky[3)]									
		N/ha	Dif.N%	G/ha	Dif.G%	d(g)	Dif.d%	s(G)%	S(G)%	m	t-dif.G%
1	REL 1	1 970	-2,72	18,2	-2,67	10,8	0,00	16,8	2,7	18	-0,990
2	REL 1	2 027	1,76	25,1	0,80	12,6	0,00	12,9	2	25	0,402
3	REL 1	1 352	-3,01	17,0	0,59	12,7	0,79	17,8	2,8	17	0,211
4	REL 1	931	11,10	19,7	0,51	16,4	-4,65	25,3	4	20	0,128
5	REL 1	701	-3,18	20,7	-10,39	19,4	-3,96	38,4	7,9	21	-1,315
6	REL 2	570	0,35	36,8	-1,34	28,6	-1,04	24,0	4,3	18	-0,312
7	REL 2	506	4,55	35,2	4,45	29,7	-0,34	13,9	3,1	18	1,436
8	REL 1	361	-2,43	15,8	-3,66	23,6	-0,42	34,3	5,9	16	-0,620
9	REL 2	325	9,43	30,5	5,90	34,6	-1,70	18,5	3,3	15	1,788
10	REL 1	168	-1,75	25,9	-0,77	44	-0,23	16,0	1,4	26	-0,547
Priemer[4)]		891,1	**1,41**	24,49	**-0,66**	23,24	**-1,15**	21,8	3,74	**19,3**	0,176
Smerodajná odchýlka[5)]		673,3	**5,29**	7,55	**4,50**	10,91	**1,79**	8,7	1,93	**3,6**	
Stredná kvadratická chyba[6)]			**5,47**		4,55		2,13				
t-test priem. diferenciácie[7)]			0,843		-0,462		-2,035				

Vysvetlivky – *Explanatory notes:* KK – konštantné kruhy 500 m^2 – *constant circle-size 500 m^2,* VK – variabilné kruhy 100 – 1 000 m^2 – *variable circle-size 100 – 1 000 m^2,* 3KK – tri koncentrické kruhy 100, 200 a 500 m^2 – *three concentric circles with the size 100, 200 and 500 m^2,* REL – relaskopovanie so ZU = 1 a 2. N.ha^{-1}, G.ha^{-1}. d(g) – ako v tabuľke 2 – *relascoping with BAF = 1 and 2.N.ha^{-1}, G.ha^{-1}. d(g) – as in table 2,* s(G)% – variačný koeficient – *koefficient of G variation,* S(G)% stredná chyba priemeru kruhovej základne – *standard error of estimated G.ha^{-1},* m – priemerný počet stromov na skusnej ploche – *mean number of trees on the sample plot,* t-dif.G% – test diferencie G výberu voči základnému súboru v jednotlivých modelových porastoch – *test of the G difference in the individual model stands.*
[1)]Model stand No, [2)]Sample plot, [3)]Sampling results, [4)]Average, [5)]Standard deviation, [6)]Mean square error, [7)]t-test of mean difference

Tabuľka 4. Porovnanie počtu stromov (N.ha^{-1}), kruhovej základne (G.ha^{-1} m^2) a strednej hrúbky (d_g cm) na variabilných (VK), koncentrických (3KK) a relaskopických kruhoch (REL) voči konštantným kruhom (KK 500 m^2) z počítačových simulácií v porastoch digitálneho lesa

Table 4. *Comparison of number of trees (N.ha^{-1}), basal area (G.ha^{-1}m^2) and mean BHD (cm) on variable (VK), concentric (3KK) and relascopic (REL) circles against constant circles (KK 500 m^2) from computer simulations in digital forest stands*

Model porast[1)]	VK – dieferencie e% pre[2)]			3KK – diferencie e% pre[2)]			REL – diferencie e% pre[2)]		
	N	G	dg	N	G	dg	N	G	dg
1	-5,0	8,1	6,4	-5,0	-7,0	-1,8	-1,7	-2,2	-0,9
2	0,1	-2,4	-1,6	0,6	-1,2	-0,8	0,5	0,4	0,0
3	-2,0	-1,2	0,0	-2,0	-1,2	0,0	-0,9	0,0	0,8
4	6,2	5,6	0,0	11,3	6,1	-2,3	11,2	1,0	-4,6
5	2,8	5,9	1,5	6,3	5,4	-0,5	10,2	2,5	-3,5
6	0,0	-1,7	-1,0	7,8	4,2	-1,3	6,5	3,7	-1,7
7	3,7	-2,3	-1,7	-2,6	-0,9	1,0	-0,8	2,0	1,4
8	1,9	0,6	-0,4	3,0	-0,4	-1,7	-1,6	-4,8	-1,7
9	-2,2	-0,3	0,9	3,4	2,0	-0,9	1,6	1,7	0,0
10	-3,0	-2,3	0,4	0,0	0,4	0,2	-0,6	0,8	0,0
$\bar{e}$%	0,27	1,0	0,45	2,3	0,74	-0,85	2,45	0,51	-1,03
s_e% (±)	3,43	3,99	2,34	5,09	3,90	1,06	4,98	2,44	1,89
m_e % (±)	3,44	4,11	2,38	5,59	4,00	1,36	5,55	2,49	2,15
t – test	0,249	0,792	0,508	1,42	0,60	2,536*	1,556	0,661	1,723

[1)]Model stand No, [2)]e% – differences for N, G, dg, $\bar{e}$% – average, s_e% – standard deviation, m_e% – mean square deviation of differences, t – test of mean diferences

tujú *N.ha^{-1}, G.ha^{-1}* a d_g celého súboru stromov v každom modelovom poraste individuálne i vo všetkých modelových porastoch spolu. Diferencie „*dif%*“ týchto veličín, ktoré sú vlastne skutočnými chybami výberu voči základnému súboru majú striedavé znamienko (plus aj mínus) a dosahujú rôznu veľkosť (od nuly po 12 %), ale v celom súbore porastov neprejavujú tendenciu k systematickému vychýleniu. Priemer-

