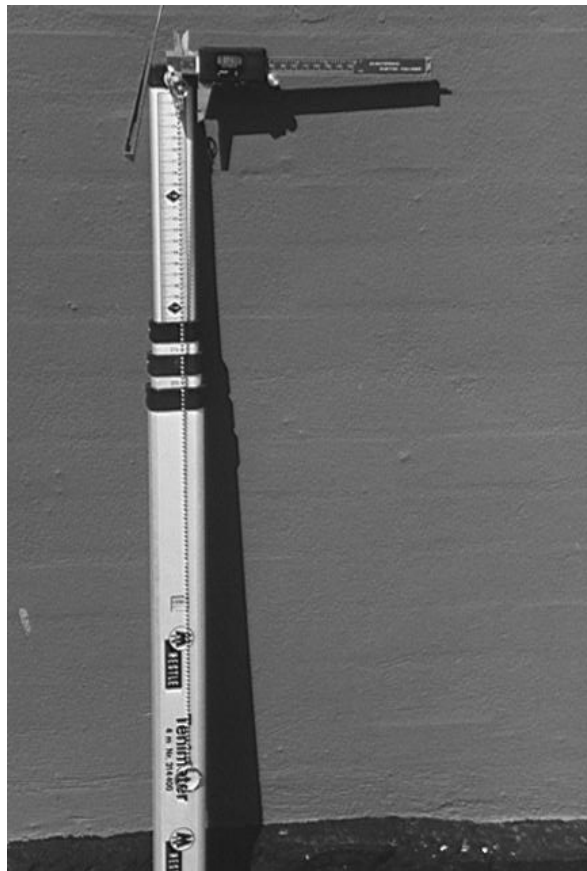


Stokoskopi

Diametermåling på stående træer i valgfri højde



1. januar 2002

Skov- & Landskabsingeniør Truls Wiberg
*Fasangaarden
Borupvej 62
4683 Rønnede*

Telefon + 45 56 79 12 42 eller + 45 24 65 88 68

© Copyright. Eftertryk ikke tilladt

Indhold

1.	Indledning	3
2.	Relaskopet	3
3.	Diskussion	3
4. 1	Afstandsmåling	5
4. 2	Afstandsmåling på skråninger	5
5. 1	Højdemåling	5
5. 2	Højdemåling på skråninger	5
6. 1	Stokoskopi	6
6. 2	Stokoskopi på skråninger	7
7.	Stokoskopet	8
8.	Vedmasseberegninger	9
9. 1	Forsøg	11
9. 2	Målingernes nøjagtighed	11
	I. Lomme-Stokoskop	11
	II. Stokoskop med støtteben	11
	III. Stokoskop med variabel spalte	12
	IV. Afstandsmåling	12
	V. Stokoskopi i kuperet terræn	12
9. 2. 1	Beregning af diameter, ILYX – målinger	13
9. 2. 2	Beregning af vedmasser	14
9. 3	Fejlkilder og fejlgrænser	15
10.	Konklusion	17
Bilag	Skærbillede fra Proknus	
	Diagram, til opsøgning af topdiameter	
	Forsøgsmåling fra Annebjerg Skov, bøg og eg, 2 s	
	Fejlgrænser	
	Diagram, Annebjerg forsøget, 2 s	
	Diagram, Måleafvigelser	
	Brugsanvisning	

Stokoskopi – en målemetode til beregning af topdiameter m.v. på stående træer.

Skov- og Landskabsingeniør Truls Wiberg

1. Indledning

Stokoskopi er en metode til at med enkle hjælpemidler måle og beregne en diameter i valgfri højde på et stående træ. Metoden består af fire trin, afstandsmåling, højdemåling, topdiameter-måling og beregning eller aflæsning i et diagram. Målemetoden finder først og fremmest sin anvendelse inden fældning af værdifulde træer efter specifikation.

Navnet ”*Stokoskop*” er sammensat af ”stokastisk” (at forudberegne statistisk med tilnærmelsesvis sikkerhed eller en stok, dvs. et stk. tømmer eller en kævle) og endelsen –skopi (brug af apparat ved iagttagelse ved syn eller hørelse). Middelværdien m , der bruges i beregningerne er en stokastisk variabel. Ved topdiameter forstås her det enkelte effekts øvre diameter.

I det følgende gennemgås teorien og forsøgene bag stokoskopet som har grundideen til fælles med relaskopet.

2. Relaskopet

Et relaskop bruges til at beregne grundflader og afledt deraf, den stående vedmasse i en bevoksning. Både sigtespalte og kædelængde (snor) har oftest en fast størrelse, mens brysthøjdediameter (dbh) og observationsafstand kan ændres. Det træ der lige akkurat udfylder spalten kaldes grænsetræ.

$$\text{Sigtespalte / kædelængde} = \text{brysthøjdediameter / observationsafstand}$$

Eksempel: Suunto PM-5/1520 dendrometer: $1 / 50 = 20 / 1000 \text{ cm}$

Ovenstående formel kan ændres til:

$$\text{Brysthøjdediameter} = \text{sigtespalte} * \text{observationsafstand} / \text{kædelængde}$$

Udskiftes sigtespalten med en måleenhed, f.eks. et lille stykke af en tommestok og er observationsafstanden og kædelængden kendt kan man ved en aflæsning således skønne træets diameter.

Eksempel: $\text{Dbh} = 1,7 \text{ cm} * 15 \text{ m} / 50 \text{ cm}$ $\text{Dbh} = 0,51 \text{ m}$

3. Diskussion

Det er nu nærliggende at bruge målemetoden til at skønne et træs diameter højere oppe end dbh. Det vil sige at måle midt- eller topdiameter på stående træer, langt udenfor normal rækkevidde.

