



(12) **PATENT**

(19) **NO**

(11) **335845**

(13) **B1**

NORGE

(51) Int Cl.

G01S 17/89 (2006.01)

G01C 11/02 (2006.01)

G01S 7/48 (2006.01)

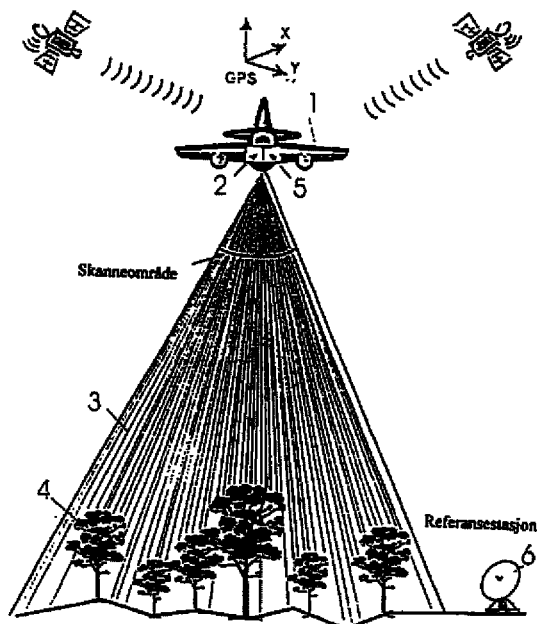
G01B 11/00 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20022030	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2000.10.26 PCT/FI2000/00930
(22)	Inng.dag	2002.04.29	(85)	Videreføringsdag	2002.04.29
(24)	Løpedag	2000.10.26	(30)	Prioritet	1999.10.28, FI, 992319
(41)	Alm.tilgj	2002.06.27			
(45)	Meddelt	2015.03.02			
(73)	Innehaver	Diware OY, Nuottakuja 2 D, SF-02230 Esbo, Finland			
(72)	Oppfinner	Juha Hyypä, c/o Diware OY, Nuottakuja 2 D, SF-02230 Esbo, Finland			
(74)	Fullmektig	Oslo Patentkontor AS, Postboks 7007 Majorstua, 0306 OSLO, Norge			

(54)	Benevnelse	Fremgangsmåte for bestemmelse av stående attributter og et dataprogram for utførelse av fremgangsmåten
(56)	Anførte publikasjoner	Juha Hyypä, Hannu Hyypä, Andre Samberg: "Assessing Forest Stand Attributes by Laser Scanner", Proceedings of SPIE, Vol. 3707 (1999), ISBN 0-8194-3181-8, Side 57-69 Andre Samberg et al: "High-Scan for Future Forest Inventory", Proceedings of the 5th Anniversary International Conference on Information Systems in Agriculture and Forestry, 9-11.02.1999, Sec u Chrudimi, Tschechien; Andre Samberg et al: "An Evaluation of the Laser Scanner Data in The Forest Area", Proceedings of SPIE, Vol. 3707 (1999), ISBN 0-8194-3181-8, Side 570-581
(57)	Sammendrag	

Oppfinnelsen vedrører en fremgangsmåte for bestemmelse av bestandsattributter med et instrument over bestanden. I fremgangsmåten blir tredimensjonal informasjon samlet inn fra bestanden ved å bruke et stort nok antall prøver til at individuelle trær eller grupper av trær kan skilles ut. En tredimensjonal trehøydemodell produseres fra den innsamlede informasjonen. Stående attributter, som er karakteristikk på individuelle trær eller grupper av trær og/eller karakteristikk som er utledet av denne informasjonen for større bestandsområder blir bestemt av trehøydemodellen. Oppfinnelsen vedrører også et dataprogram som kan brukes til å utføre oppfinnelsens andre og tredje skritt.



Oppfinnelsens område

Oppfinnelsen vedrører en fremgangsmåte for skogsregnskap og bestemmelsen av stående attributter. Ved hjelp av fremgangsmåten kan stående attributter på trær, stikkprøver og større skogarealer måles ved å måle og avlede de mest viktige karakteristikkene på individuelle trær. Oppfinnelsen vedrører også et dataprogram for utførelse av fremgangsmåten.

Oppfinnelsens bakgrunn

Konvensjonelt skogsregnskap er for det meste basert på feltmålinger. For eksempel er skogsregnskap på bestandsnivå, hvor skogen først deles inn i omtrent homogene skogsbestander (vanligvis 1-3 hektar i størrelse), nå basert på stikkprøver og subjektive visuelle regnskap. Flyfoto og ortofoto (flyfoto korrigert til kartprojeksjon) blir vanligvis brukt for opptegning av bestandsgrenser og bestemmelse av distrintsinndelinger i skogen. Imidlertid blir bestandsattributter som volum (m^3/ha), stammegrunnflate (m^2/ha , viser tverrsnitt pr hektar ved høyde 1,3 m), gjennomsnitt høyde (m), andre tetthetstypekarakteristikker, trearter, alder og utviklingsklasse bestemt av målinger og vurderinger gjort i skogen. Det har blitt forsøkt å øke automatiseringsgraden, for eksempel med felt(data)maskiner og med mer automatisert måleutstyr (for eksempel patent FI 101016 B). I skogregnskap på bestandsnivå blir tre og bestandsattributter beregnet ved stikkprøver i samme bestand og ved visuelle estimater. I tillegg til bestandsvise regnskap blir det gjort stikkprøver, målinger på enkelttrær, og estimering av større områder som hele eller deler av nasjoner.

Fremgangsmåter for fjernmåling (måling av egenskaper uten noen fysisk kontakt) har blitt studert i lang tid som en alternativ og fremtidig fremgangsmetode for tradisjonelt skogsregnskap. Ved store skogsregnskap har det blitt opp-

nådd lovende resultater ved å bruke satellittbilder (for eksempel Tomppo E. 1991. *Satellite image-based national forest inventory of Finland. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. 28: 419-424*). Ved slike fremgangsmåter blir feltnmålinger fra mindre områder brukt som datasett for læring og satellittbildet blir brukt for å generalisere dette nøyaktig korrigerede datasettet for hele bildet. En forutsetning for å lykkes med en løsning for mindre områder er at egenskaper (som kanaler, antall kanaler osv.) fra satellittbildet samsvarer bra med bestandsattributter som finnes i stikkprøver. På denne måten er metoden egnet for store skogsregnskap. Ved å forbedre fjernmålingen ved å ta hensyn til luftbårne datainnsamlinger kan nøyaktigheten på estimatene basert på fjernmåling forbedres. Til tross for dette har ikke blitt oppnådd nødvendig nøyaktighet (omkring 15% feiltoleranse, R. Päivinen, A. Pussinen, og E. Tomppo, 1993, "Assessment of boreal forest stands using field assessment and remote sensing", rapport fra konferanse Earsel 1993, "Operationalization of Remote Sensing", ITC Enshedene, Nederland, 19-23 april, 1993, 8s.) på bestandsvise skogsregnskap med bruk av fremgangsmåter basert på fjernmåling.

Som et eksempel blir bestandsvise skogsregnskap som gjøres av skogselskaper i Finland, utelukkende gjort med feltarbeid, og det nasjonale skogsregnskapet blir gjort med hjelp av satellittbilder (som ved bruk av Landsat TM-bilder med 30 m oppløsning). En temmelig kostbar beskrivelse av nøyaktigheten som oppnås med forskjellige fjernmålingskilder er vist i publikasjoner (J. Hyyppä, Hyyppä, H., Inkinen, M., Engdahl, M., Linko, S. Og Zhu, Y-H., 1998. *Accuracy of different remote sensing data sources in the retrieval of forest stand attributes. Proceedings of the First International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry. Lake Buena Vista, Florida, USA, 1-3-Juni 1998, volum 1, sidene 370-377*, og J. Hyyppä, Hyyppä, H., Inkinen, M., Engdahl, M., Linko, S., Zhu, Y-H., 199a, *Accuracy comparison of various remote sensing data sources in the re-*

trieval of forest stand attributes, Journal of Forest Ecology and Management (under trykking)). Søkeren bak denne patentsøknaden kjenner ikke noen fjernmålingsbaserte fremgangsmåter for skogregnskap som vil tilfredsstillere kravene til nøyaktighet på bestandsvise skogregnskap. En annen fremgangsmåte for estimering av stammeattributter i en skogprøve er vist i det finske patentet 101016 B. Fremgangsmåten registrerer optisk alle trær innen en definert radius fra et valgt senter. Du kan for eksempel bruke Accu-Range 3000-LIR laser avstandsmåler hvor nøyaktigheten er 1/65553 av 360° eller en pulsdetektor. Registreringen blir gjort ved å rotere måleenheten på en slik måte at tangenten blir beregnet som differansen i absolutt vinkelrotasjon mellom avbruddene som skjer på begge sider av stammene.

Fremgangsmåten (Finsk patent 101016 B) kan brukes for å automatisere den konvensjonelle innsamlingen av stikkprøver, men den krever at arbeidet gjøres i skogen, og den er nokså langsom (en rotasjon tar 1 til 6 minutter, slik at datamaskinen får tid til å overføre de målte dataene). Fremgangsmåten er basert på beholdning basert på diametermålinger i horisontalplanet. Hovedproblemet med fremgangsmåten vist i finsk patent 101016 B er at den er så langsom at den kun egner seg for innsamling av små mengder av prøver fra hele bestanden.

Tidligere har fly og helikoptre blitt brukt for å måle kronehøyden på skogen med lasere og mikrobølger. Disse tidligere målingene var basert på målinger av tverrsnittsarealer av skog (langs flyretningen, bestandens høyde ble målt i området som ble dekket av laseren eller radaren). Eksempler på slike studier er for eksempel R. Nelson, W.B., og Maclean, G.A. 1984, "Determining forest canopy characteristics using airborne laser data", *Remote Sensing Environment*, 15:201-212, of J. Hyyppä, Hallikainen, M., 1996. *Applicability of airborne profiling radar to forest inventory*. *Remote Sensing Environment*, 57: 39-57. Individuelle trær ble ikke analysert i disse studiene, siden bildene var todimensjonale tverrsnitt. Med disse målingene ble trehøy-

den fremskaffet og andre attributter avledet av dette ved å bruke regresjonsformler. Feil på volumestimatene var på det beste 26,5%, som ikke er bra nok til operativt bruk.