né diferencie posúdené štatistickým t-testom majú s viac ako 95 % istotou náhodný charakter. Jedinou výnimkou je určenie strednej hrúbky d_g koncentrickými kruhmi, kde priemerná hodnota $dif(d_g)\%$ je štatisticky významná (hodnota t-testu prekračuje kritickú hranicu $t_{0,05(9)} = 2,262$). Aj smerodajná odchýlka (náhodná zložka) diferencií a tiež stredná kvadratická chyba (obsahujúca systematickú i náhodnú zložku) sa medzi sebou podstatne nelíšia, pohybujú sa na úrovni ±1 až 6 %, pri N sú väčšie, pri d_g menšie. Oveľa väčší rozdiel existuje medzi skusnými plochami v počte stromov „m“, ktoré sa na nich zachytili. Najviac ich je na konštantných kruhoch (8 – 101). Na variabilných a relaskopických kruhoch je ich zhruba rovnako (13 – 22 a 16 – 26) a oveľa menej varírujú, pretože boli zvolené optimálne podľa hustoty porastov. Na koncentrických kruhoch je ich najmenej (8 – 20). Keď priemerné počty stromov $\bar{m}$ na KK–VK–3KK–REL vyjadríme relatívnym indexom, dostaneme nasledovnú reláciu: 1,00 – 0,43 – 0,32 – 0,45. Tento rozdielny počet zachytených stromov sa prejavuje celkom zákonite aj vo variabilite kruhovej základne G_i medzi skusnými plochami, ktorú vyjadruje variačný koeficient $s_G\%$. Na KK je variabilita veľmi malá tam, kde sa zachytil príliš veľký počet stromov, v ostatných prípadoch je porovnateľná s VK a REL. Ostatné druhy skusných plôch majú hodnoty $s_G\%$ viac menej podobné, čiže zhruba rovnako podchycujú premenlivosť G_i na rôznych miestach v poraste, pričom REL poskytuje relatívne najvyrovnanejšie výsledky. Stredné chyby $S_{\bar{G}}\%$ vyjadrujúce 68 % rámec štatistickej presnosti odhadu kruhovej základne celého modelového porastu sa správajú úplne rovnako ako hodnoty variačného koeficienta $s_G\%$, lebo sú v zmysle vzorcov (8, 10, 13) podielom $s_G\% / \sqrt{n}$, pričom rozsah výberu n bol v jednotlivých modelových porastoch pre každý druh skusnej plochy rovnaký.

– V tabuľke 4 zase vidno, aké sú odchýlky v určení $N.ha^{-1}$, $G.ha^{-1}$ a d_g optimálnymi, koncentrickými a relaskopickými kruhmi voči konštantným kruhom. Vyjadrené sú relatívne v percentách $e\%$. Ich hodnoty vo všetkých prípadoch kolíšu viac-menej náhodne, sú zhruba v rovnakom počte kladné aj záporné. Dôležité je, že za celý súbor porastov sa priemerné hodnoty $\bar{e}\%$ diferencií nelíšia od nuly štatisticky významne, s výnimkou koncentrických kruhov pri veličine d_g. Keď posúdime ich celkovú veľkosť pomocou smerodajnej odchýlky $s_e\%$ a strednej kvadratickej odchýlky $m_e\%$ zistíme, že sú pri všetkých troch veličinách o niečo menšie ako v predchádzajúcom prípade (v tab. 3). Je to preto, že je v nich zahrnutý iba vplyv rozdielneho zaraďovania stromov do skusných plôch na tých istých meračských stanoviskách, zatiaľ čo v predchádzajúcich je aj vplyv rozdielov výberových výsledkov voči celému porastu (základnému súboru).

– Z uvedeného vyplýva, že s ohľadom na „čistú“ presnosť odhadu hlavných porastových veličín sú všetky štyri porovnávané druhy skusných plôch v podstate rovnocenné, výnimkou je iba možné systematické vychýlenie v strednej hrúbke d_g pri koncentrických kruhoch, avšak toto vychýlenie je tak malé, že sa prakticky dá zanedbať.

4.2.2 Presnosť kruhových a relaskopických skusných plôch odvodená z meraní v teréne

Táto presnosť, na rozdiel od predchádzajúcej zahrňuje nielen vplyv dendrometrických a biometrických vlastností obidvoch druhov skusných plôch, ale aj subjektívne vplyvy osôb vykonávajúcich meranie a tiež vplyvy použitej meracej techniky. Posúdime ju na základe výsledkov, ktoré sme získali v pokusnom objekte „Sekier“ na Vysokoškolskom lesníckom podniku TU Zvolen (Fekete, Šmelko, Scheer, 2011). Pokus bol zameraný na objektivizáciu údajov HÚL, ale navyše bolo vo vybratých porastoch okrem zistenia ich stavu metódou optimálnych kruhových skusných plôch na každom meračskom stanovisku vykonané aj relaskopovanie. Výberový plán bol zostavený na podklade okulárneho predodhadu potrebných vstupných veličín pre požadovanú presnosť výsledku ±15 % v mladších a ±10 % v starších porastoch pri 95 % spoľahlivosti. Meranie vykonali zaškolení pracovníci (doktorand a diplomanti Lesníckej fakulty Technickej univerzity vo Zvolene).To umožnilo získať párové údaje o kruhovej základni $G.ha^{-1}$ a navzájom ich porovnať a analyzovať. Základné údaje o pokusnom materiáli a o zistených výsledkoch sú zhrnuté v tabuľke 5.

Jedná sa o 16 porastov, ktoré reprezentujú široké vekové rozpätie od 30 do 105 rokov, majú bohatú vnútornú štruktúru, výskyt veľkého počtu (priemerne až 5) druhov drevín, rozličnú hustotu (zakmenenie od 0,6 do 1,1) a nízky i veľmi vysoký stupeň rozrôznenosti. Porovnanie údajov, ktoré sa v pokuse získali prináša veľa zaujímavých, ale aj protichodných poznatkov. Vcelku, pre celý súbor porastov sa kruhovými i relaskopickými plochami dosiahli zhruba rovnocenné výsledky. Variabilita kruhovej základne $S_G\%$ i dosiahnutá štatistická presnosť jej určenia $S_{\bar{G}}\%$ je však pri relaskope o niečo priaznivejšia, čo naznačuje, že relaskopické skusné plochy v širokom priemere lepšie zachytávajú a eliminujú rozdielnosti na rôznych miestach v poraste ako optimálne kruhy, hoci v obidvoch prípadoch bol počet stromov $\bar{m}$ na skusných plochách približne rovnaký. Skutočná diferencia $\bar{e}(G)\% = (G_{REL} - G_{OK}) / G_{OK} * 100$ je naopak kladná (+2,6 %) a aj keď nie je štatisticky významná ukazuje, že REL má tendenciu dávať vyššie hodnoty $G.ha^{-1}$. Aj náhodná zložka diferencií $s_{e\%}$ a stredná kvadratická odchýlka $m_{e\%}$ sú pomerne veľké (±5,8 % a ±6,9 %). Podobná tendencia a tak veľká variabilita sa v predchádzajúcej „čistej“ presnosti vôbec neprejavila ani pri optimálnych kruhoch, ani pri relaskope. Preto je celkom oprávnené pripísať ju subjektívnym faktorom ovplyv-