Her støder vi ind i en række problemer af måleteknisk og geometrisk art.

For det første har menneskets øje vanskeligheder ved, at fokusere på både den nærliggende måleenhed og på træet der ønskes målt. For at opnå en brugbar måling er vi nødt til at flytte måleenheden længere væk. I praksis vil det sige ca. 60-75 cm. Afstanden afhænger armlængde, personens alder, behov for briller m.v. Dette er velkendt for skytter der har vanskelighed med at fokusere samtidig på både korn, kærve og mål. Ligheden med skydning omfatter også selve aflæsningen, der kræver lidt øvelse.

For det andet er formålet med målingen væsentlig, da den bør føre til en vurdering af om nøjagtigheden bliver tilfredsstillende med den valgte metode. Dr. Walter Bitterlich i Østrig opfandt spejl-relaskopet der bl.a. kan måle topdiameter. Instrumentet er ret kostbart og ses meget sjældent i dansk skovbrug, hvilket nok også skyldes, at det kræver en del teori og megen øvelse. Tele-relaskopet, laser-dendrometeren og Wheelers pentaprism er ligeledes meget eller ret kostbare instrumenter til videnskabelig brug. En anden måde at sige dette på er, at ”omkostningerne stiger med kravet til nøjagtigheden”. Er stokoskopi et realistisk alternativ for praktikerne til de i dag mest benyttede metoder: fældning af prøvetræer kombineret med erfaring og beregning af afsmalning eller en medarbejder med klup der sendes til vejs?

For det tredje skal målestedet være kendt. Det kan enten være tale om toppen af en effektlængde eller en aflægningsgrænse (knast eller andet kvalitetsskel). Det kan være tale om måling af en topdiameter til master m.v. eller en midtdiameter. Måske ønsker man at opmåle sektioner af et træ. Det vil sige at vi skal kunne finde målestedet og fastholde det på træet under aflæsning af måleenheden. Dette forudsætter, at målestedet er bestemt ved en forudgående højdemåling.

Det er enklest at foretage både relaskop- og højdemåling når denne foregår på fladt terræn. De fleste gange kan man flytte sig på en skråning så, at man står i niveau med roden på træet. Det forudsættes i det følgende almene ræsonnement (afsnittene 4.1, 5.1 og 6.1), at stokoskop-målingerne foretages stående i samme terrænhøjde som roden på træet. Afvigelser der er større end $8-10^\circ$ fra horisontalplanet medfører grove fejl. Den lidt mere komplicerede beregning af topdiametermålinger på skråninger gennemgås i afsnittene 4.2, 5.2 og 6.2.

Højdemåling foregår fra roden af træet til målestedet. Er effektlængden (l_1) kendt, skal der tages hensyn til stødhøjde (l_2). Målestedet er den ene sigtelinies tangentspunkt på siden af stammen. Heraf følger, at den vandrette observationsafstand (A, horisontalplanet) også skal måles til midten af siden på træet eller ved hældende træer til lodlinie under tangentspunktet. Se figur 1, side 6.

For det fjerde skal den skrå observationsafstand (C) være kendt. Denne er lig med sigtelinien eller det ene ben i den spidse trekant der dannes ved aflæsningen på måleenheden (d). Målt fra øjet til tangentspunktet. Denne trekant står vinkelret på højdemålingens øverste trekant, jfr. nedenstående.

Ved højdemåling med to retvinklede trekanter vil den øverste trekants hypotenuse være lig med den skrå observationsafstand fra topdiameter-målingen.

Herefter kan topdiameteren D_s beregnes.

4. 1 Afstandsmåling

En korrekt afstandsmåling er af afgørende betydning for at kunne beregne en topdiameter. Den søgte afstand A, er den vandrette afstand mellem øjet og målestedets lodlinie. Målingen foregår enten med målebånd (mb), eller stadie og prisme (sp) der hører til Suunto's dendrometer. Nøjagtigheden forsøges holdt indenfor $\pm 0,1$ m. Ved fladt terræn er den målte afstand $A' \approx A$.

4. 2 Afstandsmåling på skrånninger

På skrånninger er $A' > A$, og der skal foretages korrektion:

Afstandskorrektion, afstanden A' målt med stadie og prisme: $A = A' * \cos^2 v$

Afstandskorrektion, afstanden A' målt med målebånd: $A = A' * \cos v$

5. 1 Højdemålingen

Højdemålingen foretages lettest med den brugervenlige Suunto PM-5/1520 dendrometer. Med den sker aflæsning direkte i meter. De to skalaer (1/20 og 1/15) har positivt fortegn for højder (h_1) over vandret plan og negativt under vandret (h_2). Dendrometeren er forsynet med optisk afstandsmåler til stadie. Da målingen af den vandrette observationsafstand skal foregå til målestedets lodlinie, hvilket oftest er på siden af træet i forhold til den der måler, og da afstanden kan variere under målingen kan der i stedet med fordel bruges selvoprullende målebånd.

5. 2 Højdemåling på skrånninger

Er man nødt til at foretage aflæsning, hvor terrænhældningen er større end ca. $5-6^\circ$ bør man foretage korrektion. Med dendrometer svarer det til at aflæsningen på venstre skala (1/20) er større end $\pm 2,0$ m, og på højre skala (1/15) større end $\pm 1,5$ m.

Til Suunto's dendrometer, der blev brugt ved forsøgene, kan man bruge enten det tilhørende nomogram eller korrigerer højden H' med faktoren $\cos^2 v$, hvor v er vinklen mellem vandret plan og stadiets 0-mærke (øjnehøjde ved træet). Er der brugt målebånd bruges faktoren $\cos v$.