Nässet (E. Nässet, "Determination of mean tree height of forest stands using airborne laser scanner data", ISPR J. Photogramm. Remote Sensing, 52, sidene 49-56, 1997) klarte å produsere jevnt fordelte prøver fra skogen ved å bruke laserskanning, men estimatene på bestandsattributter ble gjort ved å bruke statistiske metoder på tilsvarende måte som de tidligere profilmålingene. Som eksempel ble gjennom-
10 snitt trehøyde estimert ved å måle minimum og maksimum trehøyder innen et visst vindusområde.

I 1999 demonstrerte Hyyppä et al. (J. Hyyppä, Hyyppä, H., Samberg, A., 1999, Assessing Forest Stand Attributes by Laser Scanner, Laser Radar Technology and Applications IV, Proceedings of SPIE, 307: 57-69) at det er mulig å måle
15 høyden på dominante trær ved å bruke laserskanner med høy pulsrate. I denne studien ble volumestimatene basert på høydeprøver testet ved å bruke en tilsvarende tilnærming som ved de tidligere profilmålingene med lasere og radarer.
20 I tillegg ble det i denne studien presentert en virtuell trehøydemodell som ble laget med hjelp av laserskanner. I dette arbeidet ble ikke individuelle trær segmentert eller identifisert, og heller ingen andre bestandsattributter eller
25 individuelle trær.

Også Gunilla Borgefors et al. (Gunilla Borgefors, Tomas Brandberg, Fredrik Walter "Forest parameter extraction from airborne sensors", APRS, Vol.32, Part3-2WS, "Automatic Extraction of GIS Objects from Digital Imaging", München 8-10
30 September 1999, sidene 151-158) har foreslått bruk av laserdata for innsamling av bestandsattributter. I publikasjonen blir antall stammer og kronestørrelse bestemt ut fra et bilde som er laget ved hjelp av laserdata ved å analysere høydeforskjellene på forskjellige områder i bildet mot

en gitt referanse. Den virkelige høyden på individuelle trær ble ikke analysert i publikasjonen.

Laserskanning og radarteknologi har også generelt blitt brukt for å lage terrengmodeller ved å måle distansen oven-
5 fra mellom et mål og en radar (fra nå av blir radar brukt som et generelt navn for både laser og mikrobølgeradar) basert på transmisjonstiden av pulsen. Laserradar blir også kalt lidar (light detection and ranging, lysdeteksjon og avstandsmåling). Ved slike målinger sveiper laserskanneren
10 laserpulsen som dannes av radaren på tvers og vertikalt av flylinjen. På denne måten blir hele målområdet dekket. Nesten tilstøtende stråler samles (hver stråle er typisk noen titalls cm i diameter) fra området, og for hver stråle blir x-, y- og z-koordinatene avlest. Ved å analysere disse
15 punktene kan vi beregne forskjellige typer terrengmodeller. En mikrobølgeradar virker på tilsvarende måte som laserradaren, men frekvensen på det overførte signalet er imidlertid i mikrobølgeområdet. Med mikrobølgeradarer kan skanningen gjøres med elektriske eller mekaniske skannemekanismer. En typisk strålestørrelse på bakken med en mikrobølgeradar er flere meter, på den andre siden kan SAR-teknikk
20 (Synthetic Aperture Radar) brukes for å forbedre oppløsningen på mikrobølgeradaren. Med mikrobølgeradar du samtidig måle distansen både fra kronen og fra bakken, noe som forenkler produksjonen av forskjellige terrengmodeller, på den annen side er det vanskelig å oppnå den samme oppløsningen som med nåværende og fremtidige laserskannere, som kan oppnå nesten 100 kHz repetisjonsrater på pulsene. Dette gir mulighet for å registrere målet med jevn 0,5 m oppløsning.
30

Sammenfatning av oppfinnelsen

Målet med denne oppfinnelsen er å utvikle en fremgangsmåte for fjernmålingsbasert skogsregnskap og innsamling av bestandsattributter, en fremgangsmåte som er raskere, mer
35 nøyaktig enn tidligere fremgangsmåter, og som gir bedre mu-

ligheter for videre databehandling, og som er relativt kosteffektiv.

Dette oppnås med en fremgangsmåte og et tilhørende dataprogram slik som definert i de etterfølgende patentkrav.

5 Generelt omfatter oppfinnelsen en fremgangsmåte for innsamling av bestandsattributter som hovedsakelig er særpreget ved at tredimensjonal informasjon blir samlet inn fra be-
standen ved å bruke et så stort antall prøver at individu-
10 innsamlede informasjonen brukes til å produsere en tredimensjonal trehøyde modell av skogen. Fra høydemodellen kan det trekkes ut bestandsattributter. Bestandsattributter -
som er karakteristikk av individuelle trær eller grupper
av trær og/eller karakteristikk som trekkes ut ved å bru-
15 ke denne informasjonen for større områder - blir bestemt ut fra trehøydemodellen.

Bestemmelsen av bestandsattributter i oppfinnelsen blir fortrinnsvis gjort i tre faser:

1. Innsamling av høyoppløselige tredimensjonale målinger
20 fra bestandsområdet.
 2. Beregning av en tredimensjonal trehøydemodell fra måle-
dataene.
 3. Bestemmelse av bestandsattributter ut fra trehøydemodel-
len ved å bruke enkelttrær eller grupper av trær.
- 25 Det andre og tredje skrittet i oppfinnelsen kan gjøres ved hjelp av et dataprogram.

I dette dokumentet refererer høyoppløselig til et datasett hvor det er mulig å differensiere individuelle trær.

I den nordlige skogsonen på den nordlige halvkule og i mange økonomisk utnyttede skogsområder og i andre skogområder er det gap mellom trekronene. For eksempel blir i en tett skog i Finland mer enn 30% av laserpulsene reflektert fra bakken. Ved å øke laserpulsraten vesentlig (antall pulser sendt pr sekund) kan prøver samles inn fra individuelle trekroner, og også fra bakken mellom trærne. Dette betyr at atskillige laserpulser pr m² må samles inn. Dette gir mulighet for å lage høyoppløselige bestandskart med data fra laserskanner. Når dette materialet blir prosessert, kan det beregnes en terrengmodell og en trekronemodell, og også forskjellen mellom disse, med andre ord en trehøydemodell. Ved å analysere trehøydemodellen ved å bruke for eksempel metoder for mønstergjenkjenning, er det mulig å lokalisere individuelle trær, bestemme høyde på individuelle trær, kronediameter, treslag og, ved å bruke disse dataene, stammediameter, antall stammer, alder, utviklingsklasse, stammegrunnflate og stammevolum for hvert individuelle tre. Tilsvarende informasjon kategorisert på art kan beregnes for stikkprøver og bestander. Det blir også vist i oppfinnelsen hvordan gammel bestandsinformasjon og kunnskap (kunnskapsbaserte systemer) kan brukes for å forbedre nøyaktigheten på estimerte bestandsattributter.

Fremgangsmåten som blir vist i oppfinnelsen, er til nå den mest nøyaktige fjernmålingsbaserte fremgangsmåte for skogsregnskap av alle slike fremgangsmåter. Fordelen med denne oppfinnelsen i forhold til vanlige fjernmålingsbaserte fremgangsmåter er at denne måler klare fysiske karakteristikk fra målet i form av distansedata. Ved å bruke generelt kjente formler, kan disse parametrene brukes for å utlede bestandsattributter, som volumet. Følgelig krever ikke denne fremgangsmåten nødvendigvis bruk av stikkprøver som læremateriale, som reduserer kostnadene ved fremgangsmåten.

Et høyoppløselig tredimensjonalt bilde er en forutsetning for bruk av fremgangsmåten. Tettheten på målingene (med referanse til avstanden mellom nærliggende pulser på bakken)

influerer sterkt på brukbarheten av det laserutledete data-
settet. I oppfinnelsen har det blitt forstått å utnytte
fordelene som økte repetisjonsrater på pulsene gir i en
fremgangsmåte som mer er basert på gjenkjenning (flere pul-
5 ser pr kvadratmeter oppnås, hvorved flere egenskaper ved
målet begynner å synes) enn ved nåværende metoder, som bru-
ker rene statistiske metoder. Økningen i pulsraten i over-
ensstemmelse med oppfinnelsen gir betydelige fordeler for
skogsregnskaper. Høye pulsrater gir muligheter for høy opp-
10 løsing, og det er dermed mulig å bestemme karakteristikk
på individuelle trær. Tidligere har det ikke vært mulig å
produsere bilder som kan differensiere individuelle trær og
nøyaktig utlede slike individuelle træs attributter som
kan brukes til å beregne for eksempel volum.

15 Fremgangsmåten som er oppfunnet, kan generelt produsere vo-
lumestimer for skogbestander i den nordlige skogsonen med
mindre enn 15% feil. Fremgangsmåten er anvendelig også
andre steder, spesielt i skogplantasjer i tropiske strøk.
Dette har gjort det mulig å generere trekart over skogbe-
20 standen sett ovenfra, og fordi kartet er direkte på digital
form, og fordi det meste av informasjon om skogen nå er
lagret i geografiske informasjonssystemer, er det også mu-
lig å overvåke individuelle områder og oppdatere behand-
lingen som skal gjøres selv for enkelttrær. Dette kan bli
25 nødvendig, for eksempel i parker og andre verdifulle områ-
der. Fremgangsmåtens kostnadseffektivitet vil kontinuerlig
forbedres av den raske utviklingen av laserskanning og
radarteologi. Full automatisering (prosessering av det
innsamlede materialet ved hjelp av datamaskiner) er også
30 mulig.

Figurer

Figur 1 gir et oversiktsbilde over fremgangsmåtens målesi-
tuasjon.

Figur 2 illustrerer samplingsraten som er oppnådd med en laserskanner i et skogområde.

Figur 3 viser sammenhengen mellom antall samplinger og oppløsningen i et skogområde.

5 Figur 4 er minimum (laveste) overflate av et skogområde beregnet med sanne laserskannerdata (punktet med den laveste Z-verdien er valgt fra punktene innen hver pixel). Pixelstørrelsen er 50 cm, hele området er 125 x 125 m. Manglende verdier (ingen treff) er kodet til å være 150.

10 Figur 5 er maksimum (høyeste) overflate av et skogområde beregnet med sanne laserskannerdata (punktet med den høyeste Z-verdien er valgt fra punktene innen hver pixel). Manglende verdier (ingen treff) er kodet til å være 0.

