

GDK 524.63.001.5

RAZVOJ IN UPORABA INVENTURNE VZORČNE METODE 2x6-DREVES

Milan HOČEVAR*

Izvleček

Izhajajoč iz vzorčne inventurne metode 6-dreves je bil razvit postopek snemanja z zrcalnim vzorcem 2x6-dreves ter izdelana metodologija izračuna regresijskih ocen, ki neenake površine vzorcev upošteva kot kovariabla. Primerjalna analiza na populaciji 94 vzorcev med ocenami, dobljenimi z metodo 2x6-dreves in referenčnimi vrednostmi metode odmerjenih vzorcev je potrdila zanesljivost nove metode. Snemalni postopek je pri novi metodi zelo enostaven in hiter, metoda se je v primerjavi z nekaterimi drugimi postopki snemanja pokazala tudi kot ekonomsko zelo učinkovita.

Ključne besede: gozdna inventura, vzorčenje, vzorec 2x6-dreves

DEVELOPMENT AND USE OF THE 2x6-TREES INVENTORY SAMPLE METHOD

Milan HOČEVAR*

Abstract

Deriving from the 6-trees inventory sample method, the process of data collecting with a mirror sample 2x6-trees was developed and a methodology for the calculation of regression evaluation was worked out which takes into consideration the unequal surfaces of samples as a co-variable. A comparative analysis of a population of 94 samples from among the evaluations achieved by the 2x6-trees method, and the reference values of the method of circular plots, confirmed the accuracy of the new method. The process of data collection with the new method is very simple and fast. In comparison to some other processes of data collection, this method has proved to be extremely efficient from the economic point of view, too.

Key words: forest inventory, sampling, 2x6-trees-plots

* dr., dipl. ing., izredni profesor, Biotehniška fakulteta, VTOZD za gozdarstvo, 61000 Ljubljana, Večna pot 83

VSEBINA

- 1 UVOD
- 2 OPIS METODE 2x6
 - 2.1 Postopek snemanja
 - 2.2 Obračun podatkov
- 3 PREIZKUS METODE
 - 3.1 Zasnova raziskave
 - 3.2 Metode iz vrednotenja
 - 3.3 Rezultati raziskav
 - 3.3.1 Ocena dendrometrijskih kazalcev
 - 3.3.2 Zanesljivost ocen in možnost sistematičnih napak
 - 3.3.2.1 Izračun srednjih vrednosti
 - 3.3.2.2 Križna primerjava prekrivanja ocen
 - 3.3.2.3 Analiza odklonov po stratumih
- 4 DISKUSIJA REZULTATOV RAZISKAV
- 5 SKLEP
- 6 LITERATURA
- 7 ZUSAMMENFASSUNG

1 UVOD

V razmeroma majhnem slovenskem prostoru se za popis gozdov uporabljajo zelo različne inventurne metode. Za zadnji dve desetletji je značilen vse hitrejši proces nadomeščanja polne premerbe z racionalnejšimi oblikami izmere gozdnih sestojev. Anketa, izvedena pri gozdnih gospodarstvih v l. 1988, je ugotovila te deleže posameznih inventurnih metod:

— polna premerba	: 9 %
— reprezentančne vzorčne metode	: 34 %
— nereprezentančne metode ocenjevanja	: 57 %

Gornja razmerja veljajo za snemanje lesne zaloge, medtem ko ocenjevanje prirastka sloni izključno na vzorčni izmeri in strokovni oceni.

Za evropsko, pa tudi naše gozdarstvo, je značilno stalno naraščanje deleža objektivnih vzorčnih metod, ki slonijo na načelih matematične statistike. Temu v prvi vrsti niti ni vzrok nižja cena takšne izmere, temveč visoka informacijska vsebina pridobljenih podatkov, ki dovoljuje intenzivne analize odnosov med stanjem in rastjo sestojev, rastiščem in načinom gozdnogospodarskega ukrepanja. Posebno težo so te metode dobile v zadnjem času, saj brez težav omogočajo tudi ugotavljanje in spremljanje fenomena umiranja gozdov.

Ker je bila izbira primernih vzorčnih metod v preteklosti prepuščena več ali manj posameznim gozdnim gospodarstvom, so se v majhnem slovenskem prostoru pojavile in uveljavile zelo različne metode. V Sloveniji danes uporabljamo kontrolno vzorčno metodo na stalnih ploskvah, kotnoštevno metodo (Bitterlich), metodo odmerjenih vzorčnih krogov in različne metode stalnega števila drevja. Še pestrejša je slika v širšem jugoslovanskem prostoru, kjer se z republiškimi mejami spreminjajo tako razmišljanje in prepričanje, kot tudi metoda popisa.

Zaradi svoje enostavnosti pri snemanju na terenu, ki omogoča delo tudi z na hitro priučenimi snemalci (dijaki), se je v Sloveniji razmeroma močno uveljavila metoda 6-dreves (Puhek, 1982), ki jo je za hitro premerbo sestojev v Nemčiji razvil Prodan (Prodan 1968) v šestdesetih letih.

Za metodo je značilno, da je število dreves v vzorcih stalno, namreč 6, spreminja pa se velikost vzorčne površine. Tako se velikost vzorčne površine prilagaja razvojni fazi in gostoti sestojev (število drevja na hektar). Površina vzorčne ploskve je določena z oddaljenostjo šestega drevesa od središča vzorca. Postopek terenskega snemanja je zelo enostaven ter zahteva le določitev oddaljenosti 6. dreves od središča ploskve, izmero njegovega premera ter klupiranje preostalih petih dreves. Ker je izmera enega vzorca zelo hitra (5 do 10 minut), so ekonomsko upravičene tudi razme-

roma goste vzorčne mreže (do 10 vzorcev/ha), tako da je mogoče zanesljivo ugotavljanje lesnih zalog tudi za posamezne sestoje, kar je bil eden osnovnih ciljev pri razvoju metode.

Prodanova zamisel prilagajanja velikosti vzorca gostoti in razvojni fazi sestoj je zapeljiva, saj je s tem uresničil načelo višje stopnje vzorčenja v vrednejših sestojih, obenem pa se je izognil zamudni izmeri velikega števila dreves v letvenjakih in mlajših drogovnjakih, kar je glavna hiba vzorčnih metod s stalno površino popisnih ploskev. Vendar tak pristop prinaša tudi velike težave pri izračunu nepopačenih ploskovnih srednjih vrednosti (na ha) ter ustreznih statističnih kazalcev. Pri prvih preverjanjih so te težave ostale skoraj neopazene (KO in dr. 1969, SCHOEPFER 1969), kasnejše temeljite raziskave v različnih gozdnih tipih pa so pokazale, da so ocene nepoplačene le pri določenih sestojnih zgradbah, medtem ko so v močno heterogenih in raznodobnih gozdovih možne razmeroma visoke sistematične napake (KAPUCU 1972, HIRNER 1978). Da bi napake odpravili, navedeni avtorji predlagajo različne postopke izračuna srednjih vrednosti (aritmetična, tehtana sredina) in celo posebne korekturne postopke.

Do podobnih ugotovitev smo prišli tudi z lastnimi opažanji in preverjanji v sredini osemdesetih let pri izmeri gorskih smrekovih in kmečkih mešanih kolinskih gozdov. Na osnovi teh opažanj se je rodila zamisel o metodi stalnega števila drevja z vzorcem 2x6 dreves.²

Izhodišča pri razvoju novega postopka so bila:

- Vzorec 6-dreves se je izkazal kot premajhen in ekonomsko neprimeren. V Sloveniji metode 6-dreves nismo uporabljali za sestojno inventuro, temveč za ugotavljanje lesne zaloge ureditvenih enot (gozda), za katere je značilna bistveno večja heterogenost, kar pa zahteva večje število dreves v vzorcu. Na to opozarjata že tudi Kapucu (1972) in Hirner (1978) pa tudi večina dendrometrijskih učbenikov priporoča 10 do 25 dreves v vzorcu.
- Zaradi majhne površine vzorca so tudi najmanjše razlike v sestojni zgradbi povzročale njihovo močno nihanje, kar je vodilo predvsem v heterogenih sestojih do pojavljanja ekstremnih vrednosti. Največje težave smo opažali v sestojih s skupinsko zgradbo (neredčeni sestoji, panjevci, prebiralni sestoji, gorski gozdovi s šopastjo rastjo), kjer se je dogajalo, da so stojišča padla v sredino takih skupin, kar je imelo za posledico, da so ob sicer normalnem lesnem volumnu, toda ekstremno majhni vzorčni površini, lesne zaloge dosegale do 3000 m³/ha.
- Visoke variance vzorčnih površin povečujejo možnost in velikost sistematičnih napak (FAO 1972, HIRNER 1978).

² Velikost polkroga s 6 drevesi se je že pri prvih preizkusih pokazala kot smotrna, saj še dovoljuje hitro določanje mejnega drevesa in hkrati tudi snemanje razmeroma visokega števila dreves v polnem vzorcu.

Povečanje velikosti vzorca (števila dreves v vzorcu) je bil manj teoretični kot tehnološki problem. Ker enostavno povečevanje števila dreves v vzorcu s 6 na 10 in več dreves, po načinu kot ga je uporabil Prodan, zaradi progresivnega povečevanja kontrolnih meritev oddaljenosti mejnega drevesa, ni prišlo v poštev (KAPUCU 1972), smo razvili zamisel o-dvojnem polkrožnem vzorcu s skupnim središčem in s po 6 dreves v vsakem polkrogu.

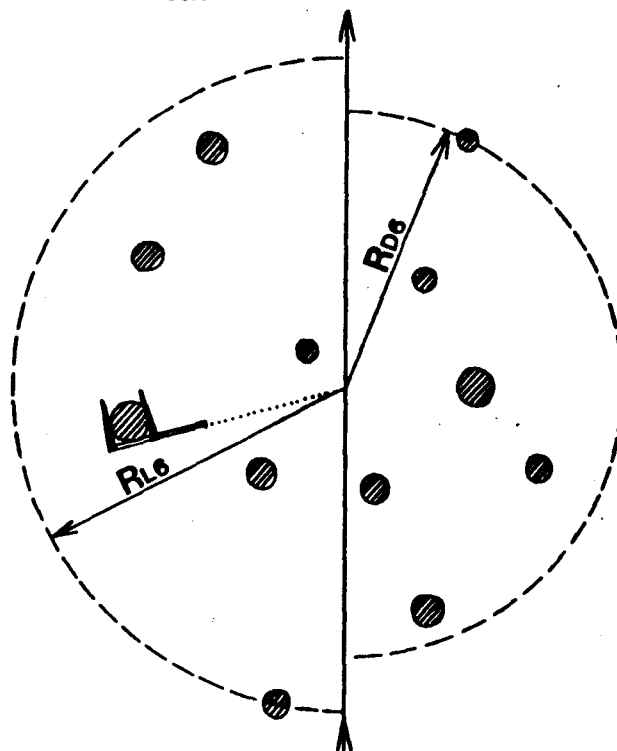
Raziskava, ki je sledila tem izhodiščnim razmišljanjem, je imela tele cilje:

- Razvoj snemalnega postopka za operativno delo na terenu.
- Ocena ekonomske učinkovitosti metode.
- Razvoj metode obdelave podatkov, izračuna srednjih vrednosti in statističnih kazalcev.
- Preveritev točnosti metode.

2 OPIS METODE 2x6 DREVES

2.1 Postopek snemanja

Vzorec sestavljata dva polkroga s skupnim središčem. Vsak polkrog šteje 6 dreves, površina vsakega polkroga je določena s polmerom (R_6), ki je enak oddaljenosti osi 6. drevesa od središča vzorca.



Slika 1: Postopek snemanja pri metodi 2x6 dreves

Bild 1: Aufnahmeverfahren bei der Methode 2x6-Baume

Terensko snemanje izvaja skupina, ki jo sestavljata zapisnikar in merilec. Bistvene delovne faze pri terenskem delu so:

- Namestitev vzorca: Prenos središča vzorca (vzorčne mreže) s karte na teren s pomočjo kompasa in merilne vrvice.
Pri prihodu na stojišče vzorca tega razdelimo na dve polovici tako, da merilno vrvico potegnemo približno za domnevno razdaljo R_6 prek središča v smeri pomika med vzorčnimi ploskvami.
- Snemanje v levem polkrogu:
 - Določitev oddaljenosti 6. drevesa od središča vzorca in izmera polmera R_{6L}
 - Izmera $d_{1,3}$ šestega drevesa
 - Izmera preostalih petih dreves v poljubnem vrstnem redu
- Snemanje v desnem polkrogu:
 - Ponovimo postopek, opisan za levi polkrog
- Popis ploskve in posebne meritve (prirastek, višina)

Pri snemanju na nagnjenem terenu skušamo razdaljo do 6. dreves izimeriti vodoravno, če to ni izvedljivo, izmerimo razdaljo vzporedno s terenom (R'_6) in določimo naklon (v smeri 6. drevesa!). Horizontalni polmer izračunamo po obrazcu:

$$R_6 = R'_6 \cdot \cos \alpha$$

Na zelo strmem terenu so razlike med R'_6 in R_6 lahko precejšnje, vedno pa velja, da je za določitev 6. drevesa pomembna vodoravna oddaljenost drevesa od središča (Pozor: R'_5 je lahko večji kot R_6 !).