Vinklen v, fås direkte på dendrometerens bagside, hvor aflæsningen af venstre skala (1/20) konverteres til grader (360°). Aflæsningen er højdeforskellen mellem vandret plan til stadiets 0-mærke der er placeret i øjenhøjde eller for målebånd afstanden mellem vandret plan og et mærke afsat i øjenhøjde på træet.

Højdekorrektion, afstanden A' målt med stadie og prisme: $H = H' * \cos^2 v$

Højdekorrektion, afstanden A' målt med målebånd: $H = H' * \cos v$

Bruges højre skala (1/15) beregnes vinkelen v ved:

$$\sin v = o / A'$$

Hvor o er aflæsningen i meter fra vandret til 0-mærke (øjnehøjde ved træet) og A' den ikke korrigerede afstand til lodlinien.

6. 1 Stokskopi

Til metoden skal der bruges et stokoskop (se afsnit 7, side 8), en højdemåler og et målebånd eller stadie. Ved at kombinere en højdemåling med en "omvendt relaskopmåling" foretaget fra det samme punkt med hjælp af en variabel spalte kan topdiameteren beregnes.

Når den vandrette afstand (A) til træet er kendt, effektlængden (l_1), stød højden (l_2), øjets højde over terræn ved træet (h_2), afstand fra øje til måleenhed (a) og den flugtede diameter (d) er aflæst kan topdiameteren (D_s) beregnes efter:

$$D_s = d * \sqrt{(A^2 + (l_1 + l_2 - h_2)^2)} * 100 / a$$

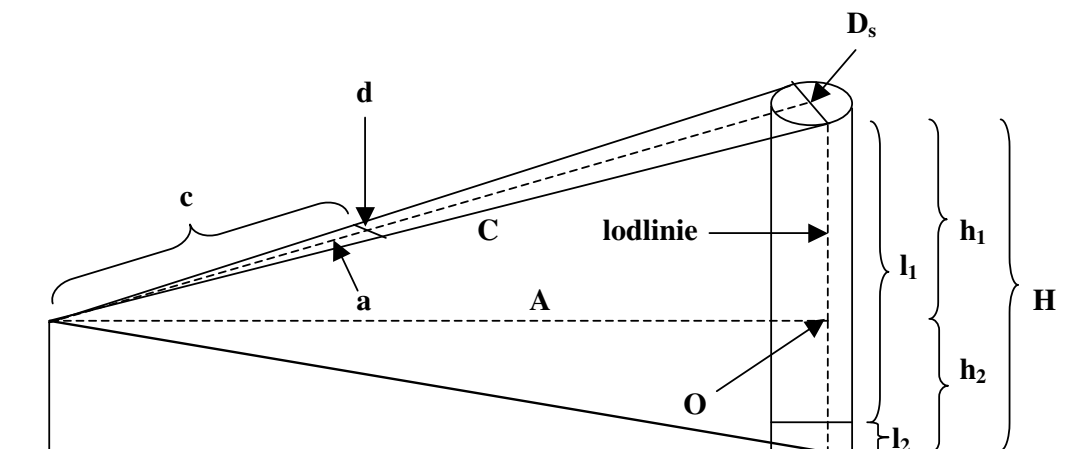
Aflæsning til rod, h_2 , indgår her med den absolutte værdi, det vil sige uden fortegn.

Eksempel:

d : 17 mm	A : 15,0 m	l_1 : 6,4 m
l_2 : 0,20 m	h_2 : 1,70 m	a : 700 mm

$$D_s = 17 * \sqrt{(15^2 + (6,4 + 0,20 - 1,7)^2)} * 100 / 700$$

$$D_s = 17 * \sqrt{(249,01)} * 100 / 700 \qquad D_s = 38 \text{ cm}$$



Figur 1: Stokskopi på fladt terræn, øjenhøjden = h_2 ved $v = 0$.

Bevis:

$$D_s / C = d / c \quad \Leftrightarrow \quad D_s = d * C / c$$

$$H = h_1 + h_2 \quad H = l_1 + l_2 \quad h_1 = H - h_2 \quad h_1 = l_1 + l_2 - h_2$$

$$C = \sqrt{A^2 + h_1^2} \quad \Leftrightarrow \quad C = \sqrt{A^2 + (l_1 + l_2 - h_2)^2}$$

$$c = \sqrt{a^2 + (d/2)^2}$$

$$D_s = d * \sqrt{A^2 + (l_1 + l_2 - h_2)^2} / \sqrt{a^2 + (d/2)^2}$$

I praksis vil $a \approx c$, hvilket gør det muligt at forenkle formlen til:

$$D_s = d * \sqrt{A^2 + (l_1 + l_2 - h_2)^2} / a$$

Ved at multiplicere med 100 fås resultatet i cm.

$$D_s = d * \sqrt{A^2 + (l_1 + l_2 - h_2)^2} * 100 / a$$

6.2 Stokoskopi på skråninger

Ovenstående ræsonnement gælder for almindelig flad skovbund. I lighed med højdemålingens korrektion af højden H' når vinkelen v er større end $5 - 6^\circ$ skal der ved topdiameter-måling også ske korrektion. På skråninger kan man ikke nøjes med at sætte $h_2 =$ øjenhøjde, men h_2 måles som højdeforskellen fra vandret til roden eller lodliniepunktet. Således skal h_2 kunne aflæses i meter ved højdemålingen. Dendrometeren er derfor her at foretrække frem for f. eks. en faldmåler der måler i procent.