15 Figur 6 er en beregnet terrengmodell med data brukt i figur 4 og 5. Terrengmodellen viser terrenghøyde i hvert punkt i forhold til havnivå.

20 Figur 7 er en beregnet trehøydemodell med data brukt i figur 4 og 5. Enkeltrær og små grupper av trær kan virkelig differensieres i trehøydemodellen. Bildets oppløsning er 50 cm.

Figur 8 er et eksempel på segmenterte kroner. Ved segmentering skisseres kronegrensene.

Figur 9 er et eksempel på nøyaktigheten som oppnås for enkeltrær ved å bruke fremgangsmåten.

25 Figur 1 til 3 viser grovt måleprinsippene. Figur 8 er en grov visualisering av bestemmelsen av kronegrenser.

Detaljert beskrivelse av oppfinnelsen

Å utføre tredimensjonale høyoppløselige målinger i skogområder.

I fremgangsmåten i oppfinnelsen kan den brukte sensoren enten være en bredstrålet laserskanner eller en radarskanner som opererer i radiobølge frekvensområdet, som opererer med tilsvarende prinsipper. Det viktigste aspektet er å produsere høyoppløselig tredimensjonal informasjon fra skogene ved å bruke radarprinsippet som gir mulighet for å bedømme individuelle trær eller grupper av trær og videre blir brukt til å bestemme bestandsattributter.

Dersom strålestørrelsen som produseres er av størrelsesorden 1 m, kan sensoren registrere - med den samme pulsen - ekkoet fra bestanden. Fra det samme ekkoet kan både distansen fra bakken og fra kronen bestemmes. Situasjonen med radiofrekvensradarskanneren er tilsvarende. Forskjellen til en smalstråle laserskanner er følgelig bare at også bakkeekkoet kan måles med en høyere frekvens, med andre ord blir signalets gjennomtrengning gjennom bestanden bedre. Med slike sensorer kan det lettere lages en terrengmodell. Smalstrålelaseren representerer nå et kraftig instrument for å bestemme trehøydemodeller. Vi vil derfor i det følgende konsentrere oss om hvordan den kan brukes for å lage en trehøydemodell og hvordan dens data kan brukes i skogregnskapet. Selv om vi i det følgende vil snakke om laserskannere (smalstråle) dekker oppfinnelsen på et generelt nivå også prinsippene til hvordan bredstråle laserskannere og radar virker i radiofrekvensområdet ved skogsforhold. Den siste kan bare brukes til å lage tredimensjonale volummodeller som rådata, mens den første mer blir brukt for å produsere tredimensjonale overflatemodeller.

Figur 1 gir et oversiktsbilde over fremgangsmåten målesituasjon. Målingen ledes fra en flygende plattform 1 (et fly, et helikopter, en ubemannet plattform, et modellfly)

over bestanden. Av disse plattformene er flyet for øyeblikket den beste plattformen for målinger med små høydeforskjeller, helikopteret er best i fjellområder, og den mest kosteffektive plattformen er ubemannede fly eller modellfly. Laserskanneren 2 består av en skannemekanisme som skaper en deviasjon på tvers av flyretningen, en laserpistol som produserer laserpulser 3, og av en deteksjonsenhet som registrerer det mottatte signalet og definerer distansen til målet. Laserpistolen ombord i den flygende plattformen 1 i figur 1 sender laserpulser som treffer målet, og returnerer til deteksjonsenheten og gjør det mulig å bestemme distansen mellom målet og laseren på grunnlag av tiden pulsen har brukt. Når posisjon og orientering på laserpistolen er nøyaktig kjent, kan den målte distansen mellom laserpistolen og målet 4 (i dette tilfellet et tre) konverteres til høyde; dette er basis for måling av overflatemodeller ved å bruke laserskannere. Orientering og posisjon av laserpistolen 2 blir typisk definert med inertianavigasjon og med GPS-målinger. ("Global Positioning System", Globalt posisjoneringssystem, et globalt satellittnettverk for posisjonering). Inertianavigasjonssystemet måler enten orientering alene, eller både orientering og posisjon ved å bruke en treghetssensor. Med laserskanneteknologi er det vanlig å referere til forkortelsen INS, som er et perfekt 6-dimensjonalt målesystem (for både orientering og posisjon). GPS-målingene brukt i laserskanneteknikk blir vanligvis gjort med å bruke en GPS-mottager 5 i den samme flygende plattformen og en annen GPS-mottager på bakken som en referansestasjon 6 i nærheten av kartleggingsområdet, for eksempel innen 30 km.

Siden både laseren og radaren er aktive sensorer (de sender et signal som mottas etter å ha reflektert fra målet), kan målingene også gjøres om natten.

Bildet blir gjort med å bruke en skanner, som skanner pulsene på tvers av flyretningen. I den andre retningen blir bildet ferdiggjort når den flygende plattformen beveger seg

langs med flygeretningen. På denne måten blir hele målområdet dekket. Avstanden mellom nærliggende laserstråler (vanlig strålediameter er omtrent noen titalls cm) på bakken er påvirket av laserpistolens karakteristikk og laserskanneren (pulsmetningsrate, antall parallelle pulser, synsfelt, og type skanning), flyhøyde og hastighet. Det finnes flere skannemekanismer. I konisk skanning er synsvinkelen konstant hele tiden. I såkalt sveipeskanning (pushbroom) er orienteringen av parallelle stråler alltid konstant.

10 Figur 2 viser hvordan et skannemønster med individuelle stråler 3 planlegges å dekke målområdet med treff 7. Treffene 7 i figur 2 danner et regelmessig mønster langs flyretningen. Referansenummer 8 refererer til arealet som dekkes av kronene i bestanden.

15 Det er viktig i skogmålingen å gjøre målingene så vertikalt mot bakken som mulig for å unngå skyggelagte områder. Synsvinkelen bør være mindre enn 10 grader fra vertikalen. I enkelte målinger har det blitt skyggelegging selv med synsvinkler høyere enn 5 grader. I den foreliggende fremgangsmåten bør det brukes en laserskanner som kan sende et tilstrekkelig antall pulser til at enkelttrær eller grupper av trær kan skilles ut. Antall pulser som trengs avhenger selvfølgelig av kravet til nøyaktigheten som kreves, og størrelsen på kronene på trærne. I de fleste tilfellene bør
20 det brukes flere pulser pr kvadratmeter, og en økning i pulsraten til opp til et titalls antall pulser pr kvadratmeter kan gi en vesentlig forbedring av nøyaktigheten, særlig i den nordlige skogsonen. Optimering av puls- /prøvetallet er optimering mellom nøyaktighet og kostnad.
30 Avhengig av parametrene nevnt over er det vanskelig å gi et standard tall for repetisjonsraten, men 50 kHz kan betraktes som en minimumsgrense, og ved 200 kHz framtrer individuelle trær virkelig bra. For øyeblikket finnes det bare noen få instrumenter som møter kravene. For eksempel er repetisjonsraten på TopoSys-1 80 kHz, måletettheten fra nominell høyde 800 m er mellom 3 og 4 pulser pr kvadratmeter og
35

nøyaktigheten i x- og y-retning er bedre enn 1 m. Nøyaktigheten på z-retningen er bedre enn 15 cm på flate områder. En vanlig repetisjonsrate med andre sensorer er omtrent 10 kHz, men instrumentene forbedres kontinuerlig.

5 Skogmålingene påvirkes også av årstid. Vinterstid med snø på bakken er det ikke anbefalt å gjøre lasermålinger fordi snøen kan spre pulsen vekk fra deteksjonsenheten. Den optimale årstiden er når det er et tilstrekkelig antall blader og nåler på kronene til å reflektere lasersignalet fra top-
10 pen, og bakken ikke er dekket av tungt nedfall (understory). Målinger under finske forhold har imidlertid vist at bestandsinformasjon med god kvalitet kan produseres også på slutten av sommeren eller tidlig høst. Med radar som opererer i radiofrekvensområdet kan målinger gjøres gjennom alle
15 årstider. Dersom frekvensen er mindre enn 5 GHz blir imidlertid høyden på trær uten blader underestimert.

Siden målingene bør gjøres med smale synsvinkler (målt vertikalt), vil området som dekkes bli snevert (fra en høyde på 800 m er vidden 282 m med en synsvinkel på 10 grader).
20 Derfor vil det, avhengig av bruk, være nødvendig med flere parallelle flygninger for å dekke hele området.

I den foretrukne utførelse av oppfinnelsen blir det brukt flere pulsmodi for å produsere forskjellige modeller. Vanligvis er hvert system utstyrt med en første og siste pulsmodus. Med den første pulsmodusen detekteres mål som er nær
25 laseren og den siste pulsmodusen kan brukes for å finne for eksempel bakken i målområdet. I oppfinnelsen ble det funnet at fordi begge pulsmodi inneholder data fra både kronene og fra bakken ble beste resultat oppnådd ved å kombinere data
30 fra begge modi. Dette øker også antall brukte pulser. I framtiden kan det også bli mulig å registrere, i tillegg til disse modi, eller i stedet for disse modi, hele returprofilen, som var tilfellet med tidligere ikke-skanne systemer (J. Hyyppä, M Hallikainen, 1993, "A helikopter-borne
35 8-channel ranging scatterometer for remote sensing, Part

II: Forest Inventory", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 31:170-179). Dette krever imidlertid veldig stor dataregistreringskapasitet.

5 Med disse midler vil hele målområdet bli dekket av smale stråler, og koordinatene for hver av dem kan defineres. På grunn av GPS systemet er punktene i WGS-84 (for mer informasjon foreslås boken *GPS-paikanmääritys* (Markku Poutanen 1998)) og må konverteres til ønsket koordinatsystem og projeksjon (som ykj og kkj i Finland) ved å bruke eksisterende
 10 konverteringsformler. Kart- og oppmålingsmyndigheter i hvert land kan skaffe slike konverteringsformler. Som resultat, blir det laget en digital fil med punkter som danner en punktsky. Filen inkluderer individuelle x-, y- og z-koordinater for treff definert i lokale koordinat og pro-
 15 jeksjonssystemer. Når det gjelder koordinat og projeksjonssystemer, blir leseren henvist til boken *Käytännön geodesia* (Martti Tikka 1985).