Tabuľka 5. Porovnanie výsledkov z variabilných kruhových skusných plôch (VK) a relaskopovania (REL) na tých istých miestach v reálnych porastoch pokusného objektu „Sekier“

Table 5. *Comparison of results from variable-size circular sample plots (VK) and relascoping (REL) on the same places in real forest stands of the research territory "Sekier"*

Porast číslo[1)]	Výmera P[2)]	Vek[3)]	Zakmenenie[4)]	Počet dr.[5)]	Počet[6)] skpl.	Variabilné kruhy[7)]					ZU	Relaskop[8)]			SG%	Dif. G %[9)]
	[ha]	(r.)		(k)	(n)	p(m²)	m	G(m²)	sG%	SG%		m	G(m²)	sG%		
1	10,56	30	0,91	6	18	100	22	31,7	27,4	6,4	4	9	35,4	24,9	5,9	11,8
2	15,38	30	0,86	7	18	100	19	29,3	23,1	5,4	2	15	29,4	17,6	4,2	0,3
3	6,74	30	0,93	7	14	100	15	24,1	40,2	10,7	1	22	21,7	32,1	8,6	-9,9
4	5,85	35	0,97	1	8	100	19	44	16,1	5,7	4	12	46,2	24	8,5	5,0
5	3,61	35	0,88	1	8	100	19	44,1	12,9	4,5	2	23	46,8	14,8	5,2	6,1
6	9,17	50	0,84	8	18	200	18	28,3	27,0	6,4	2	14	27,6	31,6	7,4	-2,5
7	4,00	60	0,84	8	18	300	15	30,5	23,9	5,6	2	15	30,9	20,3	4,8	1,3
8	3,86	65	0,89	6	14	300	18	30,9	38,4	10,3	2	17	33,6	16,8	4,5	8,7
9	8,98	70	0,88	6	33	300	24	30,2	26,9	4,7	2	17	32,8	22,4	3,9	8,6
10	7,24	70	0,89	7	14	300	21	34,9	17,7	4,7	2	18	36,9	23,3	6,2	5,7
11	8,77	75	1,06	3	14	300	25	33,2	26,4	7,1	2	18	35,2	25	6,7	6,0
12	3,31	95	0,86	7	15	300	21	33,1	34,5	8,9	2	17	33,4	17,6	4,5	0,9
13	11,14	100	0,84	5	36	300	12	31,2	34,2	5,7	2	17	33,4	23,5	3,9	7,0
14	6,02	100	0,88	7	36	300	16	31,1	25,9	4,3	2	16	31,2	25,8	4,3	0,3
15	11,52	105	0,86	4	36	500	14	36,3	33,6	5,6	2	18	35,2	16,9	2,8	-3,0
16	3,99	105	0,68	4	36	300	9	24,8	43,8	7,3	2	12	23,6	27,5	4,6	-4,8
Priemer[10)]					21	244	17,9	32,4	28,3	6,5	2,2	16,3	33,3	22,8	5,4	2,59
Smerodajná odchýlka[11)]					10	115	4,0	5,5	8,7	2,0	0,8	3,5	6,6	5,2	1,7	±5,77
Stredná kvadratická diferencia[12)]																±6,32

[1)]Number of the forest stand, [2)]Area (ha), [3)]Age (years), [4)]Density, [5)]Number of tree species, [6)]Number of sample plots, [7)]Variable-size circular sample plots, [8)]Relascopic sample plots, p(m²) – area of sample plot, ZU = BAF, m – number of trees on the sample plot, G(m²), sG%, SG% – mean , variation coefficient and standard error of basal area G.ha^{-1}, [9)]Differences of basal area G(m²) in %, [10)]Average, [11)]Standard deviation, [12)]Mean square difference

ňujúcim meranie, ktoré sa mohli vyskytnúť pri inventarizácii v jednotlivých porastoch. Do úvahy prichádzajú najmä tieto vplyvy:

a) Nesprávne odhadnutý stupeň rozrôznenia porastu (variačný koeficient s_G%) pred meraním a s tým súvisiaca voľba väčšieho alebo menšieho rozsahu výberu *n* ako je potrebný pre dosiahnutie požadovanej presnosti výsledku. Pri podhodnotení stupňa rozrôznenosti sa získa nižšia presnosť a naopak. V našom pokuse sa tak stalo v porastoch č. 3, 8, 2 a 16, kde bola presnosť $S_{\bar{G}}$% nedostatočná (menšia ako polovica požadovaného rámca ±15, resp. 10 % pre pravdepodobnosť 95 %) a v porastoch č. 2, 5 a 14, kde bola zbytočne vysoká.

b) Nesprávne zvolená veľkosť optimálneho kruhu a optimálnej ZU relaskopu. Príčinou je nedobre posúdená skutočná hustota stromov po ploche porastu. Prejaví sa v tom, že počet stromov na skusných plochách bude buď menší alebo väčší ako je optimum (15 – 25) a presnosť výsledku bude potom nižšia alebo vyššia ako sa objektívne požaduje. V našom pokuse sa menej ako 15 stromov meralo v starších porastoch č. 13, 15, 16 a viac ako 25 ani v jednom poraste. Počet relaskopom načítaných stromov bol trochu rozdielny, lebo závisí od ich hrúbky i vzdialenosti od stredu kruhu, ale v podstate bol ešte priaznivejší ako pri kruhoch.

c) Neobjektívne posúdenie hraničných stromov a ich neoprávnené vynechanie alebo zahrnutie do skusnej plochy. Pri kruhoch je zavinené nesprávne odmeranou vzdialenosťou stromu a zlým určením jeho vegetačnej osi, chyba ktorá tým vzniká = 1/2 (π / 4 * $d_{1,3}^2$) a je tým väčšia, čím je dotyčný strom hrubší. Pri relaskopovaní súvisí s optickým posudzovaním koincidencie ZU s hrúbkou hraničného stromu $d_{1,3}$ alebo aj s tzv. „osobnou chybou“ merača spočívajúca v tom, že stále subjektívne považuje stromy za vzdialenejšie alebo bližšie (hrubšie alebo tenšie) ako sú v skutočnosti, chyba je však oveľa závažnejšia ako pri kruhoch lebo, napr. vynechaný strom pri ZU = 1 – 2 – 4 reprezentuje *G.ha*$^{-1}$ = 1/2 – 1 – 2 m². V obidvoch prípadoch je pravdepodobnosť výskytu hraničných stromov a možnosť takejto chyby tým väčšia, čím väčší je obvod vytyčovanej skusnej plochy, lebo napr. 100 m² kruh má obvod 35 m, ale 500 m² kruh až 79 m.