- En dendrometer-aflæsning til rod under vandret sigteplan har negativt fortegn. Er roden over vandret så er fortegnet positivt.
- Når det vandrette sigteplan er under rodens niveau beregnes højden efter: $H = h_1 - h_2$

Heraf følger at ligningen i 6.1 skal skifte fortegn foran h_2 når der aflæses i stejlt terræn opad bakke. For at få en ligning der gælder både for fladt og kuperet terræn ændres ligningens negative fortegn til et positivt foran h_2 . Indsætning af h_2 i ligningen sker herefter med aflæsningens gældende fortegn. Samtidig t indføres korrektionen for terrænhældningen:

Topdiameter-måling når afstanden A' er målt med stadie og prisme og betydende terrænhældning:

$$D_s = d * \sqrt{(A' * \cos^2 v)^2 + (l_1 + l_2 + h_2 * \cos^2 v)^2} * 100 / a$$

Topdiameter-måling når afstanden A' er målt med målebånd og betydende terrænhældning:

$$D_s = d * \sqrt{(A' * \cos v)^2 + (l_1 + l_2 + h_2 * \cos v)^2} * 100 / a$$

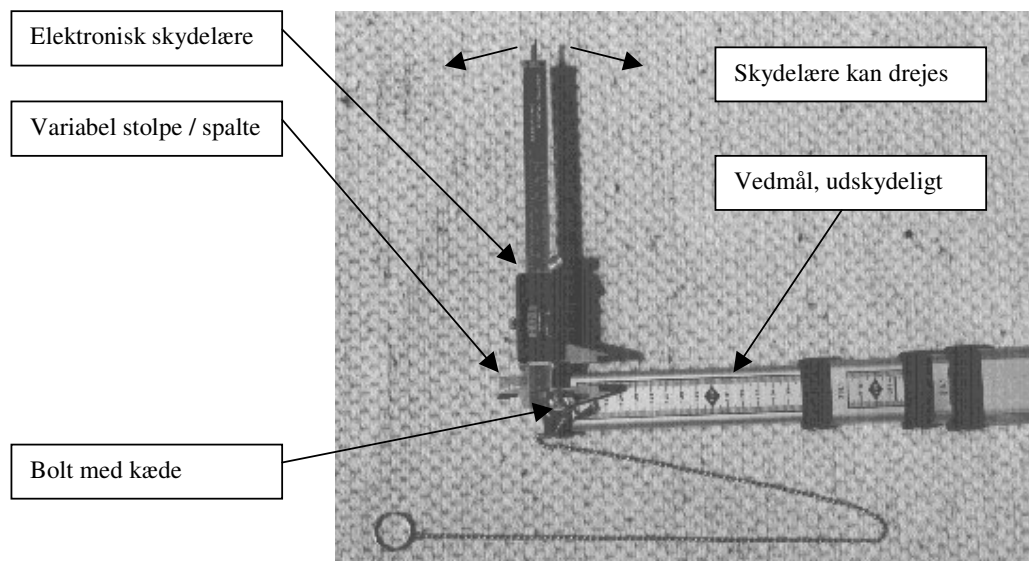
Til forskel fra ligningen i 6.1 er de to sidste ligninger i 6.2 gældende både på flad skovbund og i kuperet terræn, når man bare husker at indsætte h_2 med det aflæste fortegn.

Præcis som for højdemåling på skråninger er v givet ved: $\sin v = o / A'$

Til ovenstående beregninger er der udviklet et edb-program der hurtigt og sikkert løser ligningerne.

7. Stokoskopet

Stokoskopet er sat sammen af tre dele: En skydelære (egentlig en variabel spalte) med digitalt display, graderet i 1/100 mm. Støttebenene består af et favnsmål og et sammenskydeligt vedmål. Vedmålet fungerer som Jacobs stav. Se figur 2. Alle delene kan hver for sig bruges til andre opgaver efter behov. Skydelæren er sat fast til vedmålet med en bolt, der ender i en kæde (afstanden a , fra øje til måleenhed). Favnmålet stabiliserer instrumentet. Skydelære, bolt og kæde kan bruges som "Lomme-stokoskop" til frihands-måling.



Figur 2. Stokoskop

Fremgangsmåde

Først stiller brugeren sig ved træet og finder øjenhøjden der afmærkes. Træet vurderes m.h.t. til oval vækst og hældning. Målebåndet (eller stadiet hvis man bruger optisk afstandsmåling) placeres i lodlinie i forhold til målestedet. Gå ud til f. eks. 15 m (A'). Aflæs på højdemåleren om horisontalplanet svarer til mærket for øjenhøjde på træet. Vurder om terrænhældning kræver

korrektion eller ej. Foretag højdemåling og efterfølgende topdiameter-måling eller tilsvarende midtdiametermåling for en eller flere sektioner.

Ved brug af stokoskopet med støtteben stiller brugeren sig i afstanden A', med instrumentet foran sig med favnemålet vinkelret på A', hvorefter man tager kæden op til øjet (på samme måde som man bruger et relaskop) samtidig som man støtter stokoskopet med den frie hånd. Skydelæren flyttes vertikalt ved at trække op eller ned i vedmålet. Der korrigeres for ændring i afstanden ved at flytte opstillingen, til øjet igen befinder sig i afstanden A'. Ønsker man at ændre afstanden A', skal den aflæses og noteres. Målingen kan ske mellem skydelærens kæber, hvor træet lige akkurat udfylder spalten i lighed med relaskopets grænsetræ. Drejes skydelæren 180° i vertikalplanet, kan man i stedet bruge de indvendige kæber som en variabel stolpe.

Diagrammer

Er effekt længden og en ønsket topdiameter kendt på forhånd og bruger man en fast afstand A', kan man i edb-programmet udskrive et diagram der kan medbringes i skoven på fladt terræn. X-aksen udgøres af aflæsningen d i mm på stokoskopet. Y-aksen viser topdiameteren D_s i cm. Lomme-stokoskopet og et diagram kan med fordel bruges til hurtige skøn. Diagrammer kan ikke bruges i kuperet terræn.