Beregning av tredimensjonal trehøydemodell

20 Ved å analysere punktskyen kan du produsere flere typer overflatemodeller. I det følgende defineres det hvordan de forskjellige modellene blir brukt i oppfinnelsen da de fleste av dem mangler en klar beskrivelse.

Punktene som reflekteres eller spres fra bakken, danner en terrengmodell. Data som produseres med laserskanner før
 25 preprosessering, blir generelt betraktet som en digital overflatemodell (Digital surface model, DSM). Ved å prosessere disse rådataene, kan digitale terreng- eller elevasjonsmodeller (DTM, DEM) produseres. Ved å velge punktene som er reflektert fra toppen av vegetasjonen, kan vi lage
 30 en digital vegetasjonsmodell som også kan kalles en digital kronemodell i skogsområder. I oppfinnelsen, ved å måle et tilstrekkelig høyt antall pulser, er det mulig å beregne en høydemodell hvor terrenghøyden har blitt fjernet og som kan brukes til å beregne virkelig trehøyde, mens i kronemodell-

len kan bare høyden i forhold til en gitt referanse (havnivå) bestemmes. Høydemodellen kan beregnes ved å subtrahere den digitale terrengmodellen fra den digitale kronemodellen, og resultatet er en tredimensjonal representasjon av trehøyden i skogområdet. Modellene kan presenteres som vanlige rutenett eller som punktskyer.

Denne oppfinnelsen utnytter direkte bruk av den digitale trehøydemodellen i skogsregnskap. I det følgende blir det presentert et eksempel på en realisert løsning. Når kronemodellen, terrengmodellen eller høydemodellen av en bestand beregnes, bør følgende prinsipper benyttes. De målte punktene blir tilpasset til målruter (grid) (størrelsen til individuelle celler (fra nå benevnt pixel) og hele målområdet defineres), se figur 3. Når punktene konverteres til rutenettet må man huske at konverteringen kan forårsake posisjonering og høydefeil, særlig når det ikke er et tilstrekkelig stort antall punkter for hver pixel. I oppfinnelsen har det blitt oppdaget at dersom enkelttrær eller små grupper av trær er av interesse for regnskapet bør pixelstørrelsen være for eksempel 1 m eller helst 0.5 m når det er mulig å bestemme kronediameteren på en sikker måte. En enkel mekanisme for å starte beregning av den digitale krone og terrengmodellen er å velge maksimum og minimum z-verdi for hver pixel. Vi får to overflater, en som svarer til maksimumsverdiene (maksimum overflate) for terrengmodellen, og, en annen for minimumsverdiene (minimum overflate). Maksimumsverdiene representerer temmelig bra tretoppene, og på områder uten trær overflaten på terrenget. Minimumsverdiene representerer terrenghøyder, men inkluderer også blant annet tretopper. Ved å bruke minimumsfiltrering, kan man beregne en grov terrengmodell fra minimum overflate. Størrelsen på filtervinduet må være større enn diameteren på individuelle trekroner. Det ble funnet ut at en god initiell verdi for et minimumsfilter er 8 m i Finland i områder med tett vegetasjon. Etter minimumsfiltreringen blir denne såkalte grove terrengmodellen sammenliknet med koordinatene fra den opprinnelige punktskyen. Punkter som avviker en

forhåndsatt grense D fra denne minimumsfiltrerte overflaten, for eksempel 1 m, blir klassifisert som bakketreff. Ved å bruke disse treffene blir manglende overflatehøyder interpolert, for eksempel ved å bruke Delaunay-

5 triangulering. Den nye terrengmodellen kan forbedres ved iterasjon på følgende måte: ved å anta denne nye overflaten som en ny referanse og sammenligne punkter fra den originale punktskyen med denne referansen, kan nye bakketreff beregnes som prosessen kan gjentas med. Iterasjonen kan fort-

10 settes til antallet reklassifiserte punkter er lavt og kvaliteten på modellen er tilfredsstillende. En annen metode for å bestemme den digitale terrengmodellen er publisert (K. Kraus, N. Pfeiffere, 1998 "*Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data*",

15 *ISPR Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 53:1993:203).

Når det er huller (ingen data) eller det er avvikende punkter, kan verdien for disse punktene skaffes med interpolasjon og bruke kunnskapen om nærliggende pixler. For å iden-

20 tificisere individuelle avvikende pixler, kan det for eksempel beregnes en gradient for hver pixel. Avvikende verdier kan følgelig fjernes.

Figur 4 viser en minimum overflate laget med laserskanner data. I hver pixel er minimum z-verdi valgt. Den tilsvarende maksimumoverflaten er vist i figur 5. Pixelstørrelsen er

25 i begge bildene 50 cm og bildet dekker 125 m. Figur 6 viser en digital terrengmodell beregnet etter fremgangsmåten nevnt over med en D-verdi på 1 m, uten iterasjon og med Delaunay-triangulering. Figur 7 viser den tilhørende tre-

30 høydemodellen av det samme området.

Bestemmelse av stående attributter ut fra trehøydemodellen.

Den foreliggende fremgangsmåten har for første gang i verden vist at den høyoppløselige trehøydemodellen kan brukes til å bestemme følgende individuelle attributter for trær

sett ovenfra: trehøyde, lokasjon, kronediameter, stammediam-
eter for eksempel ved høyde 1,3 m, utviklingsklasse, al-
der, stammevolum, grunnareal og treart. For større grupper
av trær kan man bestemme i tillegg til disse parametrene
5 også antall stammer og prosent kronedekning, hvorav begge
kan brukes estimering av stikkprøver og bestander. I tidli-
gere studier var det ikke mulig å benytte egenskaper knyt-
tet til kronedekning ved å bruke laser i profilmålinger.
Også sett fra denne siden gir oppfinnelsen betraktelig nye
10 bidrag til eksisterende kunnskap. Ved å bruke denne infor-
masjonen, kan man bestemme stående attributter i en ønsket
region.

I det følgende presenteres det en mulig måte å beregne dis-
se attributtene.

15 I tillegg til beregning og estimering kan man i fremgangs-
måten benytte eksisterende kunnskap, noe som vesentlig for-
bedrer kvaliteten på estimatene. Også med tanke på dette er
oppfinnelsen unik.

Laserprøvene som skaffes i området dekket med trær, kan
20 brukes til å bestemme geometrien på treet enten todimensjo-
nalt (tverrsnitt) eller tredimensjonalt og/eller bestemme
formen på treet for artsbestemmelse eller for modellering
av bestanden.

Beregning av stående attributter fra trehøydemodellen av
25 bestanden blir gjort på følgende måte. Lokasjon av indivi-
duelle trær og trekronegrenser blir bestemt ved å bruke
konvensjonelle metoder for mønstergjenkjenning. Generelt er
stedfesting av trærne basert på å finne lokale maksimum.
For å finne de lokale maksimum blir en laserutviklet tre-
30 høydemodell filtrert med et lavpassfilter. Graden av fil-
trering er påvirket av pixelstørrelsen som er brukt i tre-
høydemodellen av bestanden, og av antall laserpulser pr
kvadratmeter. Vanligvis er en filtrering tilstrekkelig.
Uten filtrering kan flere lokale maksimum finnes fra den

samme kronen. For bestemmelse av kronegrenser eller krone-
 størrelse finnes det flere mulige algoritmer i feltet møns-
 tergjennkjennning. I prosessen med å skissere kronegrenser
 (eller i bestemmelsen av arealet som tilsvarer trekronen, i
 5 segmenteringen) må parametrene hvis mulig velges på en slik
 måte at to separate trær ikke vil slås sammen til ett. Valg
 av parametre kan gjøres manuelt for tretypene som er i
 bruk. Figur 8 er eksempel på en skisse av grenser definert
 med å bruke metoder basert på mønstergjennkjennning.

10 Gjennomsnittlig diameter L på kronen kan beregnes ved å
 bruke den segmenterte kronearealinformasjonen A som følger.

$$L = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (1)$$

Høyden på treet h er forutsatt å være maksimumsverdien i
 trehøydemodellen (det høyeste punktet på treet).

15
$$h = \max(h_i) \quad (2)$$

hvor h_i er individuell trehøyde gitt av trehøydemodellen
 innen det tilhørende krone-/segmentområdet A . I oppfinnel-
 sen har det gjennom testmålinger blitt demonstrert at høy-
 den på individuelle trær og dominerende trær kan måles med
 20 en standardfeil på 1 m, figur 9. Som referansematerialet
 ble hypsometermålinger brukt på 89 trær. Systematisk avvik
 på målingene var 14 cm, som er et ekstremt godt resultat.
 Bestemmelseskoeffisienten var 0,97.

Lokasjon av treet blir bestemt ved hjelp av x - og y -
 25 koordinatene som tilsvarer maksimumspunktet.

I den nordlige skogsonen er det en klar sammenheng mellom
 gjennomsnittlig diameter L på kronen og stammediameteren d

$$d = \alpha L + \beta \quad (3)$$

hvor koeffisientene α og β er kalibrert ved å bruke data fra lokale feltregnskap. Koeffisientene må bestemmes for hver art (for eksempel furu, gran, bjørk, og andre løvfellende trær), spesielt dersom systemet benytter informasjon om art.

Siden laserskanneren også gir høydeinformasjon, og siden det er en klar sammenheng mellom diameter og høyde kan vi bruke også informasjon om trehøyde for estimering. Ved å bruke lineær regresjon blir modellen for stammediameter som følger.

$$d = \alpha L + \beta + \gamma \quad (4)$$

hvor koeffisientene α og β kalibreres ved å bruke data fra lokale feltregnskap. Sammenhengen mellom høyde og diameter er ikke helt lineær, siden formfaktoren på kurven minsker når stammediameteren øker dersom stammediameteren er tilstrekkelig vid. I tillegg gir videre stamme større høydespredning. For å lage en mer nøyaktig høydemodell må vi først gjøre avhengigheten mellom høyde og diameter lineær, og variansen av høyde med hensyn på stammediameter må gjøres konstant. Näslund (1936) (M. Näslund, 1936, "Skogförsökanstaltens gallringsforsök i tallskog", Meddelanden från Statens skogsförsöksanstalt 28 (1)) beskriver sammenhengen mellom høyde og brysthøydediameter (brystdiameter ved 1,3 m) som følger

$$h = \frac{d^2}{(\alpha_1 + \alpha_2 d)^2} + 1.3 \quad (5)$$

Ved å bruke en ikke-lineær transformasjon kan modellen i ligning (4) forbedres. Det er også mulig å bruke nasjonale kurver. Når det gjelder Finland er korresponderende kurver publisert (J. Laasasenaho, 1982, "Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch," *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 108, 74p).