2.2 Obdelava podatkov

Vsak polkrog predstavlja polovico idealnega polnega kroga, ki ima glede na razdelilno linijo zrcalno strukturo. To pomeni, da dve drevesi stojita točno na mejni razdalji R_6 in ju zato upoštevamo le polovično. Temeljnico vzorca 2×6 (g_j) torej izračunamo kot vsoto temeljnic dreves v obeh polkrožnih ploskvah po obrazcu:

$$g_j = \sum_{i=1}^5 g_{Li} + 1/2 * g_{L6} + \sum_{i=1}^5 g_{Di} + 1/2 * g_{D6} \quad 1)$$

Površina vzorčne ploskve je določena z izrazom:

$$P_j = \pi/2 * (R_L^2 + R_d^2) \quad 2)$$

Poprečne vrednosti ureditvene enote lahko računamo na dva načina:

2.2.1 Izračun aritmetične sredine:

$$G/ha = 1/n * \sum_{j=1}^n G/ha_j \quad 3)$$

pri čemer G/ha_j običajno računamo kot $G/ha_j = 10\,000 * (g_j/P_j)$.

V nadaljevanju prispevka bomo prikazali še regresijski način določanja G/ha_j vrednosti.

Ocena G/ha je obremenjena z vzorčno napako, ki jo računamo z običajnimi obrazci matematične statistike za slučajnostno vzorčenje.

2.2.2 Tehtana sredina:

Ker se površina vzorčnih ploskev spreminja v odvisnosti od gostote sestoja (sestojnega tipa), to pomeni, da je stopnja vzorčenja v različnih delih gozda različna. To dejstvo do neke mere upošteva izračun tehtane sredine, ki daje večjim vzorcem večjo težo kot manjšim. Tako izračunane ocene so torej nepopačene, če se temeljnica vzorca (g_j) spreminja skladno s površino vzorca in če velja $g_j = 0$ pri $P_j = 0$. Tehtano srednjo vrednost računamo po obrazcu (Loetsch 1964):

$$G/ha_T = \frac{\sum_{j=1}^n g_j}{\sum_{j=1}^n p_j} = \frac{g_j}{p_j} \quad 4)$$

Varianco tako izračunane ocene ocenimo po obrazcu:

$$s_{gT}^2 = s_G^2 + s_p^2 - 2 * r * s_G * s_p$$

Izračun lesne zaloge poteka slično kot pri temeljnici, s tem da oznake za temeljnico v zgornjih obrazcih nadomestimo z oznakami za lesni volumen (v_j v m^3) in lesno zalogo (V/ha v m^3/ha).

V zgornjih izračunih uporabljene okrajšave pomenijo:

n	= število vzorcev
g_j	= vsota temeljnic dreves v vzorcu (m^2)
G/ha_j	= temeljnica vzorca na ha (m^2/ha)
G/ha	= poprečna temeljnica obračunske enote (m^2/ha)
P_j	= površina vzorca (m^2)

i	= indeks drevesa v vzorcu
j	= indeks vzorca
$s_g \%$, $s_p \%$	= koeficient variacije za g in P
r	= korelacijski koeficient med g in P

3 PREIZKUS METODE

3.1 Zasnova raziskave

Tehnološke in metodološke vidike razvite metode smo preverili s poskusnim snemanjem v bukovih in jelovo bukovih gozdovih na območju gozdnega gospodarstva Ljubljana, kjer je metoda stalnega števila drevja osnovni način vzorčne izmere sestojev.³

Posneti sestoji so tipični za gozdove ljubljanskega gozdnega gospodarstva, podobne pa najdemo tudi v ostalih kolinskih predelih osrednje Slovenije. Najpomembnejši dendrometrijski znaki poskusnih sestojev so razvidni iz razpredelnice 1.

Terenski del raziskav je obsegal snemanje na 94 vzorčnih ploskvah, razporejenih na vzorčni mreži 100x100 m v treh oddelkih z različno sestojno zgradbo. Na vsaki vzorčni ploskvi (odvisno od oddelka je velikost vzorčnih ploskev znašala 3 do 5 arov) je bil izvršen popis ploskve, izmerjeni prsni premeri na cm natančno in določena lega dreves na ploskvi s polarnimi koordinatami (α , razdalja do središča vzorca).

Razpredelnica 1: Dendrometrijski kazalci poskusnih sestojev

Tabelle 1: Dendrometrische Merkmale der Versuchsbestände

Sestojni tip r. faza x sklep	n	d ¹	N/ha ²	G/ha ²
1 drogovnjak — normalen	15	17,86	1035	29,27
2 drogovnjak — rahel	18	19,20	614	20,33
3 debeljak — normalen	21	26,55	497	34,13
4 debeljak — rahel	94	24,65	534	27,53

Opomba:

— drogovnjaki: pretežno listavci, bukovi sestoji

— debeljaki: pretežno iglavci, jelka, smreka s primesjo bukve

¹ variabilnost premerov posameznih vzorcev: $d_{\min} = 10-20$ cm, $d_{\max} = 25-77$ cm

² ocena na podlagi snemanja v odmerjenih vzorčnih ploskvah

³ Gozdnemu gospodarstvu Ljubljana se za pomoč in sodelovanje pri izvajanju terenskega dela raziskave najtopleje zahvaljujemo.

S posebnim računalniškim programom smo nato za vsako stojišče simulirali različne izbore dreves. Proučevali in primerjali smo ocene temeljnice (g, G/ha) in števila drevja (N/ha) pri naslednjih vzorčnih metodah:

- Metoda odmerjenih vzorčnih krogov s površino 3 arov (Modm)
- Metoda 6-dreves (M6)
- Metoda 2x6-dreves (M2x6)
- Metoda 12-dreves (M12)

Kot referenčno metodo, s katero smo primerjali ocene ostalih postopkov, smo vzeli metodo odmerjenih vzorcev s površino 3 arov, za katero velja, da je teoretično neporečna. Opisani raziskovalni pristop je zaradi načela parnih primerjav z velikim številom ponovitev zelo razširjena metoda (Grosenbaugh in dr. 1957, Mahrer in Vollenweider 1983) ter metodično in ekonomsko učinkovitejši kot primerjava s polno premerbo.

3.2 Metoda iz vrednotenja

Simulacija izbora dreves ter izračun dendrometrijskih vrednosti posameznih vzorcev je bil opravljen na velikem računalniku DEC-10 Univerzitetnega računalniškega centra. Programe je v FORTRAN programskem jeziku izdelal mgr. V. Puhek z VTOZD za gozdarstvo, kateremu se za sodelovanje najtopleje zahvaljujem. Nadaljnje obdelave in statistični izračuni so potekali na IBM kompatibilnem AT računalniku z DBASE 3+, grafičnimi in statističnimi programi. Na malem računalniku je praktično hkrati potekala celotna redakcija in zadnja faza obdelave podatkov, s čimer je bila dana do sedaj neslutena možnost celostne obdelave podatkov, izračuna in preverjanja različnih hipotez. Pričujoča objava vsebuje le majhen, najbolj zanimiv del celotnega gradiva.

3.3 Rezultati raziskav

3.3.1 Ocena dendrometrijskih znakov

Oglejmo si najprej praktične vidike uporabe nove metode, snemanja kamor sodijo kakovost ocene srednjih vrednosti in ekonomska učinkovitost postopka. Bistvene kazalce primerjave proučevanih metod vsebuje razpredelnica 2.

Razpredelnica vsebuje ocene za tri bistvene inventurno-dendrometrične kazalce P (površina vzorca v m²), N/ha (število dreves na ha) in G/ha (temeljnice v m²/ha) ter bistvene statistične parametre teh ocen. V zadnjem stolpcu je podana za vsako od predstavljenih metod še ocena potrebnega števila vzorcev za določitev temeljnice

Razpredelnica 2: Primerjava ocen in statističnih parametrov različnih metod vzorčne inventure (ves gozd)

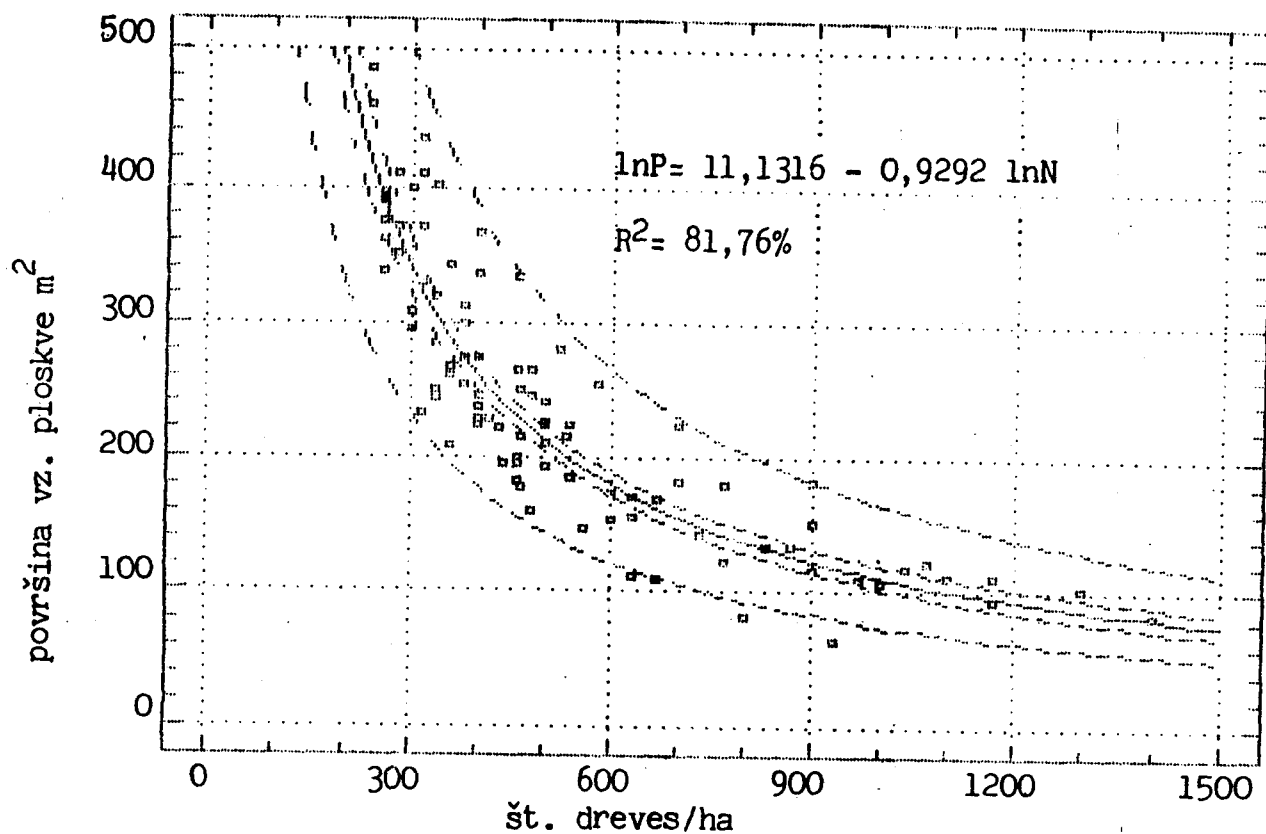
Tabelle 2: Vergleich der Schätzwerte und der statistischen Kennwerte unterschiedlicher Stichprobeninventurverfahren

metoda	statistični kazalci	površina vz. pj v m ²	št. dreves N/ha	temeljnica G/ha	potrebno št. vzorcev n za S = 5 %
M odm	x	300	534	27,53	
	s	0	262,43	8,36	n = 37
	s %	0%	49%	30%	št. dreves = 37x16 = 592
	S	0%	27,07	0,86	poraba časa:
	min.—maks.	300—300	240—1400	9,3—49,1	37x30 = 1100 min (18,5 h)
M 6	x	126	579	27,12	
	s	65,31	349,97	12,62	n = 87
	s %	52%	60%	46%	št. dreves = 87x6 = 522
	S	6,74	36,10	1,30	poraba časa:
	min.—maks.	28—360	153—1945	4,95—68,95	87x10 = 870 min (14,5 h)
M 2x6	x	241	558	28,41	
	s	99,57	282,90	9,40	n = 43
	s %	41%	50,1%	33%	št. dreves = 43x12 = 516
	S	10,27	29,18	0,97	poraba časa:
	min.—maks.	64—487	226—1728	8,44—57,51	43x15 = 465 min (10,75 h)
M 12	x	255	553	27,27	
	s	104,86	290,57	9,09	n = 43
	s %	41%	53%	33%	št. dreves: 43x12 = 516
	S	10,82	29,97	0,94	poraba časa:
	min.—maks.	66—491	234—1730	7,73—57,41	43x18 = 774 min (12,5 h)