Gode råd

For at kunne fastholde målestedet i hukommelsen er det en god ide', at lægge mærke til træets bark eller til en gren i baggrunden. Prøv at få nogenlunde lys bagved stammen, gerne med solen i ryggen. Det kan være svært at aflæse i modlys eller ind mod en mørk granskov. Hold krop og hoved i ro så, at afstanden A' ikke ændres. Da diameteren ændrer sig ganske lidt pr. meter stammehøjde kan målestedet udmærket flyttes 30 cm uden større fejl. På samme måde som man flytter ovenover knaster ved klupning flytter man opad, hvis målestedet falder sammen med en grenfod eller grenkrans.

Stokoskopets måleenhed skal holdes vinkelret på en tænkt linie fra øjet til træets centrum ved målestedet. Hælder eller krummer stammen til en af siderne skal stokoskopet drejes i vertikalplanet indtil stammens sidelinjer flugter med spaltens/stolpens sider.

8. Vedmasseberegninger

Ligesom relaskopet bidrager til beregning af vedmassen i en bevoksning kan stokoskopet bruges til at beregne vedmassen i stammen hos et enkelt træ.

Er der kun én kævle eller et stykke tømmer kan vedmassen (V) beregnes, hvis man foretager en midtmåling (D_{sm} : "Diameter Stokoskop midtmålt") på træet, hvor L er længden på effekten udtrykt i meter. Diameteren angives i centimeter.

$$V = D_{sm}^2 * L * \pi / 40000 \quad \text{eller} \quad V \approx D_{sm}^2 * L * 7,854 * 10^{-5}$$

Formelen er umiddelbart lettere at huske i ord:

$$\text{Volumen} = \text{Diameter} * \text{Diameter} * \text{Længde} * \pi / 40000$$

Deles træet op i sektioner med efterfølgende topdiameter-målinger, kan sektionernes volumen beregnes:

Sektionernes navn	Benævnelse	Topdiametermålet
Topsektion	n	Ds_n
Evt. mellemsektion	2, 3...n-1	$Ds_2, Ds_3 \dots Ds_{n-1}$
Bundsektion	1	Ds_1

Tabel 1. Summen af antallet sektioner er benævnt med n. Er der kun en kævle eller stk. tømmer er $n = 1$. Bemærk at $Ds = D_s$

Eksempel: Et træ med en sektion 1 bund
 Et træ med to sektioner 1 og 2 bund og top
 Et træ med tre sektioner 1, 2 og 3 bund-, mellem- og topsektion

$$\text{Topsektionens volumen: } V_n = ((Ds_n + Ds_{n-1})/2)^2 * L_n * \pi / 40000$$

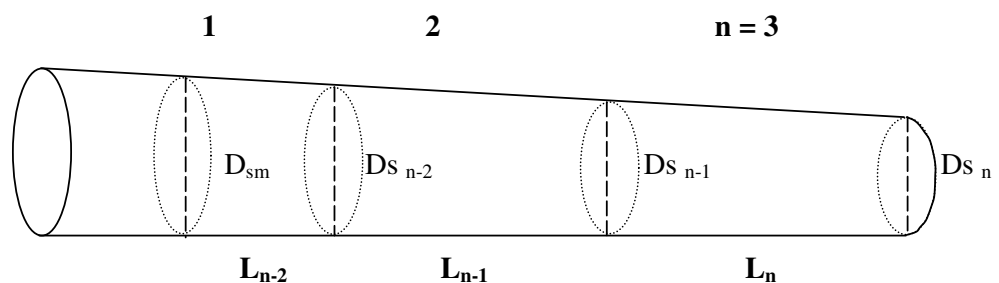
Hvor V_n er topsektionens volumen i m^3 og L_n er topsektionens længde i m. Diameter i cm.

Tilsvarende er den øverste mellemsektions volumen givet ved:

$$V_{n-1} = ((Ds_{n-1} + Ds_{n-2})/2)^2 * L_{n-1} * \pi / 40000$$

Bundsektionens volumen beregnes lettest ved en kombineret topdiameter-måling og en midtdiametermåling D_{sm} .

Ovenstående beregninger er omstændelige at lave manuelt. I edb-programmet er funktionerne indlagt og indtastning sker i en overskuelig tabel for et træ med op til fire sektioner.



Figur 3: Tre sektioner med topdiameterenes placering og længde, samt den nederste sektionens midtmål: D_{sm}

9.1 Forsøg

Målemetoden er udviklet gennem samspillet mellem en mindre forsøgsrække og teoretiske overvejelser. Der er tre spørgsmål som forsøgene gerne skulle give svar på:

1. Hvor få stokoskop-målinger af en diameter skal der til for at opnå et tilfredsstillende resultat?
2. Hvor store er fejlene på diametermålingen og den derfra afledte vedmasseberegning?
3. Er stokoskopi en brugbar metode?

9.2 Målingernes nøjagtighed

Der er udført fem feltforsøg på et mindre antal træer. Det første og fjerde forsøg foregik på Torbenfeldt Skovdistrikt. Resten på Odsherred Statsskoi-distrikt. Andet forsøg i Grevinge Skov og det tredje forsøg i Ravnsholte i Bidstup-skovene. Femte forsøg i Annebjerg Skov.