Mulige feil relatert til kronediameter og følgelig bestemmelse av individuell trediameter er at mange kroner kan tolkes til å høre til samme tre og få det segmenterte kronearealet og korresponderende diameter til å være vesentlig større enn virkelige verdier. Derfor bør den fremskaffede kronediameteren L sjekkes for eksempel med formel (3) hvorfra et grovt estimat på stammediameter d fås. Dersom statistisk informasjon er tilgjengelig om sannsynlighetsfordeling av eksisterende kombinasjoner av høyde og diameterpar, kan det meste av det feilaktig definerte kronearealet finnes. Dersom for eksempel sannsynligheten for en kombinasjon er mindre enn 1 %, er det mest sannsynlig at størrelsen på kronen er feilaktig bestemt. Den eksisterende kunnskap om gjennomsnittlig kronestørrelse bør også brukes. I Finland er kronevidden sjelden større enn 8 m. Slike regler, som er basert på kunnskap, er ikke en nødvendighet, men de kan forbedre de beregnede estimatene på de stående attributtene. Fordi laserskannerdata kan gi både høyde på individuelle trær og stammediameter og kronediameter, kan vi vesentlig forbedre nøyaktigheten på stammevolumestimatene ved å bruke eksisterende statistikker og kunnskap, noe som gjør denne oppfinnelsen til en globalt unik fremgangsmåte for fjernregistrering. Fremgangsmåter som er basert på luftfotografier og videobilder, er bare i stand til å registrere diameteren på kronen. Uten å være i stand til å måle andre fysiske egenskaper er slik sjekking ikke egnet med disse datakildene. Og fordi volumet på individuelle trær tradisjonelt blir bestemt mer nøyaktige ved å bruke både høyde og diameter og ikke bare diameter, er det mulig å produsere vesentlig mer nøyaktige volumestimater med laserskanner enn med luftfoto og videobilder. Foreløpige resultater tyder også på bedre nøyaktighet enn den som kan oppnås med tradisjonelt skogsregnskap.

Kunnskap kan også brukes for å estimere andelen med trær under det fremherskende laget, siden laserskanning bare kan gi høydemodeller av trær som kan ses ovenfra.Attributtene kan derfor bare bestemmes for slike synlige trær i skogen.

Dersom det eksisterer kunnskap om den mest sannsynlige fordelingen av høyde eller diameter, kan resultatene fra laserskanningen forbedres ved å bruke denne fordelingen. Weibull-fordelingen har blitt den mest brukte fordelingen for å beskrive diameterfordelingen. I Finland ble Weibull-fordeling for første gang brukt i en studie av Kilkki og Päivinen (P. Kilkki, R. Päivinen, 1986, "Weibull-funktion in the estimation of the basal area DBH-distributions", *Silva Fennica*, 20: 149-156.). Weibull-fordelingen møter de vanlige kravene til fleksibilitet i diameterfordelingen (A. Kangas, K. Korhonen, M. Maltamo, R. Päivinen, 1990, *Metsäkuvaavat mallit*, *Silva Carelica* 17, 143 p.). Betafordeling er enda mer fleksibel enn Weibull-fordeling, men beregningen krever numerisk integrasjon for å finne en skaleringsfaktor. Når fordeling blir brukt, blir fordelingen bestemt av laserskanneren sammenlignet med kjent fordeling, og vedrørende de manglende trærne blir det beregnet korreksjonsfaktorer for hver stående attributt. Bruk av fordeling er ikke nødvendig, men er anbefalt når bestanden er kjent som tett, den virkelige fordelingen er kjent, og når målet er å oppnå minst mulig systematiske feil. Uten noe korreksjon produserer laserskanneren en systematisk underestimering av stammevolumet i bestanden.

Ved å bruke diameter og høyde, kan treets utviklingsklasse bestemmes og alder på treet kan estimeres.

Stammegrunnflaten på et individuelt tre (m^2/ha) beregnes fra

$$g = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (6)$$

Antall stammer kan lett bestemmes som antall kroner i bildet.

Prosent kronedekning kan bestemmes av arealet som dekkes av trekronene delt på det totale arealet. I tillegg kan det

bestemmes ved å beregne antall laserpulser reflektert fra trærne delt på antall laserpulser i det ønskede området.

For å bestemme tre-arter finnes det to egnede metoder. I publikasjonen (J. Hyyppä, Hyyppä, H., Samberg, A., 1999, 5 Assessing Forest Stand Attributes by Laser Scanner, Laser Radar Technology and Applications IV, Proceedings of SPIE, 3707: 57-69) er det beskrevet et tverrsnittsbilde av skogen produsert av laserskanning, og koniske grantrær kan lett skilles fra furu og bjørk. Analysen kan også gjøres i tre 10 dimensjoner, og så, basert på prøvepunkter innen et område begrenset av treet, bestemmes geometrien og formen på treet, og denne informasjonen blir brukt for identifikasjon av treet. Luftfotografier er et relativt rimelig media, og kombinasjonen av laserskannerbildet med luftfoto gir følgende 15 bedre kunnskap om trærnes art. Luftfotografiene kan så korrigeres med trehøydemodellen (for eksempel en filtrert trehøydemodell) produsert av laseren, som også er en ny oppfinnelse. På denne måten kan både trehøydemodellen og luftfotografiet legges på hverandre. I luftfotografier 20 (falske fargebilder) kan løvfellende trær lett skilles fra gran og furu, og det kan også sees en fargedifferanse mellom disse to artene. Dersom laserskanneren lager intensitetsinformasjon av den spredte effekten, kan den brukes for artsbestemmelse.

25 Estimering av volum av individuelle trær kan gjøres ved å bruke parametre og attributter som er estimert tidligere. Det finnes tre forskjellige alternativ: 1) estimering av volum på grunnlag av høyden på trærne, 2) estimering av volum ved å bruke høyde og estimert stammediameter, og 3) 30 estimering av volum ved å bruke høyde, diameter og artsinformasjon. Laasasenaho (1982) (J. Laasasenaho, 1982, "Taper curve and volum functions for pine, spruce and birch," *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 108, 74 p.) har vist formler for hvordan høyde og diameter kan brukes for å 35 beregne volumet av individuelle trær for hver treart som følger

for furu

$$V=0,036089 d^{2,01395} (0,99676)^d h^{2,07025} (h-1,3)^{-1,07209}$$

(7)

for gran

$$V=0,022927 d^{1,91505} (0,99146)^d h^{2,82541} (h-1,3)^{-1,53547}$$

(8)

for bjørk

$$V=0,011197 d^{2,10253} (0,98600)^d h^{3,98519} (h-1,3)^{-2,65900}$$

(9)

10 Modellenes standardfeil er omtrent mellom 7 og 8,5%.

Stående attributter som korresponderer med en stikkprøve eller en bestand, kan bestemmes ved å bruke attributtene på individuelle trær i det spesifiserte området. For eksempel kan totalt volum pr hektar av en bestand beregnes ved å

15 summere volum på individuelle trær innen bestanden og dividere totalvolumet med bestandens størrelse. Med det tidligere beskrevne fordelingsprinsippet kan nøyaktigheten på estimatene forbedres med hensyn på trærne som ikke er synlige med laseren. I dette tilfellet bør man huske at det må

20 eksistere tidligere kunnskap om fordeling i bestanden. Gjennomsnittshøyden kan fås enten som aritmetisk middel av individuelle trehøyder. Vanligvis blir det beregnet et veid gjennomsnitt i skogsregnskap, hvori vektparameteren er stammegrunnflaten på hvert tre. Total stammegrunnflate pr

25 hektar kan fås ved å summere opp stammegrunnflater for alle individuelle trær og dividere resultatet med bestandens størrelse. En forenklet versjon av fremgangsmåten er å produsere voluminformasjon ved å anslå prosent kronedekning, stammegrunnflate eller et tilsvarende mål på tettheten ved

30 å bruke kroneareal og ved å anslå volum av trærne med denne informasjonen i tillegg til gjennomsnitt trehøyde (som er bestemt med bruk av trehøydemodellen) fra "relascope"-tabell presentert av Ilvessalo (Tapion Taskukirja 1978).

De fleste skoger har allerede blitt regnskapsført mange ganger. Resultatet fra den presenterte fremgangsmåten kan forbedres ved å bruke informasjon fra gamle/historiske regnskap, forutsatt at de gamle dataene er til å stole på.

5 Gamle skogregnskapsdata bør brukes slik at umulige resultater blir unngått. For eksempel kan en bestand som for 10 år siden hadde et volum på 5 m³/ha ikke nå ha et volum på 200 m³/ha.

Utførte tester har vist at den utviklede fremgangsmåten har
10 en nøyaktighet som er sammenlignbar eller til og med bedre enn konvensjonelle operative skogregnskapsmetoder.

Fremgangsmåten er egnet for skogsregnskap av individuelle trær, grupper av trær, stikkprøver, bestander og større områder. I det følgende er det vist hvor velegnet fremgangs-
15 måten er for bestandsvise skogsregnskap og nasjonalt skogsregnskap. Disse to regnskapstypene er de mest økonomisk viktige i Finland.

Fremgangsmåten er egnet for bestandsvise skogsregnskap, spesielt dersom den kombineres med tidligere innsamlet be-
20 standsvise regnskapsinformasjon. De laserutledete bestandsattributtene kan så kombineres med annen nødvendig informasjon, som land/frodighetsdata, som ikke forandres raskt. Den laserutledete terrengmodellen kan også brukes for å kartlegge nøkkelbiotoper.