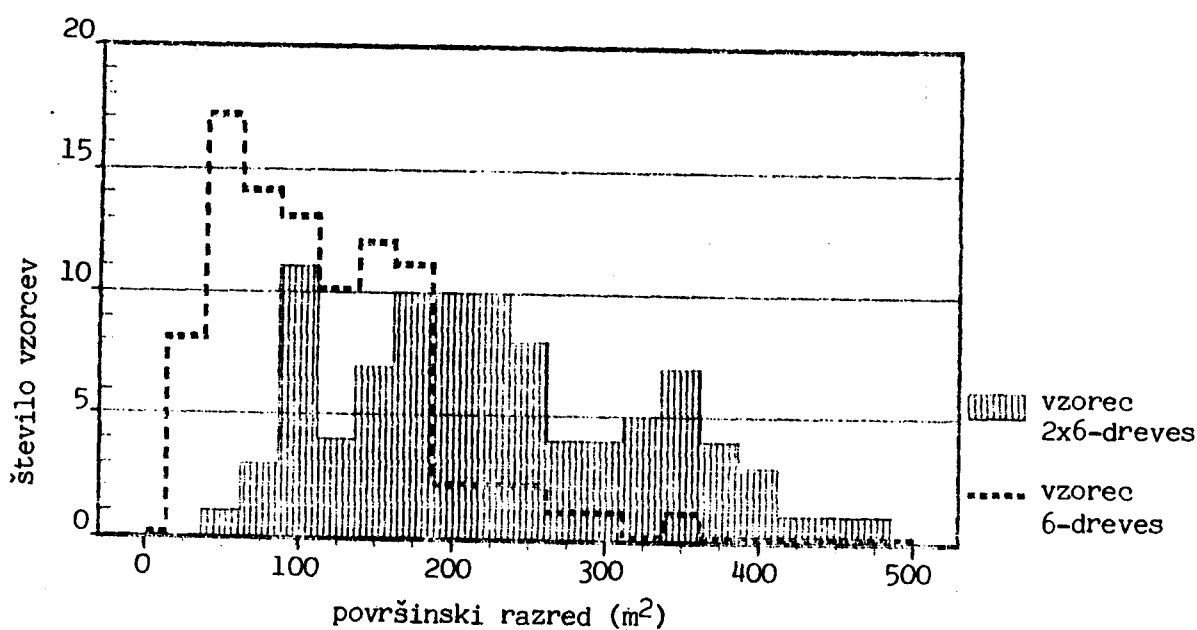
G/ha, z natančnostjo katere standardna napaka ne presega 5 %. Bistveni znaki so prikazani tudi v slikah 2 do 7.

V velikosti vzorčnih ploskev obstajajo med metodami bistvene razlike. Pri metodi odmerjenih vzorčnih ploskev je površina vzorca stalna in meri 300 m², spreminja pa se število dreves, ki jih vzorec zajema (7 do 42, v poprečju 16 dreves/vzorec). Pri ostalih treh metodah je število dreves na ploskvi stalno (6 oziroma 12 dreves), spreminja pa se velikost vzorčne ploskve. Med velikostjo vzorca in gostoto sestoja (slika 2) obstaja povezava, ki je pri metodi 2x6 dreves zelo tesna ($r = -0,90$) pri metodi 6-dreves pa ohlapnejša ($= -0,74$). V velikosti vzorčnih ploskev metod M2x6 in M12 ni značilnih razlik pa tudi varianci sta enaki ($s \% = 41$), kar potrjuje enakovrednost metod 2x6-dreves in 12-dreves. Bistveno višji je koeficient variacije pri metodi 6-dreves.

Na sliki 3 je prikazana frekvenčna porazdelitev vseh ploskev vzorčne populacije za M6 in M2x6 metodo po površinskih razredih. Očitna je velika razlika med obema frekvenčnima krivuljama: medtem ko je porazdelitev ploskev pri M6 močno levo asimetrična, je porazdelitev pri M2x6 približno normalna (χ^2 -test, $p = 0,12$ n.s.).

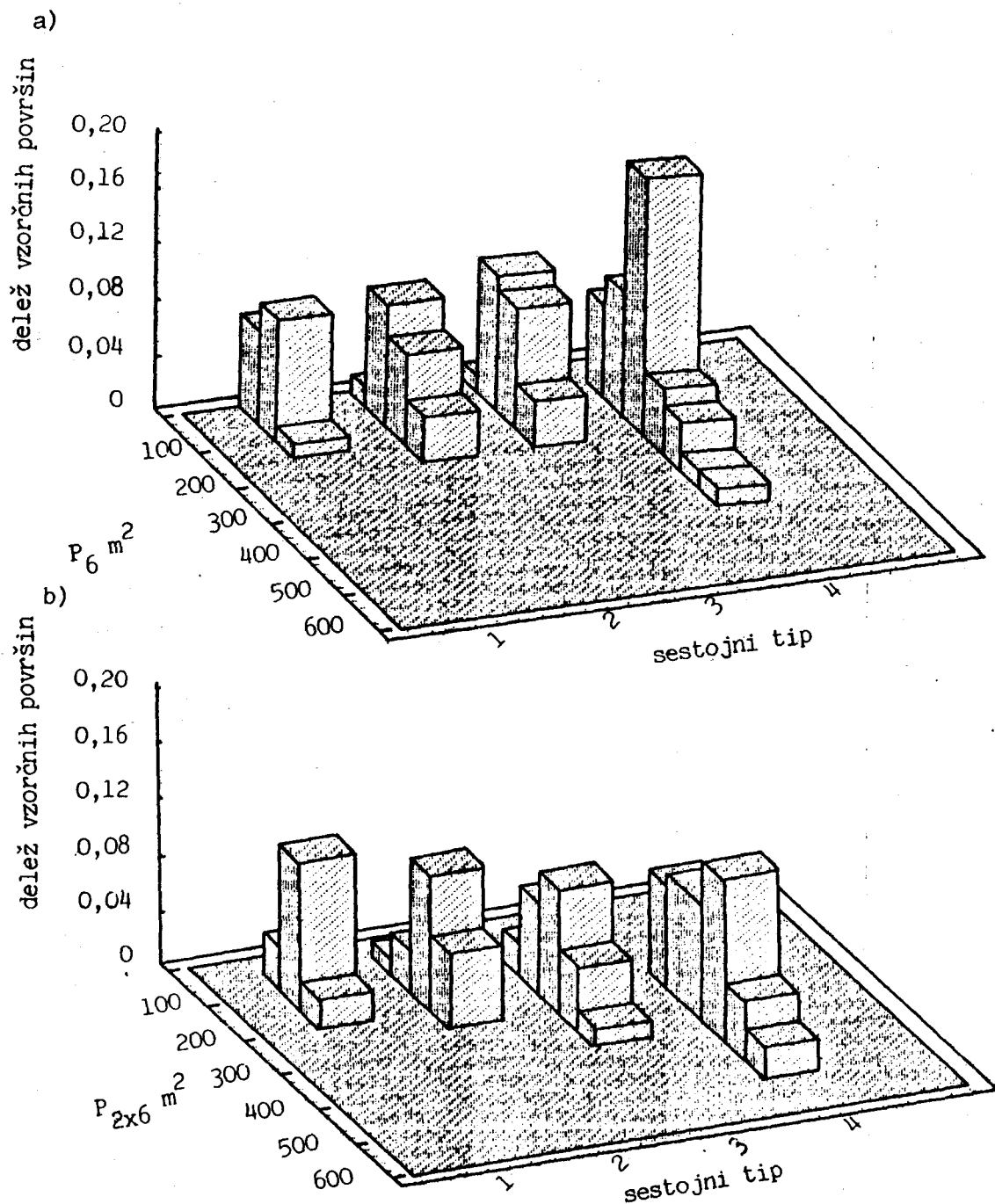


Slika 2: Odvisnost velikosti vzorčne ploskve od gostote sestoja (metoda 2x6-dreves)
 Bild 2: Die Abhängigkeit der Grösse von Stichprobenfläachen von der Stammzahl (Methode 2x6-Baume)



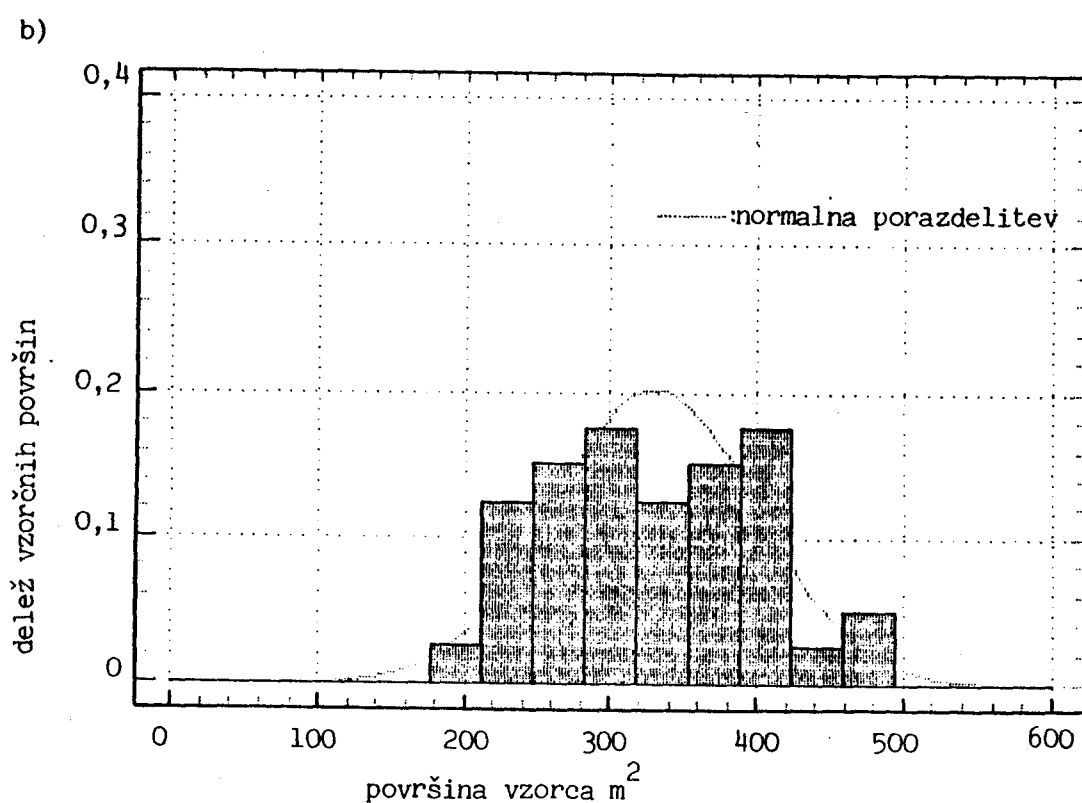
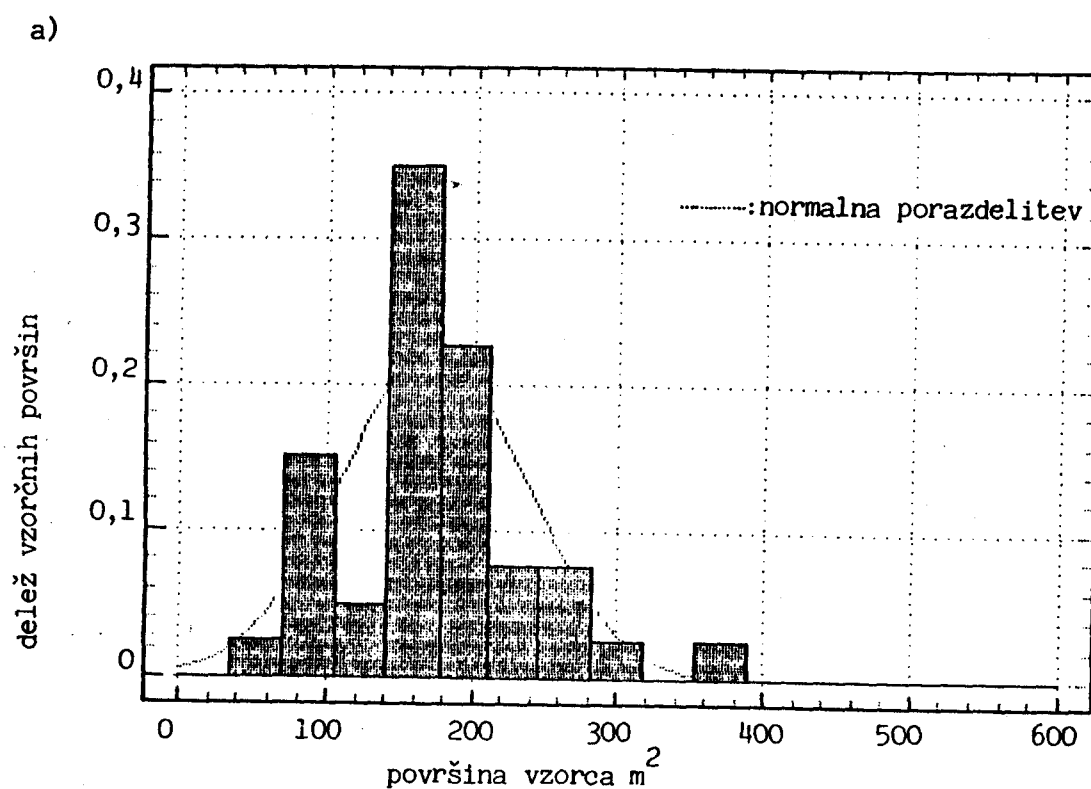
Slika 3: Porazdelitev velikosti vzorčnih ploskev po površinskih razredih
 Bild 3: Verteilung der SP-Fläachen nach Grössenkategorien