I. Lomme-stokoskop

Lærk 120 år. Torbenfeldt-forsøget havde til formål før fældning, at vurdere antallet af 4,2 m sektioner med en topdiameter over 50 cm og skønne volumen i m^3 hos fire lærketræer, beregnet til renovering af hovedbygningen. Endelig var det her lejlighed til at afprøve prototypen til lomme-stokoskopet på store nåletræer, der stod på fladt til let skrånende terræn ($<6^\circ$). Afstandsmålingen blev foretaget med målebånd. Ca. 2/3 af alle topdiameter-mål var indenfor $\pm 5\%$ eller 95 % indenfor $\pm 10\%$.

Vedmassen hos 4 træers sektioner blev beregnet til $14,1 m^3$. Den efterfølgende kontrolopmåling gav $13,9 m^3$. Resultatet var tilfredsstillende og nøjagtigheden stor nok til formålet.

II. Stokoskop med støtteben

I Grevinge Skov, afd. 228 a, 137-årig bøg, blev der udvalgt 4 overstandere med høj bul. Målingen er foregået i 4,2, 6,2 og 8,2 m inkl. stød på nummererede træer. De er efterfølgende fældet og kontrolopmålt. Der var her mulighed for at forbedre stokoskopet og målemetoden. Der blev benyttet to støtteben for at stabilisere instrumentet og udviklet en målemetode hvormed man kan bedømme hvor mange målinger der er nødvendige (ILYX-måling, se 9.2.1 Beregning af diameter, ILYX-målinger s. 13). Forsøgstræerne er udvalgt på fladt til let skrånende terræn ($<6^\circ$). Bøgene var mere cylindriske end hvad lærkene var.

I Grevinge var der en klar tendens til at undervurdere diameteren når højden stiger. Samtidigt er kvaliteten på diameter målingerne fordoblet, hvilket tilskrives støttebenenes fortjeneste. 2/3 af målingerne indenfor 2,5% og 95% af målingerne indenfor $\pm 5\%$ standardafvigelse på middelværdier.

III. Stokoskop med variabel spalte

Efter forsøget i Grevinge og simulation i edb-programmet stod det klart, at stokoskopi-metoden bedst kunne forbedres gennem øget aflæsningsnøjagtighed af måleenheden. Vanskeligheden består i, at man samtidig skal holde styr på træets målested og flugte måleenheden med stammesiderne og foretage aflæsningen. Ved at bruge en variabel spalte der kan indstilles på træets flugtede diameter og først efterfølgende aflæse måleenheden forenkles metoden betydeligt. I realiteten tilpasser man spalten til et ”grænsetræ”, hvilket er meget nemmere.

I Ravnsholte-forsøget blev det derfor foretaget målinger med skydelære. Gennemhugning af 80-årig bøg. Let kuperet terræn. Opmåling på arealet efter fældning. Desværre var der skåret en til 2,7 m af kævlerne. 2,7 m havde flere steder rullet og det var vanskeligt at stedfæste målingen. Forsøget blev derfor svært at gøre op. Den praktiske del med selve målingen blev dog forbedret.

Der blev afprøvet aflæsning igennem spalte og over stolpe og kombinationer deraf. Målingerne tenderer til, at blive mindre (ca. 1 mm) når man måler gennem spalten end hvad tilfældet er med målingerne over stolpe. Det ser ud til, at lysforhold og lysbrydningsfænomener har indflydelse på målingerne.

Da undertegnede hovedsageligt undervurderer topdiametere har stolpemålingerne efterfølgende afløst spaltmålingerne. Yderligere forsøg med andre forsøgspersoner bør foretages ved lejlighed.

For at undgå denne type systematiske fejl bør brugeren af stokoskopet i lighed med relaskopet, kontrollere eller øve sig på grænsetræer eller andre genstande med kendt afstand og diameter.

Brugeren kan ”kalibreres” ved at lave en stokoskop-måling til øjenhøjde på det træ der skal måles. Efterfølgende måles diameteren i øjenhøjde og differencen bør da ikke overstige 2-3%.

IV. Afstandsmåling

Afstanden fra øjet til målestedets lodlinie kan måles enten med selvopullende målebånd eller med prisme og stadie. Ved forsøget blev begge metoder brugt samtidigt. Konklusionen var den, at prisme-aflæsningen er besværlig i dårlige lysforhold (generende sollys, skygger m.v.) og at målebåndet er nøjagtigt og lettere at bruge med undtagelse for steder, hvor der er hugstaffald m.m.

V. Stokoskopi i kuperet terræn

Som afsluttende og kontrollerende forsøg blev der udvalgt en 110-årig bøg med A+ kvalitet på helt flad skovbund samt en 96-årig eg på et kuperet areal i Annebjerg Skov. Afdeling 85 a resp. 86 a. Målingerne blev gennemført som ILYX-måling med 6 stokoskop-målinger pr. højdeinterval over stød højde: 1,5, 4,0, 8,0 og 12,0 meter. Efter fældning blev diameteren kontrolleret ved klupning af alle stokoskop-målinger.

BØG

Diameter ved længden, m	Stokoskop-måling, cm	Kontrolmåling, cm	Difference, cm	Difference, %	Stand.afv., m_x
1,5	69,5	70,1	0,6	-0,9	0,7
4,0	63,1	64,2	1,1	-1,7	1,2
8,0	57,1	58,4	1,3	-2,2	2,4
12,0	51,3	53,7	2,4	-4,4	2,0

Tabel 2. Middelværdier for 6 stokoskop-målinger pr. længdeinterval. Standardafvigelse mindre eller lig med 2,4 %.

EG

Diameter ved længden, m	Stokoskop-måling, cm	Kontrolmåling, cm	Difference, cm	Difference, %	Stand.afv., m_x
1,5	53,3	54,2	0,9	-1,7	0,9
4,0	49,5	49,9	0,4	-0,7	1,0
8,0	45,1	46,5	1,4	-3,0	1,5
12,0	43,1	43,1	0,0	0,1	2,0

Tabel 3. Middelværdier for 6 stokoskop-målinger pr. længdeinterval. Standardafvigelse mindre eller lig med 2,0 %.