d) Pri porovnávaní kruhových a relaskopických skusných plôch navyše vznikajú ďalšie dve príčiny možných rozdielov vo výsledkoch a to:

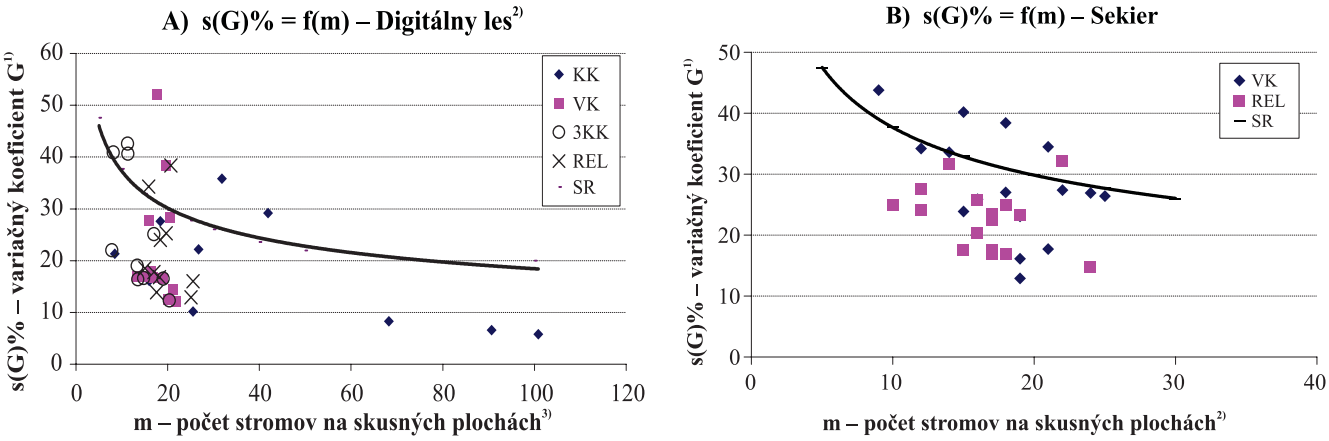
– Výskyt väčšieho počtu tenkých stromov nedosahujúcich registračnú hranicu $d_{1,3}$ = 7, resp. 8 cm. Pri kruhoch sa všetky $d_{1,3}$ merajú, takže chyba sa vylúči, ale pri bežnom relaskopovaní sa registračná hranica posudzuje len okulárne a pri nesprávnom rozhodnutí chyba v $G.ha^{-1}$ z tohto titulu pre každý takýto strom môže byť až 1 – 2 – 4 m².
– Nepravidelnosť tvaru priečnych prierezov stromov a z nej vyplývajúce rôzne hodnoty $d_{1,3}$ v rôznych smeroch merania, čo spôsobuje v závislosti od druhu dreviny odchýlky zhruba ±2 až 5 cm. V prípade, že sa stromy na kruhoch nepriemerkujú dôsledne v smere kolmom na stred meračského stanoviska tak ako sa posudzujú relaskopom, môže sa stať, že niektoré stromy sa do relaskopického kruhu zahrnú navyše alebo sa vynechajú, chyba v $G.ha^{-1}$ pre každý takýto strom je tiež 1 – 2 – 4 m².

Kým možné chyby zisťovania uvedené pod bodom a – b) sa dajú identifikovať po vykonaní merania porovnaním dosiahnutých výsledkov voči výberovému plánu, čo pre naše pokusné porasty sme aj urobili, ostatné chyby c – d) sú spôsobené takým množstvom náhodných príčin, že ich možno iba predvídať, a to podľa stavu inventarizovaných porastov a odbornej vyspelosti meračov. V našom pokusnom objekte sa vyskytli v porastoch č. 1, 3, 8 a 9 a spôsobili pomerne veľké diferencie v $G.ha^{-1}$ medzi kruhovými a relaskopickými skusnými plochami (9 až 12 %). Nedajú sa úplne vylúčiť, len do určitej miery obmedziť dôsledným dodržiavaním pracovných postupov, overením správnosti používanej meracej techniky, prípadne aj odvodením „osobnej zámernej úsečky“ merača pre relaskopovanie (pozri Dendrometria, Šmelko, 2007, s. 32–33, 57–60).

4.2.3 Variabilita zistenej kruhovej základne G_i v závislosti od počtu stromov na skusných plochách

Má veľmi veľký teoretický i praktický význam v inventarizácii lesa. Potrebujeme ju poznať (odhadnúť) ešte pred vlastným meraním pre zostavenie optimálneho výberového plánu a po vykonaní merania bezprostredne ovplyvňuje dosiahnutú presnosť zisťovania. Z údajov získaných v našom pokuse ju využijeme na overenie známej zákonitosti o zmenšovaní variačného koeficienta kruhovej základne $G_i.ha^{-1}$ na skusných plochách s_G% (ale aj zásoby $V_i.ha^{-1}$) s rastúcim počtom stromov *m* na skusných plôch a súčasne posúdime aká bola homogenita našich pokusných porastov. Uvedená zákonitosť $s_G\% = f(m)$ je zobrazená na obrázku 5a s vyznačením hodnôt s_G% pre jednotlivé druhy skusných plôch v digitálnom lese a na obrázku 5b v pokusnom objekte Sekier. Súčasne je do nej vložená krivka pre stredný relatívny stupeň rozrôznenia porastov platná v širokom priemere pre celé Slovensko (odvodená je z rozsiahlych predchádzajúcich experimentálnych meraní autora).

Obidva obrázky jednoznačne potvrdzujú viaceré skutočnosti, a to že:
– V tých istých porastoch a na tých istých miestach sa rôznymi kruhmi a relaskopom získa pomerne rozdielna variabilita hodnôt kruhovej základne G_i.
– Pri rovnakej zvolenej veľkosti variabilných a relaskopických skusných plôch je variabilita G_i z relaskopovania vo väčšine prípadov nižšia, čiže priaznivejšia.
– Hodnoty variačných koeficientov s_G% sa s rastúcim počtom stromov na nich postupne hyperbolicky zmenšujú a celkom dobre potvrdzujú doteraz známu zákonitosť typickú pre bežné lesné porasty na Slovensku.