Kakovost ocene pri metodah stalnega števila drevja (kamor sodi tudi možnost pojava sistematičnih napak) je v veliki meri pogojena s porazdelitvijo vzorčnih površin. Pomembna je čim bolj normalna porazdelitev znotraj stratumov (Kapucu 1972, Hirner 1978). Naše raziskave porazdelitve po sestojnih tipih kažejo, da je ta pogoj najbolj izpolnjen pri metodi 2x6 dreves, vendar tudi pri M6 nismo ugotovili značilnih razlik (sliki 4a in 4b).



Slika 4: Frekvenčna porazdelitev vzorčnih površin po sestojnih tipih (a: metoda 6-dreves, b: metoda 2x6 dreves)

Bild 4: Verteilung der SP-Flächen nach Bestandestypen (a: Methode 6-Baueme b: Methode 2x6-Baueme)



Slika 5: Frekvenčna porazdelitev velikosti vzorčnih površin v stratumu debeljakov z rahlim sklepom (a: metoda 6-dreves, b: metoda 2x6-dreves)

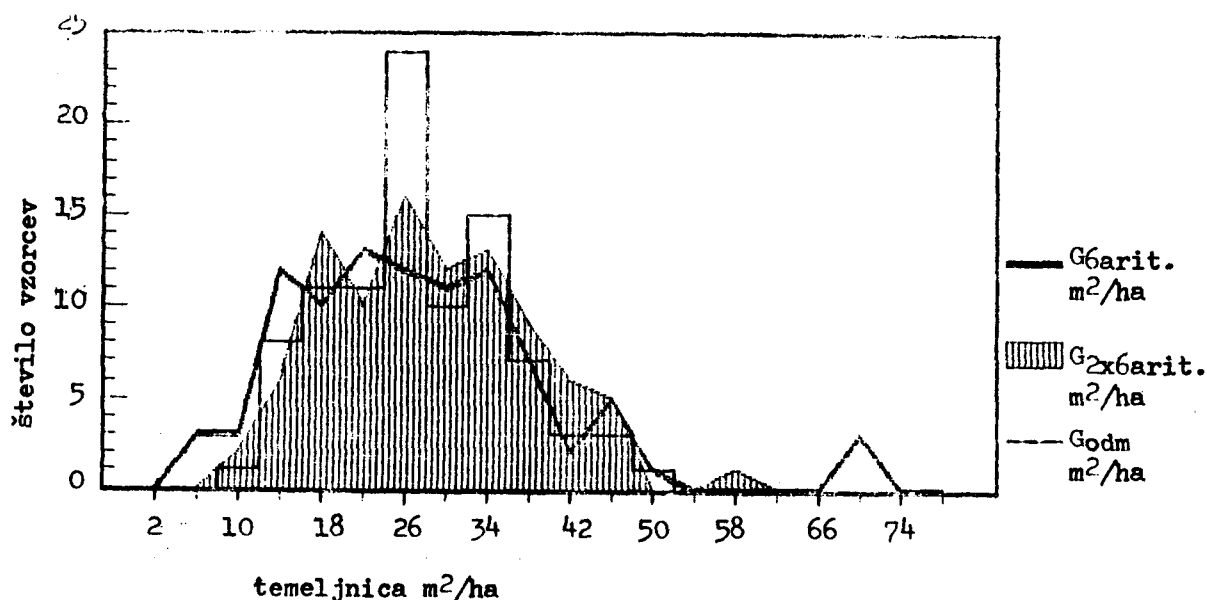
Bild 5: Verteilung der SP-Flächen nach Größe innerhalb Stratums aufgelockertes Baumholz (a: Methode 6-Baeume, b: Methode 2x6-Baeume)

Podrobne primerjave danih porazdelitev z normalo so bile opravljene za nekatere izbrane stratume z zadostnim številom vzorcev. Na slikah 5a in 5b je prikazana porazdelitev v debeljakih z rahlim sklepom. Porazdelitev pri obeh metodah ne odstopa od normale (χ^2 -test: M2x6 $p = 0,48$ in M6 $p = 0,25$).

Med ocenami za N/ha in G/ha (aritmetična sredina za ves gozd), ugotovljenimi z različnimi metodami, ni značilnih razlik. Razlike so absolutno in relativno zelo majhne.

Najvišjo oceno temeljnice (G/ha) smo dobili z metodo 2x6-dreves (103 % glede na Godm/ha), vendar razlika ni značilna (parna primerjava: verjetnost HO-hipoteze $p = 0,25$). Pač pa se ocene bistveno razlikujejo v velikosti koeficienta variacije, ki s številom dreves v vzorcu pada, kar je v skladu z dosedanjimi ugotovitvami (Freese, 1961). Koeficient variacije se giblje v mejah od 30 % (Modm) do 46 % (M6), kar so sorazmerno nizke vrednosti.

Podrobnejši vpogled v variabilnost posameznih vzorčnih ploskev dobimo na sliki 6, ki prikazuje frekvenčno porazdelitev temeljnic vseh treh metod snemanja. Medtem ko sta si porazdelitvi za G2x6/ha in Godm/ha zelo podobni (oblika in razpon porazdelitve), je porazdelitev pri M6 pomaknjena v smer manjših vrednosti, bistveno širši pa je tudi razpon med ekstremnimi vrednostmi.



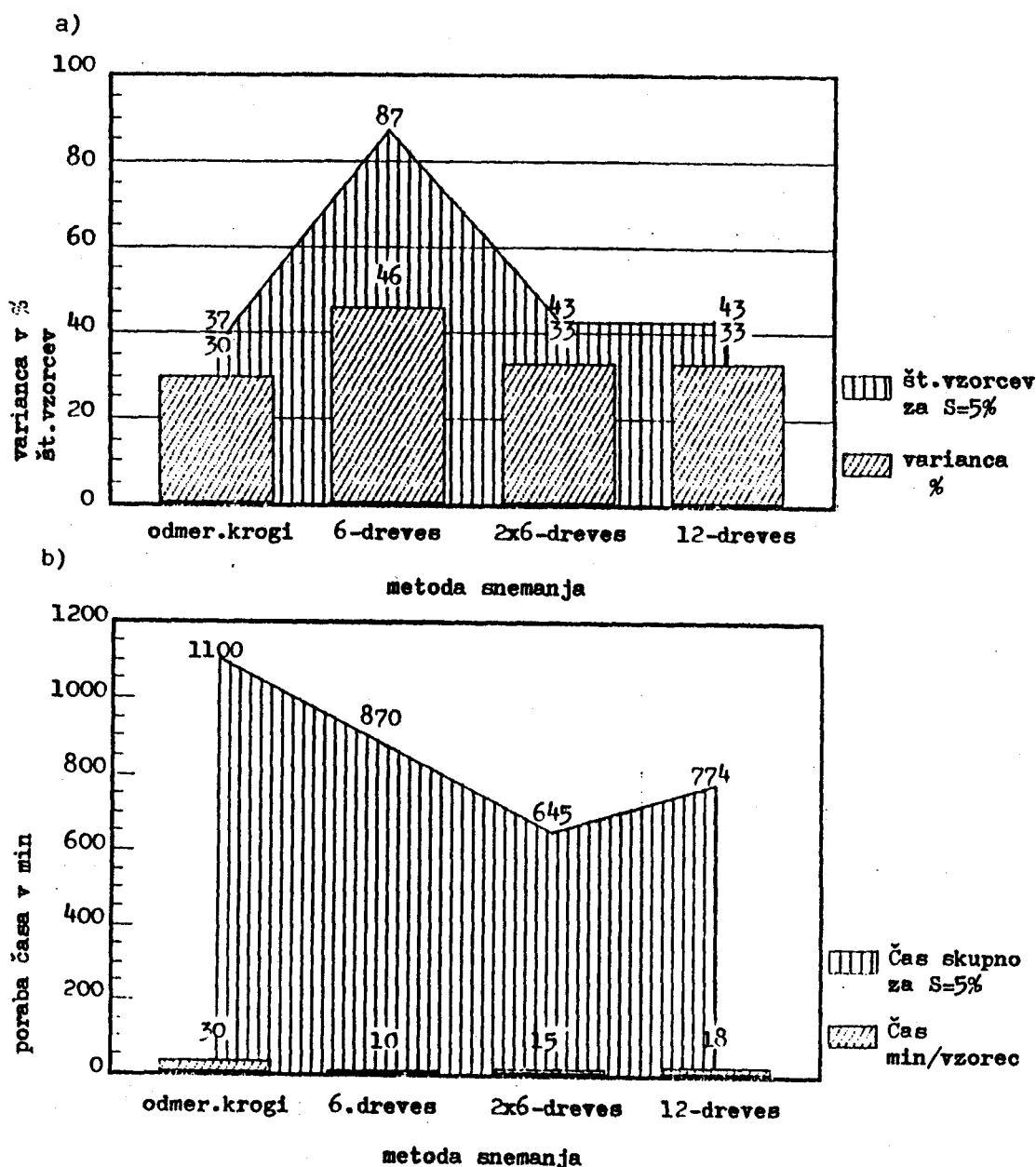
Slika 6: Frekvenčna porazdelitev temeljnice. Primerjava ocen, ugotovljenih z različnimi vzorčnimi metodami.

Bild 6: Verteilung der Grundflaechen fuer untersuchte Stichprobenverfahren

Na podlagi koeficientov variacije, zahtevane točnosti in porabe časa za snemanje z različnimi metodami je mogoče opredeliti ekonomsko najbolj zanimivo metodo.

Elementi za optimiranje so razvidni iz razpredelnice 2 in slik 7a in 7b. Poraba časa za snemanje enega vzorca pri posameznih metodah je ocenjena na podlagi izkušenj GG Ljubljana in lastnih snemanj.

Izračun kaže, da je za oceno temeljnice najugodnejša metoda 2x6 dreves. Približno isti rezultat bi dobili za oceno lesne zaloge, za katero je znano, da je močno korelirana s temeljnico, koeficienti variacije pa so običajno nekoliko višji (3 do 6 %). Še bolje bi se odrezala metoda 2x6 dreves, če bi vzeli kot kriterij koeficient variacije ocen števila drevja (N/ha).



Slika 7: Optimiranje metode vzorčnega snemanja
 a) Statistični parametri vzorčnih metod, b) Poraba časa
 Bild 7: Wahl des geeigneten Stichprobeerfahrens
 a) Statistische Kennwerte, b) Zeitaufwand

3.3.2 Zanesljivost ocene in možnost pojava sistematičnih napak

Čeprav naše raziskave na ravni celotne populacije (gozda) niso razkrile značilnih razlik med ocenami dendrometričnih parametrov, dobljenimi z različnimi metodami, smo v nadaljevanju raziskave skušali s poglobljenimi analizami osvetliti odnose med kakovostjo ocen in nekaterimi strukturnimi značilnostmi populacije in stratumov, na podlagi katerih bi lahko ocenili možnost pojava in velikost sistematičnih napak. Obenem smo v sklopu te študije podrobno obdelali vprašanje izračuna srednjih vrednosti z različnimi metodami.