9. 2. 1. Beregning af diameter, ILYX – målinger

I det første forsøg blev der kun foretaget en måling pr. diameter med lomme-stokoskopet. Ved opgørelsen af forsøget stod det klart, at der opstår afvigelser når målingen sker fra en tilfældig side på træer der er ovale og uden støtteben til måleenheden.

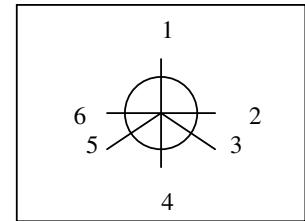
I det andet forsøg blev der for hver højde taget 6 stokoskop-målinger på hvert træ, her kaldt en ILYX-måling. Formålet var, at finde den bedste målemetode. Der blev udelukkende anvendt stokoskop med støtteben, og med tommestok som måleenhed. Løsningen med den variable spalte var endnu ikke færdig udviklet.

Diametermåling på jorden skiller sig fra diametermåling på stående træer derved, at man ved handelsopmåling på jorden opsøger den mindste diameter og foretager krydsklupning når diameteren er 21 cm. eller derover. Dette kan af indlysende grunde ikke finde sted højt over jorden. Her vil én enkelt stokoskop-måling ske på faldende kant med en ret stor usikkerhed på diameteren, da træer ofte er ovale. Usikkerheden vil blive mindre, hvis antallet målinger øges, og i særdeleshed hvis man flytter sig rundt træet og får flere størrelser repræsenteret.

Det antages, at en bruger vil opfatte stokoskopi som en for besværlig metode, hvis der skal foretages flere end fire opstillinger med stokoskopet.

Ved en ILYX-måling forstås 6 opstillinger med diametermålinger, foretaget i forbindelse med flytning rundt det stående træ i afstanden A'.

Måling nr.	1	2	3	4	5	6	Vinkel mellem målinger
I	+						
L	+	+					90°
Y	+		+		+		120°
X	+	+		+		+	90°



Tabel 4. ILYX-måling er en metode til vurdering af kvaliteten af diametermålinger på stående træer med en højere placering end dbh, foretaget med stokoskop.

Efterfølgende blev målingerne parret efter ovenstående skema. Hver måling/målemetode blev sammenlignet med den tilsvarende opmåling der foregik med klup. Kontrolopmålingen skete på liggende træer før udslæbning og ud for hvert mærke (1-6) på længderne 4,0, 6,0 og 8,0 m, samt i det afsluttende forsøg på 4,0, 8,0 og 12,0 m. Hvor målingen ikke kunne ske på grund af jordkontakt blev denne foretaget fra modsat side (180°). Ravnsholte-forsøgets kævlélængder afviger fra de øvrige forsøg.

Efter udslæbning har der været mulighed for at få yderligere et par målinger kontrolleret.

I-målinger giver en ret stor spredning på grund af at mange træer er ovale. Når en I-måling foretages på stor afstand (højt oppe) kan målingen let blive fejlagtig. L-måling er en middelværdi af to målinger og giver en mindre spredning. Den er samtidig den bedste kombination af arbejdsindsats og nøjagtighed. Y-måling giver kun en marginal forbedring af de målte værdier og samtidig øger tidsforbruget. X-måling kan betragtes som en dobbelt (kontrolleret) L-måling. Y- og X-målinger bruges bedst på enkeltræer af stor værdi, hvor man vil opnå så sikre tal som muligt og hvor tidsforbruget ikke har nogen afgørende betydning.

I-måling anvendes ved større mængder træer, hvor enten kravet til præcision er mindre vigtigt eller hvor man arbejder med et overmål der er større end standardafvigelsen på målingerne. Se 9.3 Fejlkilder og fejlgrænser, s.15.

Det kunne være interessant at foretage ILYX-målinger på store lærketræer med stokoskop med støtteben til yderligere belysning af målemetoden. Hos lærken finder vi både runde og ovale stammetværsnit samt krumning / sidehæld, hvilket gør dem interessante ud fra et måleteknisk synspunkt.

9. 2. 2 Beregning af vedmasser

Volumen-beregningerne har i lighed med diameter-målingerne givet forbavsende præcise tal. Det bedst gennemførte forsøg hvor både teknik og ligninger var færdige, var kontrolforsøget i Annebjerg Skov. Der er foretaget kontrolmåling med målebånd og klup efter fældning. Beregninger udført på grundlag af stokoskopmålinger, se 8. Vedmasseberegninger, s. 9

BØG

Volumen, Sektion	Stokoskop-måling, m ³	Kontrolmåling, m ³ fm	Difference, m ³	Difference, %
Hele kævlen	3,519	3,540	0,021	-0,6

Tabel 5. Der er brugt diameter-middelværdier fra tabel 2.

EG

Volumen, Sektion	Stokoskop-måling, m ³	Kontrolmåling, m ³ fm	Difference, m ³	Difference, %
Hele kævlen	2,180	2,143	0,037	1,7

Tabel 6. Der er brugt diameter-middelværdier fra tabel 3.

Det må anbefales, at bruge X-målinger i forbindelse med volumenberegninger.

9. 3 Fejlkilder og fejlgrænser

Den variabel hvor en fejlaflysning får størst betydning er d. 1 mm fejlaflysning af d på 15 m afstand og 8 m højde svarer til ca. 2,4 cm fejl i topdiametere D_s 48 cm. I og med at diameteren indgår i formlerne for vedmasseberegning i anden potens, giver en afvigende diametermåling et stort udslag i volumen. Den vandrette observationsafstand, A er lidt mindre følsom: I ovenstående eksempel vil en ændring på 0,1 m af A medføre ændring af topdiametere på ca. 3 mm.