Obr. 5 (a, b). Závislosť variability kruhovej základne s(G)% od počtu stromov (m) na porovnávaných druhoch skusných plôch v digitálnom lese (A) a v reálnych porastoch pokusného objektu Sekier (B) v porovnaní s modelom platným pre stredný stupeň rozrôznenia v SR

***Fig. 5 (a, b)**. Relationship between the variation koeficient s(G)% and the number of trees (m) on the avaluated sample plots in digital forest (A) and in real forest stands (B) in comparison to the model for mean forest conditions in Slovakia*

– V konkrétnych pokusných porastoch digitálneho i reálneho lesa je ich vnútorná variabilita G_i na úrovni stredného a nižšieho stupňa rozrôznenia. Tento poznatok je prekvapujúci najmä v pokusnom objekte Sekier, kde väčšina porastov je drevinovo i hrúbkovo veľmi heterogénna a naznačuje, že táto heterogenita je v podstate po celej ploche menej premenlivá ako by sa mohlo celkom oprávnene očakávať. Je to podobný fenomén aký sme pri celoslovenských prieskumoch objavili aj vo veľmi štruktúrovaných porastoch výberkového lesa.

4.3. Hospodárnosť zisťovania

Je po presnosti druhá najdôležitejšia vlastnosť všetkých výberových metód, lebo ich cieľom je získať požadovanú presnosť výsledku s minimálnymi časovými a finančnými nákladmi. Jej kvantifikácia nie je však jednoduchá, lebo závisí od veľkého počtu faktorov. Celková časová náročnosť T sa skladá z dvoch zložiek T_1 a T_2.

Prvou zložkou je čas T_1 potrebný na vytýčenie a zmeranie jednej skusnej plochy, na ktorý vplýva najmä: veľkosť skusnej plochy, počet stromov na nej, informačné spektrum (počet zisťovaných znakov a veličín), počet pracovníkov v inventarizačnej skupine a použitá vytyčovacia a meracia technika. Orientačné relácie o tejto časovej náročnosti poskytuje tabuľka 6. Spracovaná bola na podklade veľkého množstva doterajších experimentov autora a týka sa priemerných porastových podmienok Slovenska a iba dvoch najzákladnejších zisťovaní – drevín a hrúbok $d_{1,3}$ stromov v porastoch.

Ukazuje, že porovnávané druhy skusných plôch sa líšia nielen v priemerných hodnotách T_1, ale ešte viac v ich prepočte na počet pracovníkov v skupine ΣT_1. Časovo najvýhodnejšie je relaskopovanie bez merania hrúbok (nepotrebuje kontakt pracovníka s každým vybratým stromom a prechádzanie od stromu k stromu) a môže sa ešte viac zvýhodniť tým, že relaskopovanie vykoná iba jeden pracovník a zistené údaje bude zaznamenávať na hlasové médium (nahrávač a p.). Časovo najnáročnejšie sú kruhové skusné plochy s jednou konštantnou výmerou, na ktorej – ako vidno – sa zmeral veľmi rozdielny počet stromov (5 až 75), ale v priemere bol 1,7-krát väčší ako na optimálnych 20 stromových variabilných kruhoch. Údaje platia pre meranie „klasickým“ spôsobom – vzdialenosti pásmom, hrúbky $d_{1,3}$ taxačnou priemerkou. Ale aj pri použití nových technológií, ako sú elektronické a laserové diaľkomery a elektronické registračné priemerky sa zvýši iba komfort merania a záznamu údajov, časová náročnosť sa podstatne nezníži, pretože vznikne potreba preverovať hraničné stromy priamym meraním a rovnako riešiť aj problémy s prekážajúcim podrastom a prekrývaním sa stromov. Samozrejme, že uvedené časy T_1 sa výrazne zvýšia pri rozšírení zisťovaného informačného spektra, napr. hodnotenie kvality kmeňa, poškodenia a defoliácie na všetkých stromoch a zmeranie výšky na 3 – 5 stromoch zvýši čas T_1 zhruba o 50 %. Pri 20, resp. 100 zisťovaných veličinách a znakoch, ako je to pri podnikovej, resp. celoštátnej inventarizácii, sú hodnoty T_1 2 až 5-krát väčšie. S podstatnejším zvýšením časovej náročnosti treba počítať tiež v prípade, keď sa skusné plochy zakladajú ako trvalo fixované pre potreby monitoringu a pri každom strome na ploche sa zisťuje a zaznamená aj jeho poloha pomocou súradníc X, Y. Ak sa súradnice zisťujú klasickým spôsobom ako tzv. polárne odmeraním azimutu (uhla od severu) pomocou buzoly a vzdialenosti stromu od stredu kruhu pásmom, čas T_1 sa zvýši o približne 50 %. Ak sa použije modernejšie (ale finančne veľmi náročné) zariadenie, napr. Field-Map, táto časová náročnosť sa podstatne zníži. Skúsenosti s touto technológiou v našich podmienkach sú zhrnuté v príspevku Šebeň, Šmelko, Merganič (2007).

Druhovou zložkou je čas T_2 potrebný na umiestnenie skusnej plochy v poraste a na prechod k susednej skusnej ploche. Ten je pri všetkých druhoch skusných plôch rovnaký ale veľmi závisí od ich hustoty (vzdialenosti s medzi nimi), ktorá je daná vzťahom $s = \sqrt{P(ha)/n}$ a je tým väčšia, čím väčšia je výmera inventarizovaného územia $P(ha)$ a menší počet skusných plôch n. Pri porastovej inventarizácii, kedy sa $P(ha)$ pohybuje najčastejšie v rozpätí 3 až 15 ha a rozsah výberu je v závislosti od stupňa rozrôznenia a požadovanej presnosti

Tabuľka 6. Čas potrebný na založenie a zmeranie jednej skusnej plochy (T_1) a celkový časový náklad pracovnej skupiny (ΣT_1), m – počet stromov na skusnej ploche (rozpätie / priemer), k – počet členov pracovne skupiny

Table 6. *The time needed for establishment and measurement of one sample plot (t_1) and the whole time expense for a working group (T_1), m – number of trees on a sample plot, k – number of members in a working group*