3.3.2.1 Izračun srednjih vrednosti

V poglavju 2.2. smo nakazali dva možna postopka izračuna srednjih vrednosti obračunskih enot. Postopek izračuna aritmetičnih sredin je običajen način obračunavanja podatkov pri vzorčnih inventurah v gozdarstvu in temu so prilagojeni tudi vsi računalniški programi. Postopek sloni na izračunu hektarskih vrednosti dendrometrijskih elementov (N/ha, G/ha, V/ha) za posamezne vzorce v prvi fazi in oceni njihove poprečne sredine za obračunsko enoto na podlagi izračuna aritmetične vrednosti. Opisani postopek daje pri metodi 6-dreves često previsoke ocene (Kapucu 1972: 5 do 10 %), vendar tega rezultati naše raziskave ne potrjujejo.

Da bi se izognili precenjevanju, predlagajo nekateri avtorji (Ko in dr., 1969) izračun poprečne vrednosti obračunske enote kot tehtane sredine, ki daje večjo težo podatkom, pridobljenim na večjih vzorčnih ploskvah (poglavje 2.2.). Ker se pogosto dogaja, da dobimo velike vzorčne površine v vrzelastih delih gozda (ha vrednosti takih vzorcev so nizke), je razumljivo, da so tako izračunane poprečne vrednosti manjše kot po metodi aritmetičnih sredin. Iz izkušenj in literature (KAPUCU 1972) vemo, da je ta razlika precejšnja, saj znaša do 20 %. Naše raziskave te ugotovitve potrjujejo. Pri metodi 6-dreves je bila tehtana sredina za 6,6 % nižja od aritmetične, vendar je statistično ni bilo mogoče potrditi. Bistveno manjša je bila razlika pri metodi 2x6-dreves (-2,9 %). Pri metodi tehtanih sredin vrednosti za posamezne vzorce ne poznamo (npr.: V/ha), kar prinaša nevšečnosti pri nadaljnji interpretaciji inventurnih podatkov. Povsem nov pristop zahteva tudi izračun statističnih kazalcev.

Zaradi vseh omenjenih razlogov smo iskali metodo izračuna, ki bi združevala prednosti obeh omenjenih postopkov in imela obenem čim manj pomanjkljivosti. Mislimo, da to v veliki meri velja za postopek regresijskih vrednosti, ki sicer v literaturi ni neznan, vendar za reševanje problema neenakih površin pri obračunu podatkov pri metodah stalnega števila drevja doslej, kolikor nam je znano, ni bil proučen (velja za dosegljivo literaturo). Osnovne značilnosti regresijskega postopka bomo predstavili na primeru izračuna temeljnice pri metodi 2x6 dreves:

- Temeljnico (G/ha) vsakega posameznega vzorca izračunamo tako, da računsko projeciramo (niveliramo) temeljnico vzorca (vsota temeljnic vseh dreves v vzorcu) na poprečno vzorčno površino stratuma, s tem da upoštevamo površino vsakega posameznega vzorca kot kovariablo. Računamo po obrazcu:

$$G_{Rj}/ha = 10\,000 * [(g_j + b (P - P_j))/P]$$

pri čemer velja:

- G_{Rj} = regresijska vrednost temeljnice vzorca j v m²/ha
 g_j = vsota temeljnic posameznih dreves v vzorcu je v m²
 b = regresijski koeficient povezave: $g_j = f(p_j)$
 P = Poprečna površina vzorca (populacije, stratuma) v m²
 P_j = površina vzorca j v m²

Razpredelnica 3: Regresijska in korelacijska povezava med temeljnico vzorčnih ploskev (m²) ter površino vzorcev pri metodah stalnega števila drevja M6 in M2x6

Tabelle 3: Regression und Korrelation zwischen Grundflaeche (m²) und Groesse der SP-Flaeche (m²) fuer die Methoden 6-Baume und 2x6-Baume

metoda	parameter - ocena	parameter SE	korelacijski koeficient r SE regresija	verjetnost HO za a in b
metoda 2x6 dreves	a = 0,06846 ¹	0,06258	r = 0,7372	p = 0,2770
	b = 0,00251	0,00024	SE = 0,23075	p = 0,0000
metoda 6-dreves	a = — ²	—	r = 0,90720	p = 0,0000
	b = 0,00276	0,00009	SE = 0,2310	p = 0,0000
metoda 6-dreves	a = 0,07678 ¹	0,03474	r = 0,6415	p = 0,0290
	b = 0,00196	0,00024	SE = 0,1537	p = 0,0000
metoda 6-dreves	a = — ²	—	r = 0,8317	p = 0,0000
	b = 0,00244	0,00011	SE = 0,1569	p = 0,0000

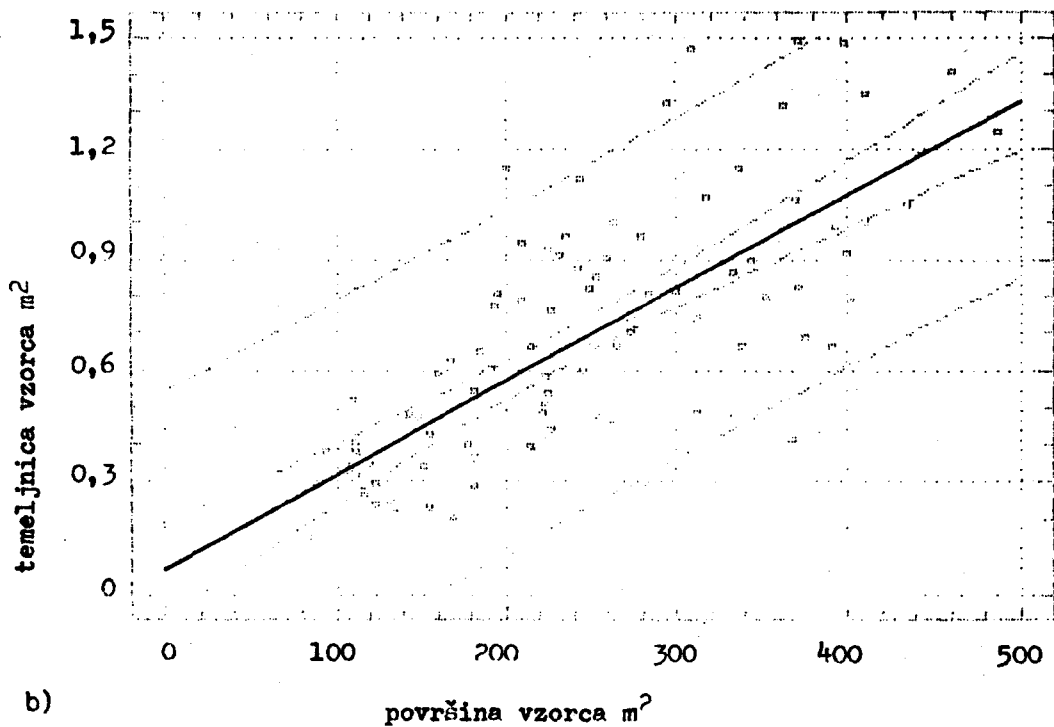
¹ $g_j = a + b \cdot p_j$

² $g_j = b \cdot p_j$

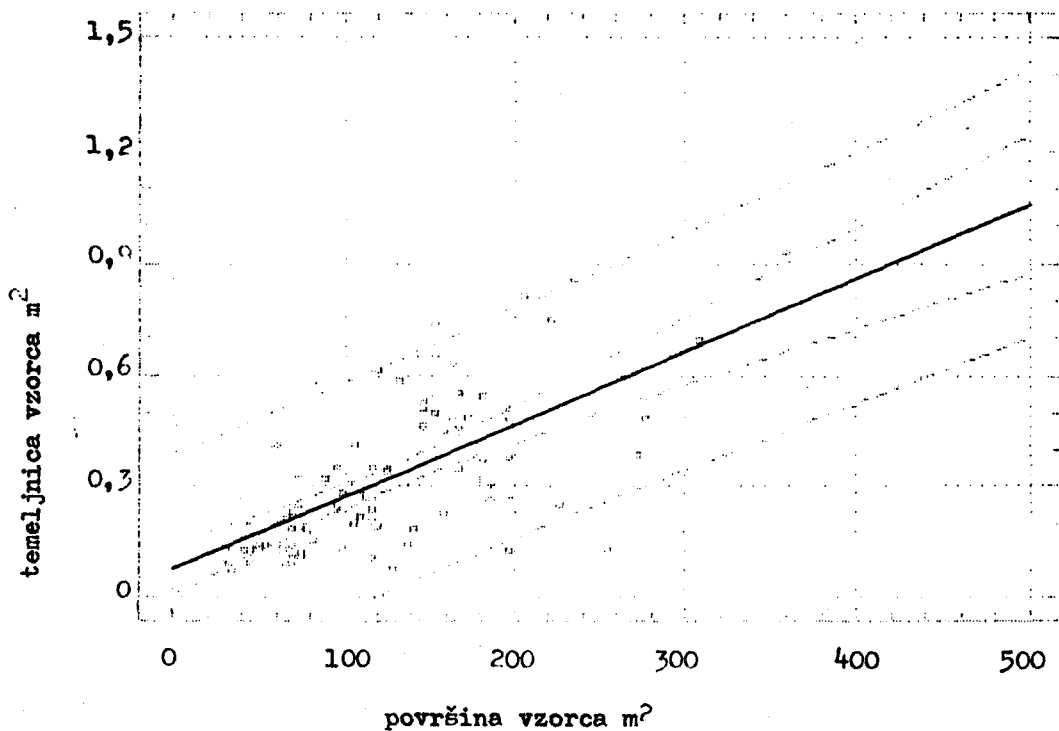
Račun zahteva poznavanje regresijske povezave med temeljnico g_j in površino vzorca P_j (razpredelnica 3, sliki 8a in 8b), ki ga lahko naredimo za cel gozd ali po stratumih. Primeren pa je predvsem izračun po posameznih stratumih, ki jih pri gozdni inventuri običajno oblikujemo z združevanjem podobnih sestojnih tipov. Regresijske vrednosti, ki jih navajamo v nadaljevanju članka, so bile izračunane na omenjeni način.

Slika 8:

a)



b)



Slika 8: Povezava temeljnice s površino vzorca
 a: metoda 2x6-dreves, b: metoda 6-dreves
 (model: $y = a + bx$; črtkano so podane meje zaupanja, $p = 0,95$)

Bild 8: Regression und Korrelation zwischen Grundflaeche
 (Summe der Baumgrundfaechen) und Groesse der SP-Flaeche
 (a: 2x6-Baeume, b: 6-Baeume)

Seveda je vsaka regresijska vrednost obremenjena z vzorčno napako, ki se prenaša na oceno poprečne sestojne vrednosti in oceno za gospodarsko enoto. Za izračun statističnih kazalcev smo uporabili postopke enostavnega slučajnostnega vzorčenja, ki se kljub temu, da ne ustrezajo povsem načelom teoretične statistike, pri gozdnih vzorčnih inventurah splošno uporabljajo (ZOEHRER 1980).

3.3.2.2 Križna primerjava prekrivanja ocen

Točnost ocen, ki smo jih dobili z metodami stalnega števila drevja, je mogoče presoditi na podlagi prekrivanja z referenčnimi vrednostmi metode odmerjenih ploskev. Kakovost prekrivanja ponazarjajo vrednosti korelacijskih koeficientov (r), potek regresijske premice, izračunane po metodi najmanjših kvadratov (model: $Y = a + b \cdot X$) in porazdelitev odklonov od regresijske premice, ki gre skozi koordinatni si-

Razpredelnica 4: Regresijska in korelacijska povezava med ocenami temeljnice G/ha, ugotovljenih z metodami stalnega števila drevja (G_6 , $G_{2 \times 6}$, $G_{2 \times 6T}$) ter metodo odmerjenih krožnih ploskev (G_{odm})

Tabelle 4: Regression und Korrelation zwischen Schätzungen der Grundflaeche (G/ha) mit der Methode der festen SP-Kreise und 2x6-Baum-, bzw. 6-Baummethode

metoda	parameter - ocena	parameter SE	korelacijski koeficient r SE regresija	verjetnost HO za a in b
metoda 2x6 dreves 2x6	a = 6,7238 ¹	2,405	r = 0,701	0,0063
	b = 0,7875	0,084	SE = 6,745	0,0000
(aritmetične vrednosti) 2x6	a = — ²	—	r = 0,946	—
	b = 1,01128	0,025	SE = 6,988	0,0000
(regresijske vrednosti)	a = 5,2368 ¹	2,091	r = 0,761	0,0140
	b = 0,8169	0,073	SE = 5,863	0,0000
	a = — ²	—	r = 0,956	
	b = 0,9912	0,022	SE = 6,027	0,0000
metoda 6-dreves (aritmetične vrednosti)	a = 11,9337 ¹	4,213	r = 0,35	0,0057
	b = 0,5515	0,146	SE = 11,81	0,0000
	a = — ²	—	r = 0,834	
	b = 0,9487	0,0439	SE = 12,253	0,0000

¹ G/ha = a + b · G_{odm} /ha

² G/ha = b · G_{odm} /ha

stem (model: $Y = b \cdot X$). Omenjeni kazalci za metodi 6-dreves in 2x6 dreves (aritmetične in regresijske vrednosti) so prikazani v razpredelnici 4.