25 Fremgangsmåten er ekstremt velegnet for nasjonalt skogsregnskap. Laserskanning blir vanligvis brukt til å produsere en stripe med noen hundre meters bredde. For å dekke store områder, må det flys mange parallelle striper. Svingene mellom de planlagte stripene bør ikke miste forbindelsen til GPS-satellittene og tar mye tid, noe som øker kostnadene. I nasjonalt skogsregnskap gjør data fra laserskanner det mulig å redusere feltarbeid, og resultatene som
30 skaffes for individuelle trær og stikkprøver fra laserskanner kan brukes for læring av satellittdatakilder. Også fly-

ing er effektivt i landets skogsregnskap. Flylinjene kan planlegges for å dekke hele landet. Ved å bruke den foreliggende fremgangsmåten kan nasjonalt skogsregnskap i høy grad automatiseres. Ved Finnish Forest Research Institute
5 har de prøvd å utvikle - med hjelp av bildespektrometer (AISA) - innsamlingen av bestandsattributter og redusering av feltprøver. Resultatene som er oppnådd med AISA er imidlertid vesentlig dårligere enn resultatet som oppnås med den foreliggende fremgangsmåten.

P a t e n t k r a v

1. Fremgangsmåte for bestemmelse av bestand-attributter med et instrument over bestanden, k a r a k t e r i s e r t v e d a t

5 a) tredimensjonal informasjon samles inn fra bestanden med bruk av laserskanner og ved å bruke et stort nok antall prøver til at individuelle trær kan skilles ut,

b) en tredimensjonal presentasjon av bestandens høyde produseres fra den innsamlede tredimensjonale informasjonen, 10 ved å beregne forskjellen mellom en kronemodell som representerer de høyeste punktene av vegetasjonen og en terrengmodell som representerer terrenghøyder,

c) trehøyder av individuelle trær blir bestemt fra nevnte tredimensjonale presentasjon av bestandshøyden ved bruk av 15 metoder for mønstergjenkjenning, og hvor trehøyden blir bestemt med kjente metoder ved å ta den maksimale bestands-høydeverdi av den tredimensjonale presentasjonen av bestandshøyden innen det korresponderende kroneområde, og

d) stammevolumet av individuelle trær blir estimert ved 20 bruk av de bestemte trehøyder.

2. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d a t antallet prøver blir valgt ut i henhold til påkrevet presisjon.

3. Fremgangsmåte som angitt i krav 1 eller 2, 25 k a r a k t e r i s e r t v e d a t informasjonen som samles inn i punkt 1a, er informasjon basert på tredimensjonale avstandsmålinger.

4. Fremgangsmåte som angitt i ett av de foregående kravene 1-3, 30 k a r a k t e r i s e r t v e d a t den tredimensjonale

trehøydemodellen blir fremstilt ved å bruke forskjellige typer registreringsmodi og ved å kombinere resultatene fra disse modiene, hvorved en større mengde av tilgjengelige prøver er tilgjengelig.

5 5. Fremgangsmåte som angitt i ett av de foregående kravene 1-4,

k a r a k t e r i s e r t v e d at prøvene som fås fra et gitt tre innenfor sine grenser blir brukt enten på en todimensjonal eller en tredimensjonal måte for å bestemme geometrien og/eller formen på treet enten for modellering av bestanden eller modellering av treart.

6. Fremgangsmåte som angitt i ett av de foregående kravene 1-5,

15 k a r a k t e r i s e r t v e d at karakteristikkene på individuelle trær eller grupper av trær som kan fås fra trehøydemodellen er lokasjon, alder, høyde, diameter på kronen, stammediameter, stammegrunnflate, utviklingsklasse, treart, stammevolum og/eller antall stammer per områdeenheter og andre statistiske attributter som kan utledes ved å bruke denne informasjonen.

7. Fremgangsmåte som angitt i krav 6,

k a r a k t e r i s e r t v e d at lokasjon og krongrenser til individuelle trær kan analyseres med kjente fremgangsmåter for mønstergjenkjenning.

25 8. Fremgangsmåte som angitt i krav 6,

k a r a k t e r i s e r t v e d at stammediameteren kan utledes ved å bruke gjennomsnittlig kronediameter eller gjennomsnittlig diameter av trehøyden og kronediameter og eventuelt ved å bruke kunnskapsbaserte regler og eventuelt separat for hver treart.

9. Fremgangsmåte som angitt i krav 6,

k a r a k t e r i s e r t v e d at utviklingsklasse og

treets alder blir bestemt ved å bruke diameter og høyde og eventuelt separat for hver treart.

10. Fremgangsmåte som angitt i krav 6,
k a r a k t e r i s e r t v e d at antall stammer blir
5 bestemt ved å bruke antall kroner som defineres ut fra bildet.

11. Fremgangsmåte som angitt i ett av de foregående kravene 1-4,
k a r a k t e r i s e r t v e d at prosent kronedekning
10 kan bestemmes av arealet dekket av trekroner dividert på totalt areal.

12. Fremgangsmåte som angitt i ett av de foregående kravene 1-4,
k a r a k t e r i s e r t v e d at prosent kronedekning
15 bestemmes ved å beregne antall laserpulser som reflekteres fra trærne, dividert på totalt antall laserpulser innen et gitt område.

13. Fremgangsmåte som angitt i ett av de foregående kravene 6-12,
20 k a r a k t e r i s e r t v e d at for en større gruppe trær, i tillegg til at karakteristikkene til individuelle trær og grupper av trær og deres statistiske informasjon, blir antall stammer og prosent kronedekning bestemt, hvor begge kan brukes for estimering av karakteristikker og at-
25 tributter på stikkprøver og bestander.

14. Fremgangsmåte som angitt i ett av de foregående kravene 6-13,
k a r a k t e r i s e r t v e d at bestandens volum helt eller delvis bestemmes ved å bruke gjennomsnittlig be-
30 standshøyde og prosent kronedekning, hvor sistnevnte er (arealet dekket av kronene dividert på totalareal) eller stammegrunnflaten.

15. Fremgangsmåte som angitt i ett av de foregående kravene 1-14,

k a r a k t e r i s e r t v e d at informasjon fra andre kilder, slik som gamle data fra skogsregnskap, luftfotografier og satellittbilder, blir lagt til informasjonen som
5 brukes for å bestemme bestandsattributtene, i tillegg til informasjonen som fås med laserskanning.

16. Fremgangsmåte som angitt i ett av de foregående kravene 1-15,

10 k a r a k t e r i s e r t v e d karakteristikk relatert til treets kvalitet blir bestemt ved å definere lengden på kvistfri stamme ut fra den tredimensjonale bestandsinformasjonen.

17. Fremgangsmåte som angitt i ett av de foregående kravene 1-16,

15 k a r a k t e r i s e r t v e d at bestemmelsen av bestandsattributtene ut fra informasjonen fra laserskanner blir utført med et dataprogram.

18. Fremgangsmåte som angitt i krav 1,

20 k a r a k t e r i s e r t v e d at informasjonen innsamlet av laserskanneren for synlige trær blir forbedret ved å bruke tidligere kjennskap om den mest sannsynlige fordelingen av høyder og diametere, idet den forbedrede informasjonen inkluderer et estimat av andelen trær under det dominante trelag.
25

19. Dataprogram for bestemmelse av bestandsattributter ut fra informasjon som har blitt skaffet ved bruk av et instrument over bestanden,

k a r a k t e r i s e r t v e d

30 a) tredimensjonal informasjon blir samlet inn fra bestandene ved bruk av laserskanner og ved å bruke et slikt antall prøver at individuelle trær eller grupper av trær kan skilles ut,

b) en tredimensjonal presentasjon av bestandshøyden blir produsert ut fra den innsamlede informasjonen,

c) bestandsattributter - som er karakteristikk av individuelle trær eller grupper av trær og/eller karakteristikk for større områder utledet av denne informasjonen -
5 blir bestemt ut fra trehøydemodellen.

20. Dataprogram som angitt i krav 19,
k a r a k t e r i s e r t v e d at det utfører en av fremgangsmåtene angitt i krav 1 - 18.