Skusná plocha[1)]	m	T_1	k	ΣT_1	Index
KK 500 m²	5 – 75 / 33	4 – 9 / 5	1 + 2	15	100
VK 100 – 1 000 m²	15 – 25 / 20	2 – 8 / 4	1 + 2	12	80
3KK 100, 200, 500 m²	5 – 30 / 18	3 – 7 /3,5	1 + 2	16,5	70
REL (ZU = 1, 2, 4) bez merania $d_{1,3}$[2)]	15 – 20 / 16	1 – 4 / 3	1 + 1	6	40
REL (ZU = 1,2,4) + meranie $d_{1,3}$[3)]	15 – 20 / 16	3 – 7/ 4	1 + 1	8	53

[1)]Sample plot, [2)]Relascoping witout measurement of DBH, [3)]Relascoping with measurement of DBH

Ostatné symboly, ako v tabuľke 3 a 4 – *Other symbols as in the table 3 and 4.*

n = 8 až 70, kolíšu vzdialenosti s od 25 do 130 m. Čas T_2 je v tomto prípade asi 3 až 13 minút. Pri inventarizácii väčších územných celkov sa priamy prechod medzi skusnými plochami realizuje iba vtedy, ak ich hustota je rádovo od 100 do 250 m, pri väčších odstupoch (500 m, 1, 2 alebo 4 km) sa poloha stredov skusných plôch v teréne určuje pomocou vopred známych súradníc (X, Y), GPS a mapy alebo leteckej snímky. Tu je čas T_2 už niekoľkonásobne väčší ako samotné založenie a zmeranie skusnej plochy. Zo skúseností, ktoré sme získali na NLC bol celkový časový výkon $T = T_1 + T_2$ pri regionálnych pokusných inventarizáciách s hustotou s = 200 × 200, resp. 500 × 500 m zhruba 1,5 – 2 hodiny a v národnej inventarizácii s hustotou s = 4 × 4 km 4 – 8 hodín.

Na všetky uvedené časové náklady vplývajú aj podmienky merania, najmä sklon a schodnosť terénu a prítomnosť prekážajúceho podrastu. Pri ľahších podmienkach sú priemerné časy T asi o 10 % nižšie a pri ťažších podmienkach naopak o 10 – 15 % vyššie.

4.4. Jednoduchosť realizácie

Je ďalšie kritérium ovplyvňujúce voľbu konkrétneho druhu skusných plôch. Všeobecne platí, že pri variantoch zabezpečujúcich rovnocennú presnosť a hospodárnosť zisťovania treba uprednostniť ten, ktorý sa jednoduchšie realizuje. Pritom je potrebné komplexne zohľadniť viaceré okolnosti:

– *Náročnosť zostavenia výberového plánu*. V stanovení počtu a rozmiestnení skusných plôch po inventarizovanom území je náročnosť pri všetkých variantoch v podstate rovnaká. Rozdielna je pri voľbe veľkosti skusných plôch. Pri konštantných i koncentrických kruhoch je najjednoduchšia, lebo sa stanovuje ešte pred zisťovaním jednotne pre všetky kategórie porastov. Pri variabilných kruhoch a relaskope je oveľa náročnejšia a vyžaduje vyššiu odbornosť a praktické skúsenosti, lebo sa musí odvodzovať ako optimum pre každý konkrétny porast individuálne a ako sa ukázalo v stati 4.2.2 nesprávne rozhodnutie môže negatívne ovplyvniť požadovanú presnosť inventarizácie.
– *Pracovný postup terénneho zisťovania*. Líši sa vo vytyčovaní skusných plôch a posudzovaní hraničných stromov. To je najmenej náročné a bezproblémové pri konštantných a variabilných kruhoch. Pri koncentrických kruhoch je prácnejšie a vyžadujúce väčšiu pozornosť, lebo sa vytyčujú vlastne tri samostatné kruhy a okrem vzdialeností stromov od stredu kruhu treba zohľadňovať aj ich hrúbku $d_{1,3}$. Pri relaskopovaní je postup najjednoduchší, problémy môže spôsobovať len hustý podrast.
– *Spôsob spracovania zistených údajov.* Súvisí s biometrickou koncepciou zvolenej výberovej metódy a ako vyplýva z kapitoly 3 zložitejší postup (3.2.2) je iba v prípade náhodného rozmiestnenia rôzne veľkých skusných plôch po inventarizovanom území. Pri systematickom výbere je úplne jednoduchý a najmenej náročný je pri relaskopovaní.

4.5. Porovnateľnosť údajov pri opakovaných zisťovaniach pre potreby monitoringu

Je základnou podmienkou pri permanentnom sledovaní zmien stavu lesa, ktoré vznikajú v dôsledku rastového procesu, mortality a ťažby v dlhšom časovom rade. Vyžaduje, aby na skusných plochách bola zachytená poloha každého stromu a všetky veličiny na nich boli zisťované pri opakovaných inventarizáciách stále rovnakým spôsobom (napr. hrúbky stromov musia byť merané vždy v rovnakej výške a v rovnakom smere, výšky a ďalšie znaky merané a posudzované vždy na tých istých stromoch). To sa dá bez problémov zabezpečiť na konštantných kruhoch, ktorých výmera i súbor posudzovaných stromov je vždy ten istý, vyťažené stromy sa zidentifikujú podľa pňov a nové jedince, ktoré prerástli registračnú hranicu hrúbok, napr. 7 cm (tzv. dorast) podľa toho, že v predchádzajúcej inventarizácii neboli zaznamenané. Pri variabilných kruhoch vzniká určitý problém v tom, že súbory stromov na nich sa v nasledujúcich inventarizáciách môžu meniť v dôsledku zväčšenia výmery kruhu tak, aby sa na ňom zachytil optimálny počet 15 až 25 stromov. Tieto zmeny nie sú však veľmi časté, lebo zmena počtu stromov o 10 vyžaduje spravidla viac desaťročí (viac cyklov opakovaných inventarizácií). Pri koncentrických kruhoch je situácia ešte zložitejšia, avšak nie v dôsledku zmeny výmery jednotlivých kruhov (tie sú stále tie isté), ale preto, že sa stromy presúvajú z menšieho do väčšieho kruhu v dôsledku ich hrúbkového prírastku. Tieto zmeny sú oveľa častejšie ako pri variabilných kruhoch. V obidvoch prípadoch je potrebné si túto skutočnosť uvedomiť a riešiť ju v procese spracovania výsledkov inventarizácie tak, že sa údaje o zmenách (prírastku) monitorovaných veličinách budú odvodzovať zo zhodných súboroch stromov v obidvoch inventarizáciách. Pri relaskopických skusných plochách je porovnateľnosť údajov po opakovaných inventarizáciách ešte problematickejšia. Súvisí s tým, že tu sa jedná o výber jednotlivých stromov (úmerne k ich hrúbke $d_{1,3}^2$) a preto je ich súbor pri následnej inventarizácii stále iný. Ak sa pri prvej i druhej inventarizácii použije tá istá zámerná úsečka, situácia pre porovnávanie údajov je podobná ako pri koncentrických kruhoch s tým rozdielom, že pri následnej inventarizácii sa nový súbor stromov okrem tzv. dorastu rozšíri aj o stromy, ktoré sa pre nedostatočnú hrúbku predtým nemerali. Ak sa pri druhej inventarizácii zmení ZU, napr. zo ZU = 4 sa prejde na ZU = 2, aby sa počet čítaných stromov priblížil k optimu, situácia i možnosť jej riešenia je podobná ako pri variabilných kruhoch. Okrem toho sa môže pri relaskopovaní negatívne prejaviť aj zvláštny, doteraz málo známy fenomén súvisiaci s tým, že v prípadoch, keby sa medzi inventarizáciami vyťažili stromy nezahrnuté do výberu pre ich