In razpredelnice 4 je razvidno, da je korelacija ocen, dobljenih z metodo 2x6 dreves z referenčnimi vrednostmi z $r = 0,70$, razmeroma visoka ter bistveno boljša kot pri metodi 6-dreves ($r = 0,35$). To je razumljivo, saj je delež identičnih dreves (to je dreves, ki jih zajema tudi 3-arski vzorec), ki jih primerjava zajema, pri prvi bistveno višji kot pri drugi. Pri metodi 6-dreves pa so neugodnejše tudi vse druge statistične vrednosti.

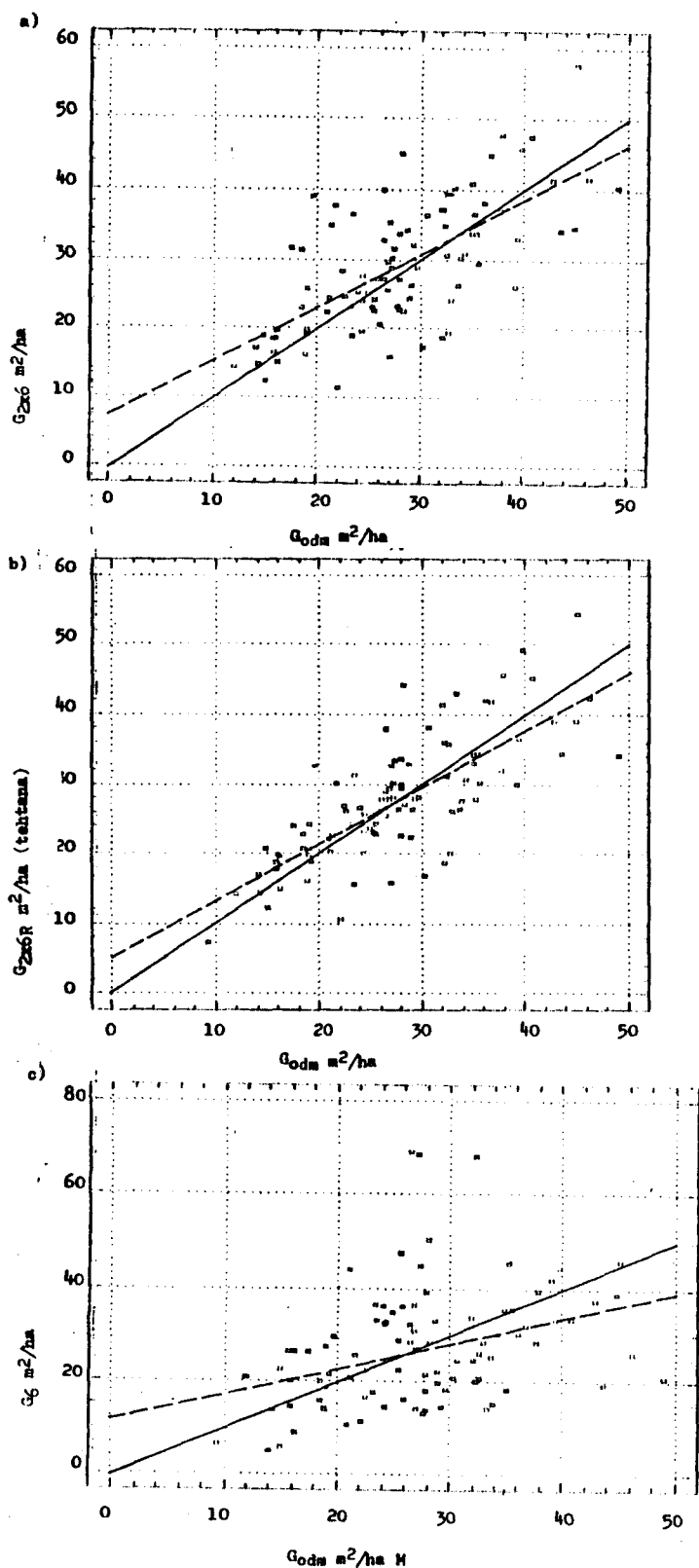
Pri metodi 2x6-dreves smo korelacijo z izbiro regresijskih vrednosti še izboljšali ($r_R = 0,76$), kar se kaže tudi v občutni izboljšavi vseh drugih statističnih parametrov. Vpogled v razporeditev posameznih vzorčnih vrednosti je mogoč na slikah 9a, b in c.

Prekrivanje ocen je seveda le delno, ker primerjamo med seboj vrednosti dveh vzorčnih metod (tudi referenčna vrednost je obremenjena z vzorčno napako), značilno razhajanje obeh premic na slikah 9a, b in c (glej tudi razpredelnico 4) pa nakazuje sistematična odstopanja. Podrobneje so ta odstopanja analizirana na slikah 10a, b in c, kjer so podani odkloni, izmerjeni od regresijskih vrednosti (kondicionirana regresijska premica z $a = 0$).

Na podlagi analize odklonov na slikah 10a, b, in c lahko ugotovimo, da je disperzija (varianca) ocen okoli regresijske premice pri metodi 2x6-dreves občutno manjša kot pri metodi 6-dreves, manj je pa tudi ekstremnih vrednosti (kar v treh primerih je bila ocena temeljnice pri M6 za 200% previsoka). Pri uporabi regresijskih vrednosti je slika še ugodnejša. Kljub temu lahko na splošno ugotovimo rahlo težnjo k precenjevanju pri nizkih in podcenjevanju pri visokih sestojnih temeljnicah. Težnja je predvsem izrazita pri M6 metodi, vendar je zaradi visoke variance ni bilo mogoče tudi statistično potrditi (glej tudi sliko 6). Kopičenje pozitivnih odklonov pri nizki sestojni temeljnici je opazno tudi pri metodi 2x6 dreves (sliki 10a in b, motijo vrednosti pri temeljnici 16 do 20 m²/ha), vendar tega analiza slike 6a za aritmetične vrednosti in slike 11 za regresijske vrednosti ne potrjujeta.

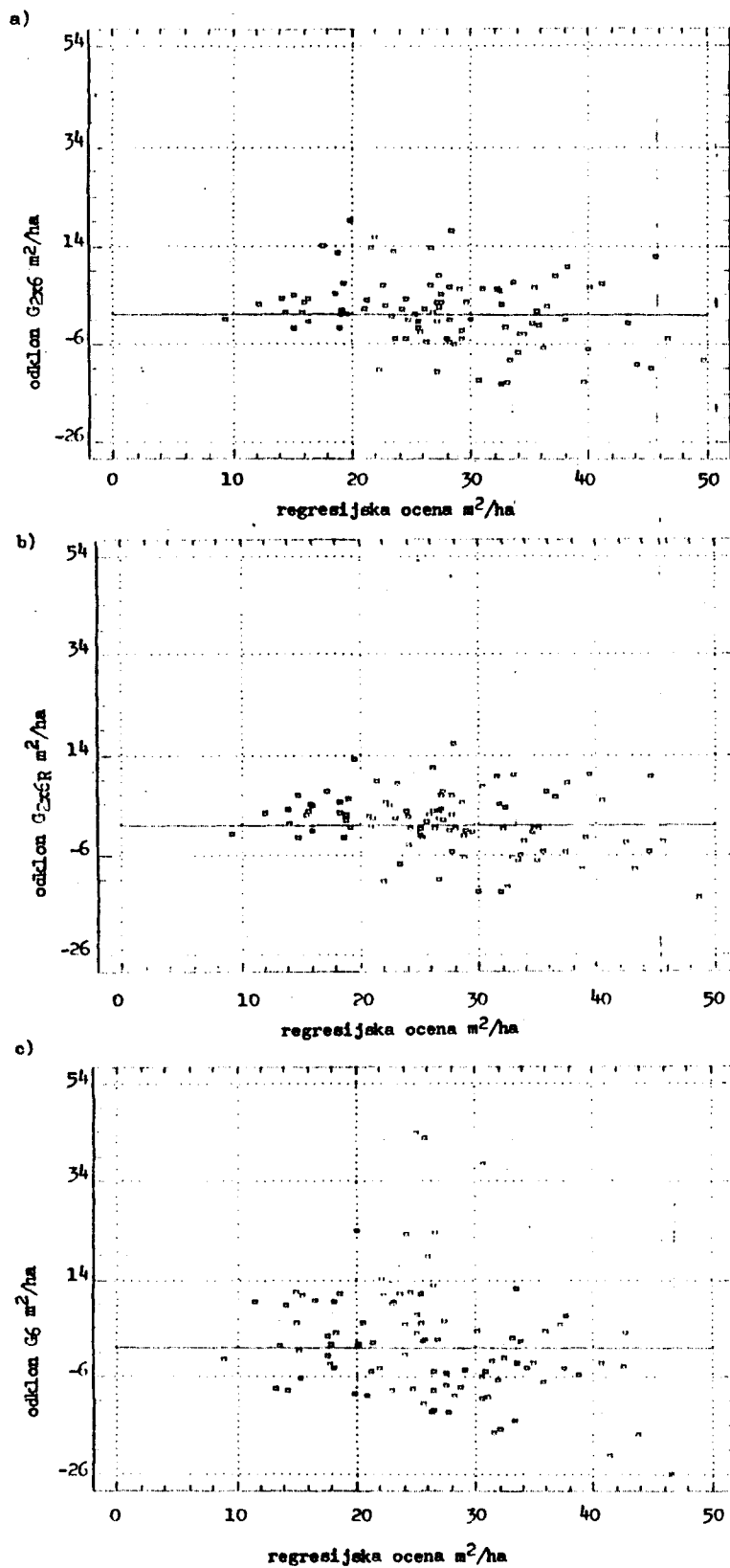
3.3.2.3 Analiza odklonov po sestojnih tipih

Da bi nakazano težnjo k sistematičnim odklonom še podrobneje proučili, smo populacijo razdelili v 4 strukturno zelo različne stratume in za vsakega posebej ponovili analizo odklonov. Stratume smo oblikovali na podlagi združevanja sorodnih sestojnih tipov v homogene skupine, kar je v gozdarstvu že ustaljen postopek.