1/7

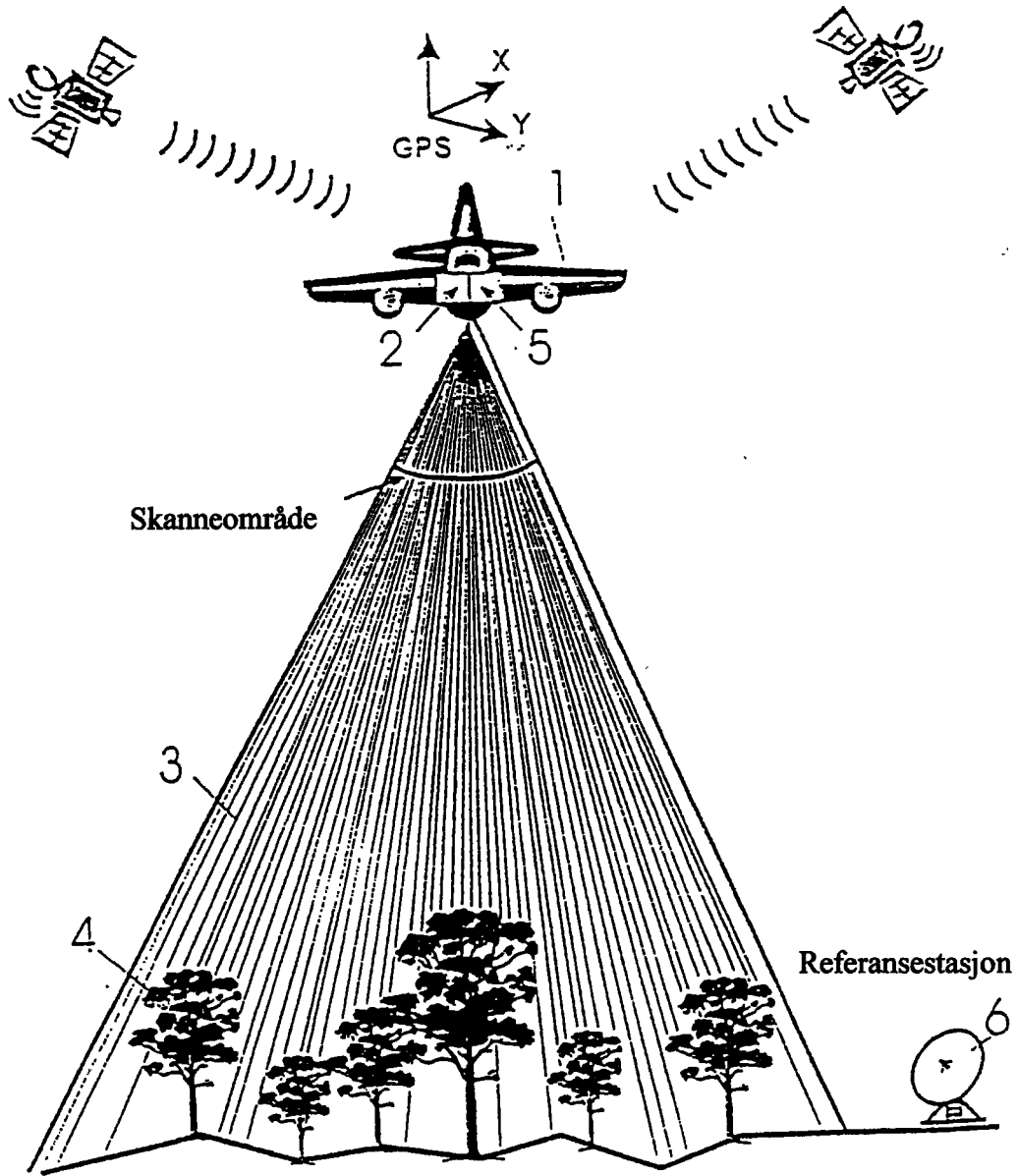


FIG. 1

2/7

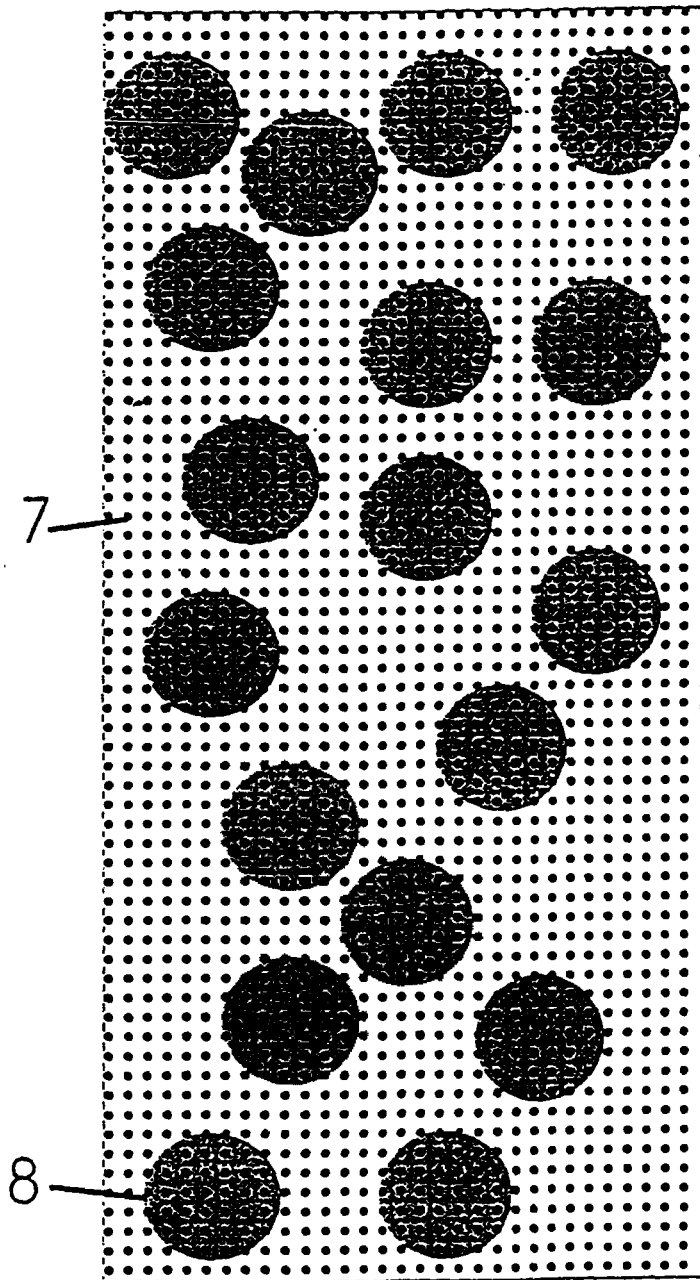


FIG. 2

3/7

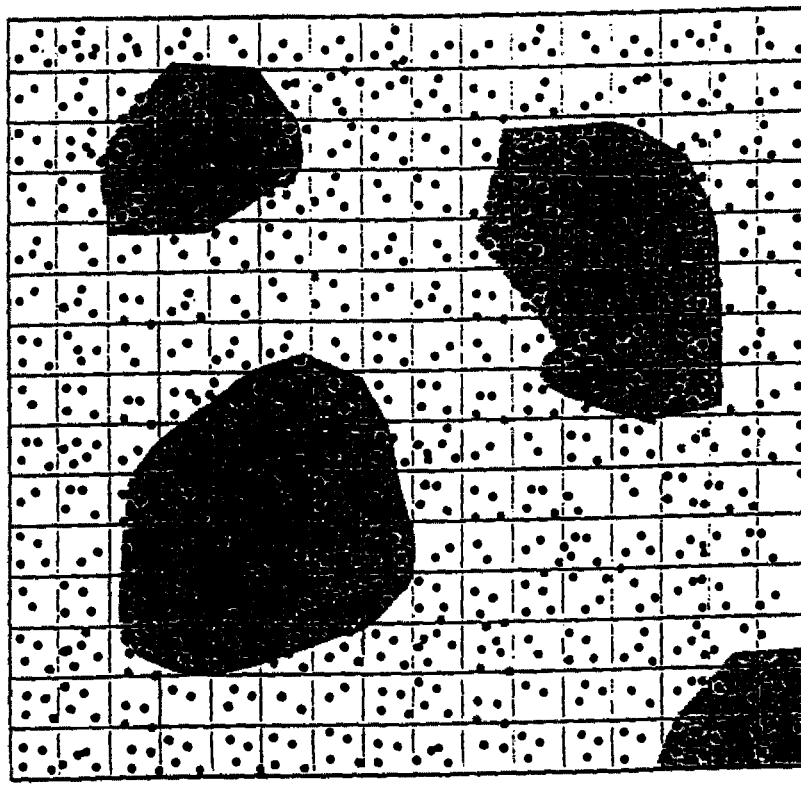


FIG. 3

4/7

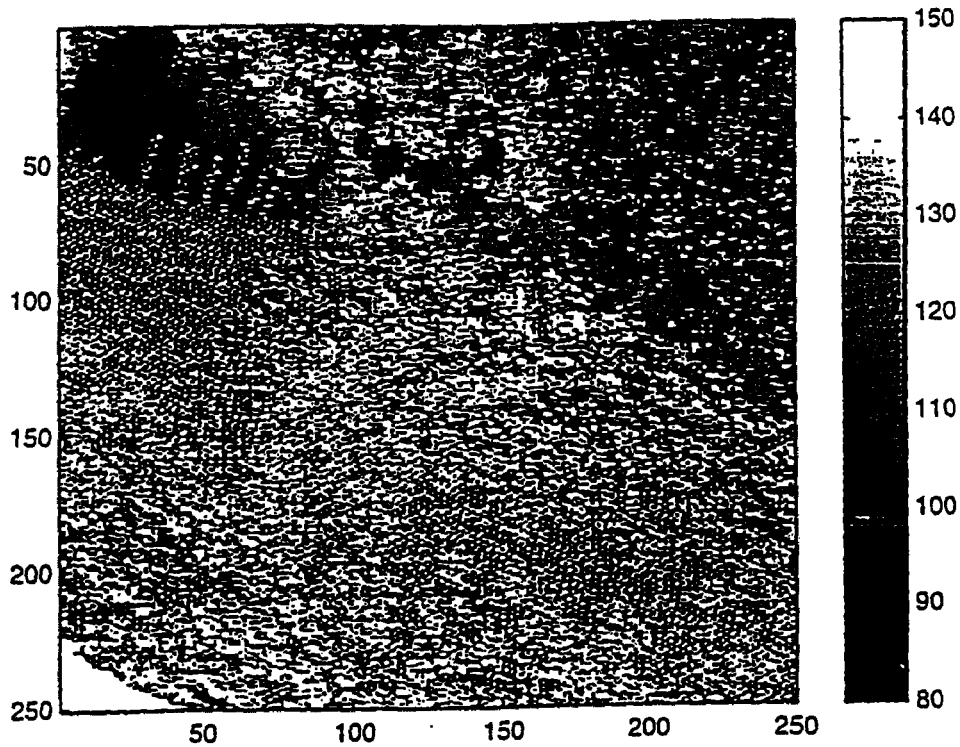


FIG. 4

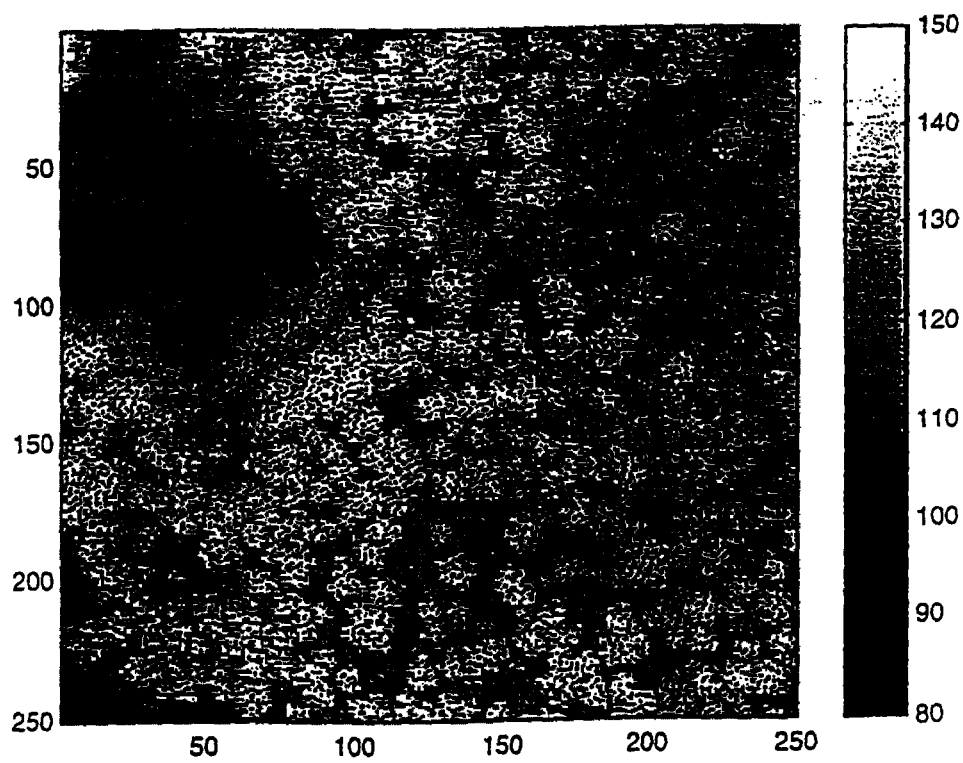