nedostatočnú hrúbku $d_{1,3}$, pri následnej inventarizácii by zistená kruhová základňa $G.ha^{-1}$ zostala nezmenená.

5. Súhrnné porovnanie a diskusia

Z vykonaného posúdenia porovnávaných druhov skusných plôch môžeme konštatovať, že ich prakticky dosiahnuteľná presnosť – hoci majú rozdielne dendrometrické i biometrické vlastnosti – je pri rovnakom rozsahu výberu a na tých istých miestach v poraste v podstate rovnocenná. Väčšie rozdiely sú v ich hospodárnosti, a to v nasledujúcom poradí: relatívne najmenšie časové náklady vyžaduje relaskopovanie (40 – 55 %), nasledujú koncentrické a variabilné kruhy (70 – 80 %) a najmenej hospodárne sú konštantné kruhy (100 %). Samotná realizácia ich vytyčovania a merania je tiež rozdielna – najjednoduchšia pri relaskopovaní bez merania hrúbok $d_{1,3}$ a najzložitejšia pri koncentrických kruhoch a relaskopovaní spojenom s meraním hrúbok $d_{1,3}$. Ešte väčšie rozdielnosti a možné problémy sa vyskytujú pri použití skusných plôch pre monitorovanie zmien a odvodzovanie prírastkov sledovaných veličín, kde naopak sú relaskopické skusné plochy menej vhodné ako kruhy. Z toho vyplýva, že pri voľbe vhodného variantu skusných plôch treba posudzovať ich vlastnosti vždy komplexne a zobrať do úvahy aj ďalšie okolnosti, a to konkrétny účel inventarizácie, personálne a finančné možnosti, odbornú pripravenosť pracovných skupín, obľúbenosť a tiež existujúce tradície.

Naše poznatky pomerne dobre súhlasia aj so zahraničnými, hoci tie boli získané trochu inými, menej náročnými metodickými postupmi. Zaujímavé je, že niektoré druhy skusných plôch sa v praxi bežne uplatňujú napriek ich dokázaným nevýhodám. Napr. vo Švédsku sa už viaceré desaťročia v národných inventarizáciách lesa (NIL) používajú konštantné kruhy s polomerom 7,07m pre jednorázovo a s polomerom 10 m pre opakované merania. V Rakúsku, Fínsku a Nemecku pre stromovú inventarizáciu používajú relaskop. Pre ďalšie zisťované veličiny a znaky sa spravidla volia viaceré kruhy, štvorce alebo pásy, osobitné pre obnovu, mladiny, mŕtve drevo, stanovištné, ekologické a porastové charakteristiky. V Nemecku vytyčujú okolo spoločného stredu až 7 výberových jednotiek, 5 klasických kruhov rôznej veľkosti a 2 relaskopické kruhy, jeden so ZU = 4 pre hlavnú stromovú zložku, druhý so ZU = 1 alebo 2 pre znaky vnútornej štruktúry lesa. Aj v našej NIML SR (2005 – 2006) sme použili 5 druhov skusných plôch – malý variabilný kruh pre obnovu (s polomerom 1 – 2 m podľa hustoty jedincov), 2 koncentrické kruhy pre stromy s $d_{1,3} \geq 7$ cm (menší s polomerom 3 m pre $d_{1,3} < 12$ cm, väčší s polomerom 12,62 m pre $d_{1,3} > 12$ cm), 500 m² kruh pre porastové veličiny a takmer 2 000 m² kruh (s polomerom 25 m) pre znaky na okraji lesa. Podrobnejšie dostupné informácie o tom možno nájsť v príspevku (Šmelko, 2008).

6. Závery a odporúčania

Predložená analýza bola vypracovaná ako metodický podklad pre vytváranie optimálnych plánov výberovej inventarizácie lesa pomocou rôznych druhov kruhových a relaskopických skusných plôch, ktoré sa musia pripraviť so všetkou zodpovednosťou vopred pred každým zisťovaním. S ohľadom na komplexné posúdenie vlastností uvažovaných skusných plôch možno pre veličiny hlavnej stromovej zložky porastov v našich domácich podmienkach odporučiť nasledovné varianty:

- Pri porastovej inventarizácii použiť jednoduché relaskopovanie, alebo variabilné kruhy, v obidvoch prípadoch s optimálnym počtom 15 – 25 vybratých stromov na skusnej ploche. Menšie skusné plochy preferovať v homogénnych a väčšie v štrukturálne bohatých porastoch.
- Pri inventarizácii a monitorovaní lesa na úrovni väčších územných celkov (podniku, oblasti, regiónu, štátu) voliť koncentrické kruhy alebo variabilné 15 – 25 stromové kruhy. V prípade, že zisťovanie je iba jednorázovo alebo ide o monitorovanie bez nároku na rozloženie zistenej celkovej zmeny veličín na jej jednotlivé zložky (ťažbu, mortalitu, prírastok), použiť aj relaskopovanie bez merania, resp. aj s meraním hrúbok $d_{1,3}$ na vybratých stromoch. Takto sa môže, napr. zahustiť pôvodná sieť 4 × 4 km v NIML SR (2005 – 2006) na hustotu 2 × 2 km v regiónoch s nízkou lesnatosťou, čo umožní zlepšiť presnosť výsledkov inventarizácie.
- Koncentrické kruhy rozšíriť o ďalší, napr. 1 000 m² kruh kvôli lepšiemu podchyteniu hrubých stromov v riedkych porastoch. Pre zisťovanie širšieho informačného spektra a pre viacúčelovú (polyfunkčnú) inventarizáciu doplniť výberový dizajn o ďalšie vhodné výberové jednotky.