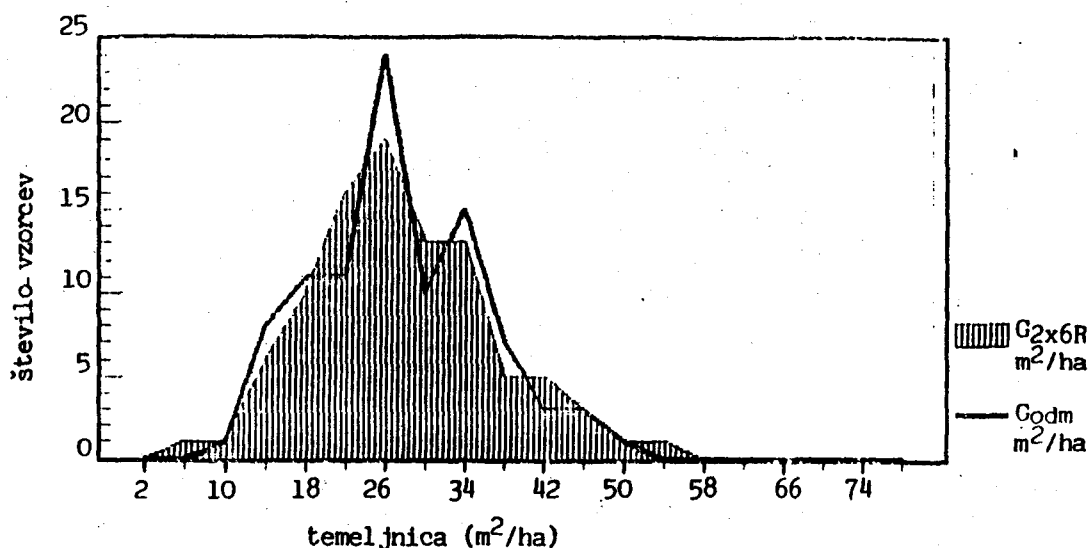
Slika 9: Primerjava ocen, ugotovljenih z različnimi metodami vzorčenja:
 a) 2x6, b) 2x6-regresijske vrednosti, c) M6 (Polna diagonalna linija nakazuje teoretično pravilen razpored vrednosti)

Bild 9: Vergleich der Schätzwerte gewonnen mit unterschiedlichen SP-Methoden:
 a) M2x6, b) 2x6-Regressionswerte, c) M6-Bäume



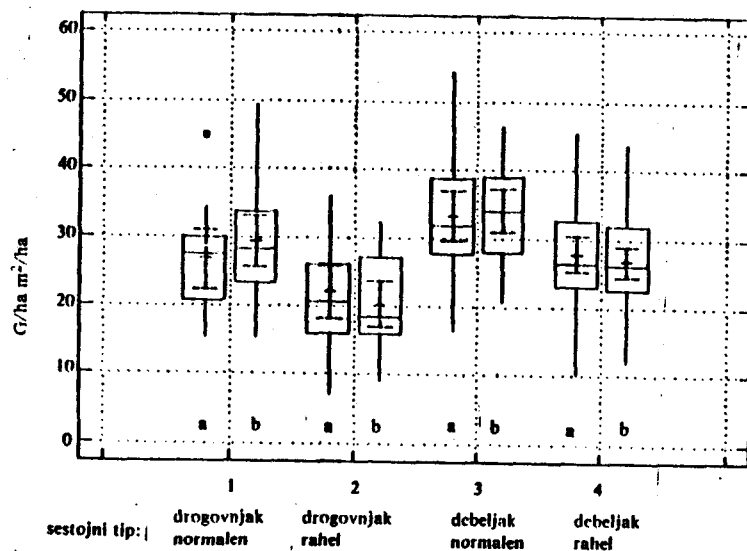
Slika 10: Odkloni izmerjenih temeljničnih vrednosti od regresijskih vrednosti (model: $y = bx$): a) 2x6, b) M2x6-regresijske vrednosti, c) M6

Bild 10: Abweichungen der Grundflaechenmesswerte von theoretischen Erwartungswerten: a) M2x6, b) M2x6-Regressionswerte, c) M6-Baeume

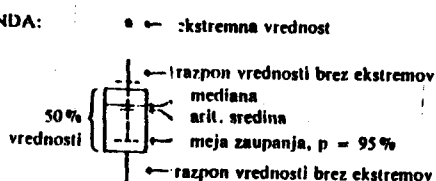


Slika 11: Frekvenčna porazdelitev temeljnica. Primerjava ocen metode 2x6-dreves (regresijske vrednosti) z vrednostmi, ugotovljenimi z metodo odmerjenih ploskev

Bild 11: Verteilung der Grundflaechen fuer die 2x6-Methode (Regressionswerte) und die Methode fester SP-Kreise



LEGENDA:



Slika 12: Primerjava ocen temeljnica in statističnih kazalcev za metodo 2x6-dreves (a: regresijske vrednosti) in metodo odmerjenih ploskev (b) po sestojnih tipih

Bild 12: Vergleich der Grundflaechenwerte und statistischer Kennwerte fuer die 2x6-Methode (Regressionswerte) und die Methode fester Stichprobenkreise

Osnovne dendrometrične kazalce izločenih stratumov povzema razpredelnica 1, iz katere je razvidno, da so strukturne razlike precejšnje. Temeljnica izločenih sestojnih tipov niha v mejah od 20,33 do 34,13 m³/ha, število drevja pa od 1035 do 328 dreves na hektar. Primerjavo ocen, ugotovljenih z metodo 2x6-dreves in metodo odmerjenih 3-arskih ploskev, daje razpredelnica 5. Pri metodi 2x6-dreves so ocene za posamezne stratum izračunane kot aritmetične sredine in kot regresijske vrednosti. Podane so tudi poprečne vzorčne površine po stratumih. Vse bistvene statistične značilnosti proučenih subpopulacij (stratumov) pa so za obe metodi poleg tega grafično prikazane na sliki 12.

Razpredelnica 5: Primerjava ocen temeljnice, dobljenih z metodo 2x6-dreves in metodo odmerjenih krožnih vzorcev za posamezne sestojne tipe (G_{2x6} /ha — aritmetične vrednosti, G_{2x6R} — regresijske vrednosti, G_{odm})

Tabelle 5: Vergleich der Grundflaechenwerte festgestellt mit der Methode 2x6-Baeume (G_{2x6} , G_{2x6R}) und der Methode fester SP-Kreise (G_{odm}) nach Bestandestypen

metoda	stratum					ves gozd 6
	1	drogovnjak 2	drogovnjak 3	debeljak 4	debeljak 5	
1	n	15	18	21	40	94
2	G_{odm} m ² /ha	29,27	20,33	34,13	26,66	27,53
3	P_{2x6} m ²	116	175	217	330	241
4	G_{2x6} m ² /ha	27,61	22,92	33,97	28,26	28,41
5	$G_{2x6} - G_{odm}$ m ² /ha	-1,66 (-5,20 do 1,88)	2,59 (-0,64 do 5,82)	-0,16 (-3,16 do 2,83)	1,59 (-1,57 do 3,76)	0,87 (-0,54 do 2,29)
6	G_{2x6}/G_{odm}	0,96 (0,82 do 1,10)	1,13 (1,00 do 1,25)	1,01 (0,89 do 1,13)	1,08 (0,99 do 1,16)	1,05 (0,99 do 1,11)
7	G_{2x6R} m ³ /ha	26,65 (22,37 do 30,93)	22,10 (18,19 do 26,00)	33,33 (29,71 do 36,94)	27,73 (25,11 do 30,35)	27,73 (26,02 do 29,44)
8	$G_{2x6R} - G_{odm}$ m ² /ha	-2,62 (-5,66 do 0,42)	1,77 (-0,01 do 4,54)	-0,80 (-3,37 do 1,77)	1,07 (0,80 do 2,93)	0,20 (-1,02 do 1,41)
9	G_{2x6R}/G_{odm}	0,93 (0,82, do 1,04)	1,08 (0,98 do 1,18)	0,99 (0,89 do 1,08)	1,06 (0,99 do 1,12)	1,02 (0,98 do 1,07)

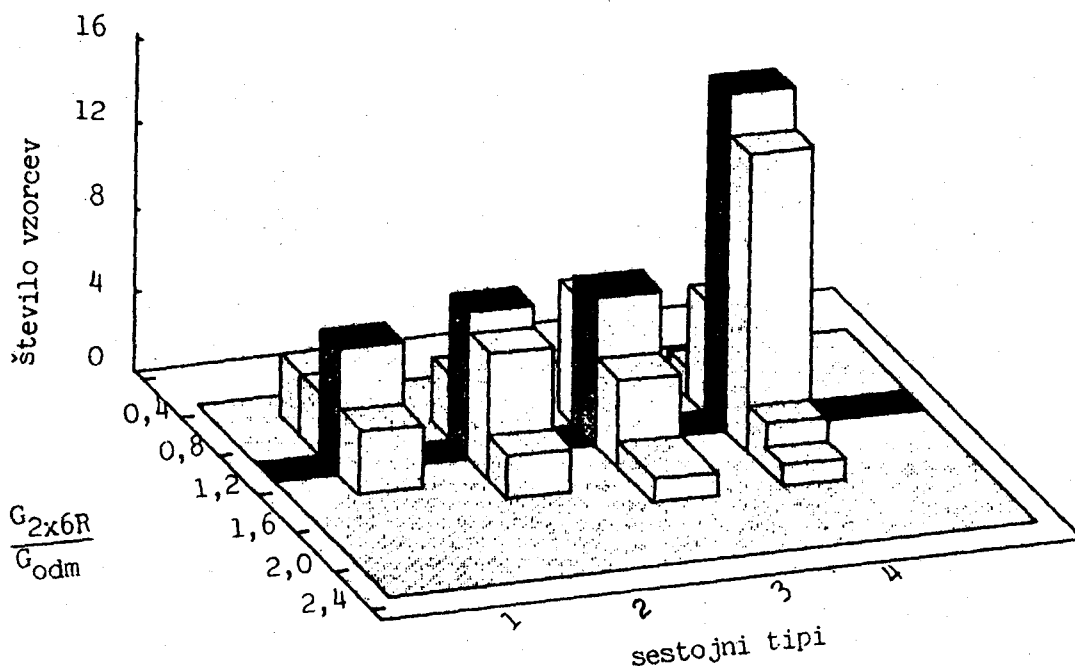
Pripomba: V oklepaju je podan interval zaupanja pri 95 % verjetnosti.

V razpredelnici 5 so prikazani rezultati primerjalne analize ocen temeljnice (G/ha) kot absolutne vrednosti, odkloni in indeksi. V oklepaju so za izbrane ocene podane

tudi meje zaupanja pri 95 % verjetnosti. Odkloni ocen temeljnice, ki smo jih ugotovili z metodo 2x6 dreves, od referenčnih vrednosti pri postopku izračuna z regresijskimi vrednostmi ne presegajo 8 %, pri aritmetičnih vrednostih pa ne 13 %. Vsi odkloni so v mejah vzorčne napake, saj niti test parnih primerjav (vrstici 5 in 8: teoretična vrednost je 0) niti količnikov (vrstici 6 in 9: teoretična vrednost je 1) nista zavržla ničelne hipoteze.

Ta ugotovitev velja tako za ocene za posamezne stratumne kot za ves gozd (stolpec 6).

Izračune potrjuje tudi grafična analiza frekvenčne porazdelitve indeksa G_{2x6R}/G_{odm} v posameznih stratumih, ki je prikazana na sliki 13. Razporeditev vrednosti znotraj posameznih stratumov ima približno obliko normalne porazdelitve.



Slika 13: Frekvenčna porazdelitev količnika G_{2x6R}/G_{odm} v posameznih sestojnih tipih. (Področje teoretično pravilne razporeditve poudarjeno izrisano.)

Bild 13: Verteilung des Ausdrucks G_{2x6R}/G_{odm} in einzelnen Bestandestypen

4 DISKUSIJA REZULTATOV RAZISKAVE

Metoda 2x6 dreves se je izkazala kot tehnološko primeren postopek za delno premerbo gozdov. Postopek ohranja vse prednosti Prodanove metode (enostavnost, hitrost, enakomerna poraba časa ne glede na razvojno fazo sestojev), je pa, vsaj v razmerah slovenskega gozda, ekonomsko učinkovitejši ter za 30 do 50 % cenejši. V Sloveniji metodo že nekaj let operativno uporabljamo pri rednih inventurah.

Najpomembnejša pomanjkljivost metode 6-dreves je možnost popačenih (bias) ocen pri določenih sestojnih strukturah zaradi značilnega snemanja drevja na neenakih vzorčnih površinah. Nobeden od do sedaj predlaganih postopkov izračuna (aritmetična tehtana sredina) tega ne rešuje zadovoljivo, vendar izkušnje kažejo, da so bili sistematični odkloni običajno v mejah vzorčne napake. Velikost sistematične napake je pozitivno sorazmerna varianci dendrometrijskega znaka, ki ga snemamo (temeljica, lesna zaloga, število drevja) in varianci vzorčnih površin (FAO 1973). Povečava vzorca s 6 na 12 dreves prinaša v tem pogledu bistvene izboljšave pri obeh parametrih in že s tem zmanjšuje velikost morebitnega biasa. Do podobnih zaključkov prihaja tudi Herbert (HERBERT in dr. 1988), ki ugotavlja zmanjševanje odklonov od referenčnih vrednosti pri povečevanju števila dreves v vzorcu od 6 na 24 dreves (rezultati analize ocen dobljenih s takoimenovano metodo minimalnega števila dreves).

Nova metoda v veliki meri, to velja predvsem za metodo regresijskih vrednosti, rešuje tudi problem pojavljanja ekstremnih ocen (outliner), ki smo jih v določenih sestojnih tipih (panjevski gozd, šopasta rast, prebiralni ali močno raznodobni sestoji) ugotavljali pri snemanjih z metodo 6-dreves. Šopi z 12 drevesi so namreč že zelo redki, še manj verjetnosti pa je, da središče vzorca pade ravno v sredino takega šopa. Običajno tako vzorec, poleg šopa, obsega tudi vrzeli med njimi, tako da so polmeri in površine teh ploskev sorazmerno veliki in v dobri povezavi z gostoto sestoja (slika 2).