FIG. 5

5/7

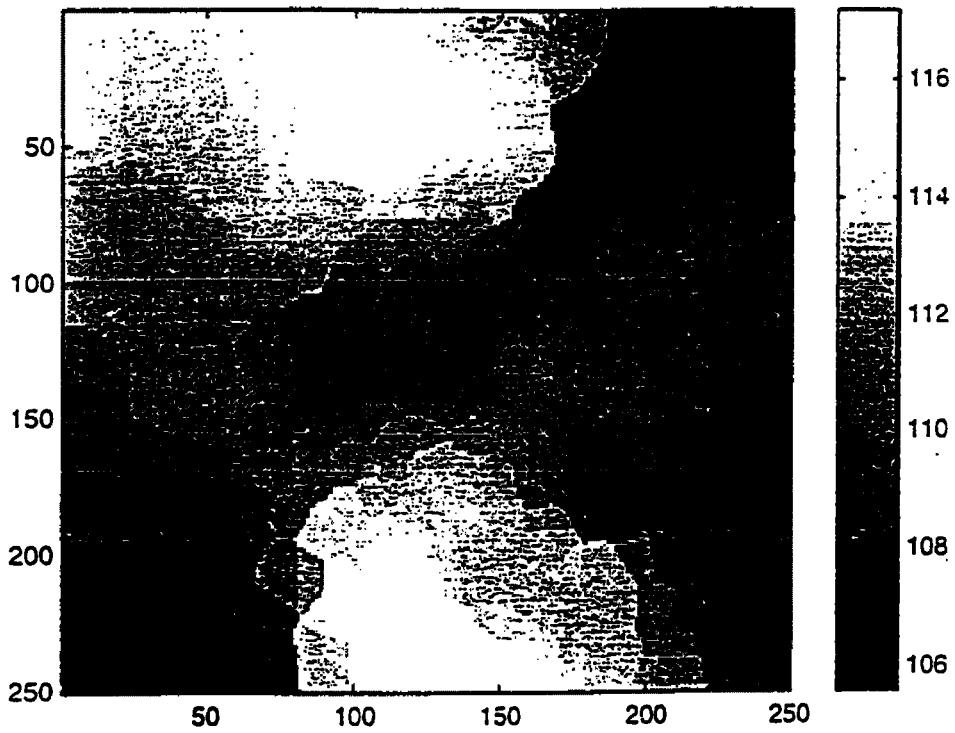


FIG. 6

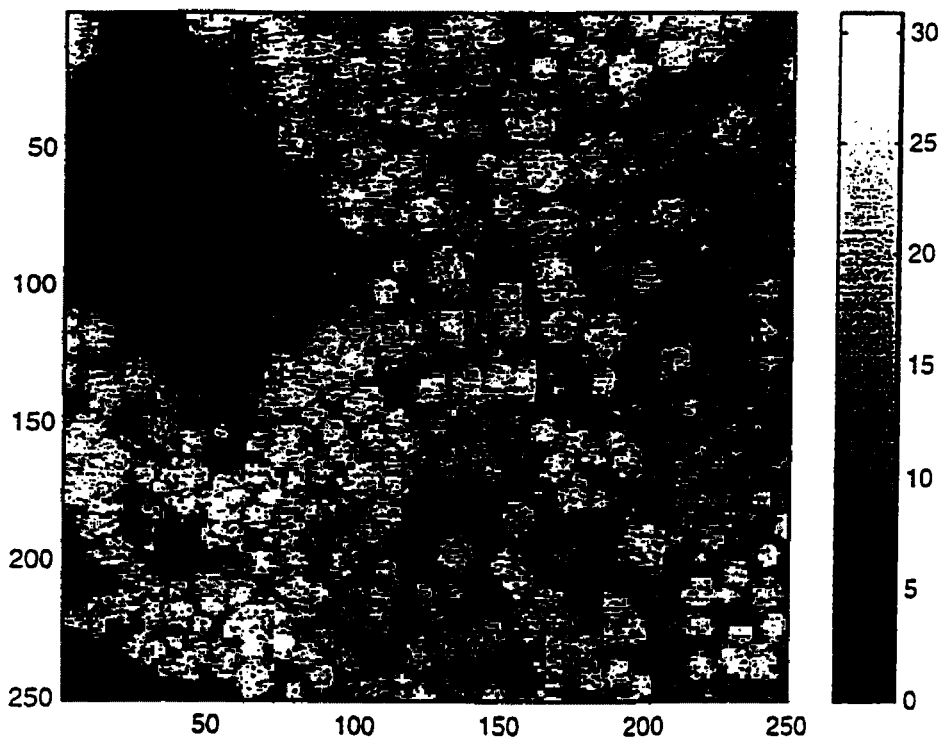


FIG. 7

6/7

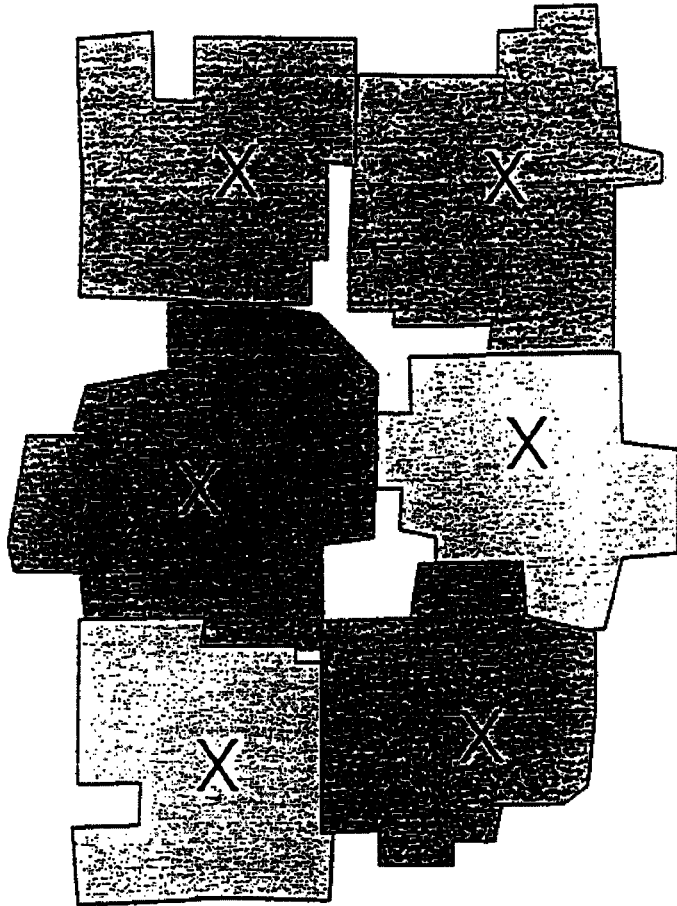
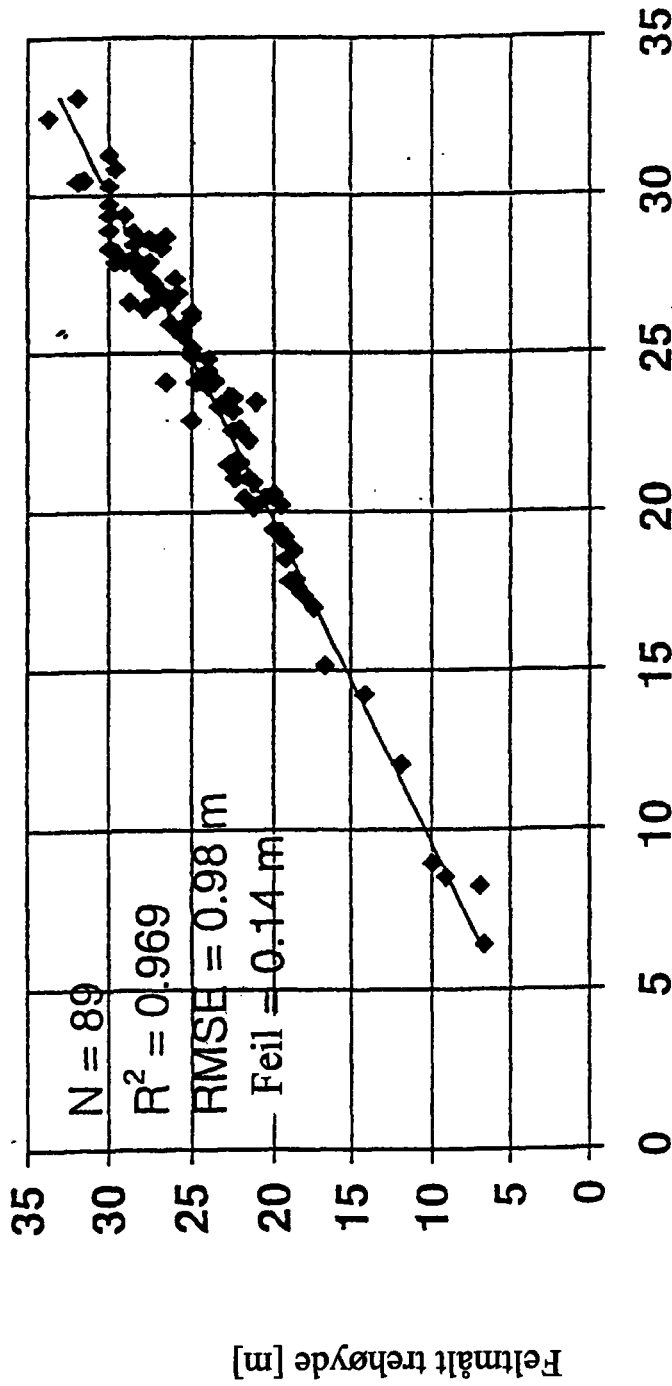


FIG. 8

7/7



Laseravledet trehøyde [m]

FIG. 9