Navrhované riešenia vychádzajú z dendrometrických i biometrických vlastností uvedených skusných plôch a najlepšie zodpovedajú požiadavkám na presnosť, hospodárnosť, jednoduchosť realizácie i porovnateľnosť údajov v dlhšom časovom rade.

Poďakovanie

Príspevok je výsledkom riešenia v rámci Centra excelentnosti pre podporu rozhodovania v lese a krajine, v aktivite 3.2 Vývoj metód na získavanie informácií o lese a krajine kombinovanými technológiami pre rôzne veľké územia (operačný program EU č. 26220120069).

Citovaná literatúra

Bitterlich, W., 1984: The Relascope Idea. Relative Measurements in Forestry. Commonwealth Agricultural Bureaux, 242 pp.

Fekete, J., Šmelko, Š., Scheer, Ľ., 2011: Založenie pokusu pre overenie objektívnosti hospodársko-úpravníckych údajov o stave lesa kontrolným výberovým meraním na VšLP TU Zvolen. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, **53**(2): 91-104.

Halaj, J., 1960: Matematicko-štatistická metóda určovania hmoty porastov. In: *Matematicko-štatistické metódy v hospodárskej úprave a pestovaní lesov*. Bratislava: Vyd. SAV Bratislava, s. 9-76.
Kramer, H., Akca, A., 1995: Leitfaden zur Waldmesslehre. J. D. Sauerländers Verlag, Frankfurt am Main, 266 p.
Mandallaz, D.A., 1991: A unified approach to sampling theory for forest inventory based on infinite population and superpopulutation models. Chair of Forest Inventory and Planing. ETH Zurich, 32 p.
Saborowski, J., Šmelko, Š., 1998: Zur Auswertung von Stichprobeninventuren mit variablen Probeflächengrössen. Allg. Forst- und Jagdzeitung, **169**(4): 71-75.
Shiver, B.D., Borders, B.E., 1996: Sampling Techniques for Forest Resource Inventory. John Wiley and Sons, New York, 356 pp.
STIPSI, 2008: Stichproben–Simulator für Waldbestände und Forstbetriebe. Lehrprogramm für Forststudenten. Fortbildungsprogramm für Forsteinrichter. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt, Baden – Wurttenberg (FVA) Freiburg i. Br.
Šebeň, V., Šmelko, Š., Merganič, J., 2006: Skúsenosti z uplatnenia technológie Field-Map v národnej inventarizácii a monitoringu lesov SR a ich zovšeobecnenie. 2. konferencia „Enviro-i-forum“, TU Zvolen a AŽP Banská Bystrica, s. 175-185.
—, 1968: Matematicko-štatistická inventarizácia zásob lesných porastov. Bratislava: Vyd. SAV, 224 s.
—, 1979: Modelové porasty pre overovanie reprezentatívnych metód inventarizácie lesa počítačovými simuláciami. In: *Zborník vedeckých prác LF VŠLD Zvolen*, 21, Bratislava: Príroda, s. 153-172.
—, 1991: Biometrické vlastnosti rôznych druhov skusných plôch pre zisťovanie a monitorovanie stavu lesa. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, XXXIII, s. 167-178.
—, 2000: Biometrické a dendrometrické vlastnosti koncentrických kruhových skusných plôch. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, XLII, s. 163-177.
—, 2007: Dendrometria. Vysokoškolská učebnica. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 400 s.
—, 2008: Národné inventarizácie lesa v krajinách Európy a na Slovensku. Aké sú ich ciele a spôsoby realizácie. LES – Slovenské lesokruhy, č. 5–6, s. 28-33.
—, 2008: Metodické problémy kvantifikácie druhovej diverzity drevín v lesných ekosystémoch. Lesnícky časopis – Forestry Journal, **54**(4): 371-372.
—, 2011: Výberová metóda na zisťovanie nadzemnej dendromasy a zásoby uhlíka v lesnom ekosystéme. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, **53**(2): 71-89.
—, Saborowski, J., 1999: Evaluation of variable size sampling plots for monitoring of forest condition. Journal of Forest Science, **45**(8): 341-347.
—, Merganič, J., Šebeň, V., Raši, R., Jankovič, J., 2006: Národná inventarizácia a monitoring lesov Slovenskej republiky 2005–2006. Metodika terénneho zberu údajov. Zvolen: Národné lesnícke centrum, 129 s.

Summary

The results of the study provide many new theoretical and practical knowledges and the main recommendations as follows:

– Dendrometrical and biometrical properties of the studied types of sample plots are very different in terms of different tree counts, and the adequate algorithms proposed in the chapter 3.2 should be used according to whether they were distributed systematically or randomly or whether they have equal or variable size.
– Despite of the mentioned differences the attainable accuracy of the all four types of sample plots, with the same sample size and the same plot placement, is equivalent (Table 2–5). Higher differences can be found in their economical efficiency with the following sequence: relascopic sampling requires the least time costs (40–55%), it is followed by concentric and variable-sized circle plots (70–80%) and the constant-sized plots were shown as the less effective method (100%). Also the technique of their establishment and measurement of parameters is different – the simplest for relascope without DBH measurement and the most complicated in concentric circles and relascope with DBH measurement. However, even higher differences and potential troubles can occur in application of sample plots for monitoring of changes and quantification of increments of studied parameters, where, on the other hand, the relascope sampling is less suitable compared to the circle type of plots.
– After the comprehensive judgement of the properties of the studied sample plot types, it is possible, for the main tree layer of the forest stands in Slovakia forests, to recommend the following variants: For stand-wise inventory simple relascope, or variable-sized circle plots, in both types with the optimum number of trees 15–25 on a plot. For forest inventory and monitoring at regional or national level it is better to use concentric circles or variable-sized circle plots with measurement of 15–25 trees. In order the concentric circles to more represent the larger-sized trees in less dense forest stands it is recommended to add one more circle of for instance 1000 m^2. In the case of the only inventory (without increments monitoring) it is possible to use the relascope as well.

Translated by author
Revised by J. Lásková