Zaradi neenakih površin vzorčnih ploskev nastopajo pri metodah stalnega števila drevja težave pri ocenjevanju ploskovnih sestojnih vrednosti (G/ha, V/ha, N/ha), nasprotno pa je metoda zelo primerna za oceno deležev (v tem primeru je imenovanec, to je število drevja v ploskvah, enak, nastopajo pa težave pri odmerjenih vzorčnih ploskvah s stalno površino). Ta problem v veliki meri odpravlja metoda regresijskih vrednosti. Tako izračunane ocene imajo dve bistveni prednosti:

- ocene so neodvisne od modela, ki ga predpostavlja postopek tehtanih sredin (povezava g_j in P_j ; premica skozi sečišče koordinatnega sistema),
- za vsak vzorec dodimo oceno hektarskih vrednosti (G/ha, V/ha, N/ha), kar je pomembno pri prostorskih analizah.

Oba postopka se razlikujeta le pri izračunu vzorčnih vrednosti, medtem ko je nadaljnji izračun poprečij in statističnih podatkov za obračunsko enoto enak, kar velja tudi za tabeliranje podatkov po debelinskih stopnjah in drevesnih vrstah.

Analiza ocen, dobljenih z različnimi metodami na ravni cele populacije in posameznih stratumov, ne odkriva sistematičnih odstopanj. Če vzamemo kot merilo poprečni odklon (ta je vedno v mejah vzorčne napake), daje najugodnejše vrednosti izračun z regresijskimi vrednostmi.

Celotna analiza rezultatov in ekonomski premisleki nakazujejo nujnost stratificiranega vzorčenja tudi pri snemanjih v gozdarski operativi. Stratifikacija je potrebna že za sam izračun po regresijski metodi, je pa tudi zelo učinkovito sredstvo za znižanje vzorčne napake in izboljšanje informacijske vsebine inventurnih podatkov (HLADNIK, HOČEVAR, 1989).

Razmeroma ugodna ocena, ki smo jo dobili za metodo 2x6-dreves, velja zaenkrat strogo vzeto le za pogoje, kjer je bil opravljen preizkus, to pa je praktično za tip bukovih in jelovo bukovih gozdov osrednje Slovenije. Za močnejše posplošenje so pa vsekakor potrebne dodatne raziskave v gozdovih s poudarjeno šopasto ali prebiralno zgradbo, ki jih načrtujemo že v bližnji prihodnosti.

5 SKLEP

Metoda 2x6-dreves se je izkazala kot tehnično primeren postopek za delno premero gozdov. Terensko snemanje je enostavno in hitro, delovni učinki so visoki in enakomerni neglede na sestojno zgradbo. V primerjavi z drugimi metodami se je izkazala kot ekonomsko zelo učinkovita. V nekaterih gozdnih gospodarstvih je metoda že postala osnovni postopek za izmero gozdov.

Metoda spada v skupino postopkov s stalnim številom dreves v vzorcu in velikostjo ploskve (neenake površine), ki se prilagajajo gostoti sestoja (variabilna stopnja vzorčenja). S tem je metoda zelo primerna za snemanje atributivnih znakov (npr.: deleža poškodovanih dreves). Poseben pristop je potreben pri ocenjevanju vrednosti, preračunanih na vzorčno površino (npr.: lesne zaloge na hektar). Predlagamo postopek stratificiranega vzorčenja in uporabo regresijskih vrednosti (izračunanih na podlagi povezave med temeljnico in površino vzorcev v posameznih strukturno čim bolj homogenih stratumih), ki vzorčno površino upoštevajo kot izravnalno spremenljivko.

Metoda je primerna za delno premerbo gozdnih sestojev, če so v ospredju naslednje zahteve:

- snemanje na enkratnih (nepermanentnih ploskvah),
- enostaven, hiter postopek, izvedljiv z enostavno opremo in s priučeno delovno silo,
- snemanje deležev (npr.: poškodovanost sestojev),
- delo na nepreglednem terenu s podrastjo, kjer kotnoštevna metoda ni izvedljiva.

6 LITERATURA

1. FAO, 1973: Manuel d'inventaire forestier, avec références particulières aux forêts tropicales hétérogènes. FAO, Rim, 200 s.

2. FREESE, F., 1961: Relationship of plot size to variability: an approximation. *J. Forest.*, 59: 679.
3. GROSENBOUGH, L.R., STOVER, W.S., 1957: Point-Sampling Compared with Plot-Sampling in Southeast Texas. *For. science*, 3, 1: 2—14.
4. KAPUCU, F., 1972: Untersuchungen ueber die Anwendbarkeit von Punktstichprobeverfahren in ungleichaltrigen Naturmischbestaenden. *Diss.*, Freiburg i. Br., 173s.
5. KO, THIRY, PELZ, EHRENSPIEL, 1969: Sechs-Baum-Stichprobe fuer die Forsteinrichtung. *Allg. Forst. u.g. Ztg.*, 140, 8: 186—189.
6. HIRNER, V., 1978: Theoretische Ueberlegungen zur Sechs-Baum-Stichproben und deren praktische Anwendungsmoeglichkeiten. *Diss.*, Freiburg i. Br., 107s.
7. HERBERT, J., RONDEUX J., LAURENT C., 1988: Comparaison par simulation de 3 types d'unités d'échantillonnage en futaies feuillues de hêtre (*Fagus silvatica*). *Ann. Sci.*, 45, 3: 209—222.
8. HLADNIK D., HOČEVAR M., 1989: Izboljšanje učinkovitosti in informacijske vsebine gozdne inventure s stratificiranim vzorčenjem. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, Ljubljana, 34(1989).
9. LOETSCH, F. HALLER, K., 1964: *Forest inventory*, Vol. 1., München, Basel, Dunaj, BLV, 436s.
10. LOETSCH F., ZOEHRER, F., HALLER, K., 1973: *Forest inventory*, Vol. 11, München, Bern, Dunaj, BLV, 469s.
11. MAHRER F., VOLLENWEIDER CH., 1983: *Das Landesforstinventar der Schweiz*, EAFV, Berichte 247, 26s.
12. PRODAN, M., 1968: Punktstichprobe fuer die Forsteinrichtung. *Forst u. Holzwirt*, 11: 225—226.
13. PUHEK V., 1982: Metoda 6-dreves — metoda izbranega števila potrebe gozdnogospodarskega načrtovanja, seminar: Mašun 1982, 9s. polikopirano.
14. SCHOEPFER W., 1969: Die 6-Baum Strichprobe in der Forsteinrichtung. *Allg. Forstztg.*, 24, 26: 533—536 in 29: 588—591.
15. ZOEHRER, F., 1980: *Forstinventur*. Paul, Parey; Hamburg, Berlin; 207s.

7 ZUSAMMENFASSUNG

ENTWICKLUNG UND EINSATZ DER 2x6-BAUM-METHODE

Die 6-Baum Methode von Prodan fand in Slowenien grosses Interesse und wurde in einigen Forstbetrieben für die Waldinventur eingeführt. Das Aufnahmeverfahren ist sehr einfach und schnell, jedoch — wie es sich bald herausstellte — nicht bei allen Waldverhältnissen optimal einsetzbar. Die 6-Baum-Stichprobe erwies sich unter slowenischen Waldverhältnissen als zu klein, in Wäldern mit typischer Rottenstruktur

(Gebirgswälder, plenterwaldähnliche Bestände, usw.) kamen systematische Fehler vor.

Ausgehend aus der 6-Baumstichprobe wurde daher an der Forstabteilung der Biotechnischen Fakultät in Ljubljana ein abgeändertes Aufnahmeverfahren mit 2x6 Bäumen und einer neuen Berechnungsmethode, die die ungleiche Stichprobenfläche als Kovariable berücksichtigt, entwickelt (Bild 1, Kapitel: 3.3.2.1). Das neue Verfahren wurde anschliessend einer Genauigkeitsprüfung unterzogen. Inzwischen wird das Verfahren bereits in der Praxis operationell eingesetzt.

Die 2x6-Baumstichprobe setzt sich aus 2 Halbkreisen zusammen mit jeweils 6 Bäumen (Bild 1). Die Stichprobenfläche wird durch die Entfernung des 6. Baumes in jedem Halbkreis bestimmt. Die einfachen Stichprobenwerte werden nach Formeln 1 und 2 berechnet (Kap. 2.2). Für die weitere Berechnung der Flächenwerte wurden das arithmetische Mittel, das gewogene Mittel (Kap. 2.2) und die Methode der Regressionswerte angewandt (3.3.2.1).

Mit der Regressionsmethode werden für jede Stichprobe die SP-Werte (z.B. Grundflächensumme der 12 Bäume) auf die mittlere Stichprobenfläche des Stratums niveelliert in dem die Probenfläche als Kovariable benutzt wird und anschliessend der Flächenwert berechnet (Formel 6, Kap. 3.3.2.1). Das Verfahren setzt die Berechnung der Regressionsparameter (Steigungskoeffizient b) zwischen der Grundfläche (g_j) und SP-Fläche (P_j) für einzelne strukturell homogene Straten voraus (Tab. 3, Bild 8a, b).

Die arbeitstechnischen Aspekte und die Zuverlässigkeit des neuen Verfahrens wurden anhand einer Probeinventur untersucht (Tab. 1). Auf 94 Stichproben wurden 4 verschiedene Aufnahmeverfahren miteinander verglichen. Es waren dies folgende Stichprobenverfahren: 6-Bäume, 2x6-Bäume, 12-Bäume und die Methode der festen 3-Ar-Probekreise.

Die Vergleichsauswertung für den ganzen Wald ergab eine gute Übereinstimmung der Stammzahl- und Grundflächenschätzungen für alle Methoden. Die Unterschiede waren absolut und relativ sehr gering (Tab. 2, Bild 5 und 11). Erwartungsgemäss wurden für beide Zwillingsmethoden (2x6, 12-Bäume) praktisch gleiche Werte berechnet. Die SP-Flächengrösse der 2x6-Methode korreliert eng mit der Bestandesdichte (Bild: 2). Durch die Vergrösserung der SP auf 2x6 Bäume wurde ihre Variabilität wesentlich geringer, die Extremwerte seltener und die Frequenzverteilung symmetrischer (Bild 3 und 4a, b und 5a, b). Innerhalb der Straten ist die Flächengrössenverteilung normal (Bild 4a, b und 5a, b).

Das 2x6-Baumverfahren ist sehr schnell, die Datenvarianz ist gering. In der Kosten-Genauigkeitsanalyse erwies es sich als das optimale Verfahren (Tab. 3, Bild 7a, b).

Im Probe bei-Probe-Vergleich wurde eine gute Übereinstimmung der Grundflächenschätzungen der 2x6-Baum-Methode mit Referenzwerten (3-Ar-Probekreise) festgestellt (Tab. 4, Bild 9a, b). Dies gilt insbesondere für die Regressionswerte $G_{2 \times 6R}$ ($r = .76$). Die Streuung der 6-Baumwerte war wesentlich grösser ($r = 0.35$) und es kamen mehrere Extremwerte vor (Bild 9c). Die Analyse der Abweichungen von der Referenzgerade lässt eine leichte Tendenz zur Überschätzung bei niedrigen Grundflächen und zur Unterschätzung bei hohen Grundflächendichten erkennen. Sie ist bei Regressionswerten nur noch bei niedrigen Grundflächendichten wahrnehmbar (Bild 10) und wird durch die Grundflächenverteilung nicht bestätigt (Bild 11).

Zur genauen Überprüfung dieser Beobachtung wurde die Genauigkeitsanalyse an strukturell sehr unterschiedlichen Straten wiederholt. Trotz detaillierter Prüfung wurden jedoch keine signifikante Unterschiede festgestellt (Tab. 5, Bild 12 und 13).

Für den Einsatz in der Praxis wird das stratifizierte Verfahren mit der Berechnung von Regressionswerten für einzelne Bestandestypen empfohlen. Das Verfahren ist für die Waldaufnahme besonders geeignet wenn folgende Punkte im Vordergrund stehen:

- Aufnahmen auf temporären SP-Flächen,
- einfaches, schnelles Aufnahmeverfahren durchführbar mit einfachen Mitteln und ungelerntem Personal,
- wenn Holzvorratinventur mit der Waldschädenschätzung (Schätzung der Anteile beschädigten Bäume) verbunden wird,
- auf unübersichtlichem Gelände und in Beständen mit starkem Unterwuchs wo die Winkelzählmethode nicht durchführbar ist.