Strengt taget er den målte topdiameter en korde. Da afstanden til træet er stor og tangentvinkeln meget lille er kordens længde kun en anelse mindre end den sande diameter på målestedet. Da forskellen kan måles i tiendedele af en millimeter kan korden bruges som topdiameter.

Af andre muligheder for fejlkilder kan nævnes:

- Kun en måling (I-måling) til samme træ og på forkert led på ovale træer.
- Målenøjagtigheden aftager med stigende værdier for den vandrette observationsafstand og målestedets højde.
- Vanskelighed med at holde stokoskopet og hovedet i ro.
- Træer der hælder meget.
- Måling i hældende terræn uden korrektion.
- Afstandsmålingen foretages forkert.
- Højdemålingen, herunder vanskelighed med at visuelt fastholde højdemålingen til brug for aflæsning af værdien d.
- Forkert skøn af stødthøjde og evt. afkortning for råd m.v.

Fejlgrænser

Standardafvigelsen m , tiltager med afstanden og / eller højden til det målte. Standardafvigelsen falder med et stigende antal målinger. Tilfældige målefejl er formentlig normalfordelt og følger Gauss kurve. Det kan således forventes at optræde målinger der er både større og mindre end den sande diameter. Personen der måler vil sandsynligvis begå systematiske fejl (aflæsningen af topdiametere bliver gennemgående for stor eller lille) og standardafvigelsen vil således også variere med personen.

Fejlgrænsen F , bruges til at beregne overmålet som skal sikre at topdiametere holder målet med hjælp af erfaringstal. Ved $F=m$ kan det forventes, at 68,3 % af alle topdiametere vil være lig den søgte diameter $\pm m$ %. Tilsvarende giver $F=2m$ 95,4 % og $F=3m$ 99,7 %. Da den der måler kun er interesseret i de træer der enten har det ønskede topdiametermål eller har topdiametermålet $+ m$ vil 16% eller hver 6. måling være en undermåler når fejlgrænsen sættes til $F= +m$. Tilsvarende vil der ved $F=2(+m)$ kun være godt 2 % undermålere eller 1 for hver 50, hvilket kan betragtes som en tilstrækkelig sikkerhed. Langt de fleste målinger kan derfor udføres med $F=m$ eller $F=2m$.

Tabel 7. er baseret på 2 stokoskop-målinger (L-måling) af bøgen fra forsøget i Annebjerg Skov. Standardafvigelsen fra forsøgene ser ud til at variere mellem 0,5 og 5 % afhængig afstand og antal stokoskopmålinger (I, L, Y eller X-måling).

Højde, meter (effektlængde)	4,0	8,0	12,0
Standardafvigelse, m (%)	1,4	2,7	3,5
$F = 2 m$ (%)	2,8	5,4	7,0
$F = 3 m$ (%)	4,2	8,1	10,5

Tabel 7. Eksempel på tabel til beregning af % overmål ved opsøgende topdiameter-måling.

Man kan herefter regne baglænges og finde indstillingen på stokoskopet. Ønsker man f. eks. at, med rimelig sikkerhed ($F = 2m$) finde en stamme som har topdiametere 42 cm i 8 m højde, skal man således lægge 5,4 % til den ønskede diameter: $42 + (42 * 0,054) = 44,3$ cm. når man nøjes med at bruge to målinger. I dette tilfælde ville fire målinger give en indstilling der svarer til 43,4 cm. Ved beregning af overmål må man gøre sig klart, at der skal bruges et større overmål når der foretages få diametermålinger.

Ved forsøgene sammenlignes den med stokoskopet beregnede diameter med den "sande" kontrolmålte diameter. Der er således ikke brugt overmål i forbindelse med forsøgene.

Diagrammet "Måleafvigelser" omfatter 48 målinger fra Annebjerg, hvor der blev foretaget diametermålinger ved effektlængderne 1,5, 4,0, 8,0 og 12,0 m. Den kontrollerede diameter svarer til 0 %. Det fremgår af diagrammet, at der er 35 målinger (72,9 %) der undervurderer den "sande" diameter. Det er tale om en ensidig, systematisk "fejl". Det vil sige, at topdiametere i virkeligheden var en anelse større end hvad den blev målt til. Hele 44 (91,7 %) af enkeltmålingerne falder indenfor $\pm 5\%$. 3 (6,3 %) af enkeltmålingerne afveg med mere end 5 %.

Det er ikke sikkert, at en tilfældig bruger vil opleve den samme systematiske fejl som operatøren i forsøget. Derfor er kalibreringen vigtig da den giver brugeren den korrekte forståelse for betjening og aflæsningsmetodik.

Det er i øvrigt overladt til brugeren at finde sin egen "fejlgrænse". Normalt vil et overmål i størrelsesorden 3 - 4 % være tilstrækkeligt for målinger op til 8 m effektlængde. Ved målinger i større afstand eller højde bør man bruge Y- eller X-måling samt $F=2m$ eller $F=3m$.

10. Konklusion

Målemetoden kan efter kortvarig træning, benyttes af alle der kan betjene en højdemåler og ikke ryster for meget på hænderne. Det anbefales at bruge L- eller eventuelt Y-måling ved beregning af topdiameter. Ønskes vedmassen bestemt ved samme lejlighed bør man overveje at bruge Y- eller X-måling. Måling med stokoskop med støtteben, og efterfølgende vedmasseberegninger danner et godt grundlag for et hurtigt tilbud på store master eller andre særlige sortiment. Nøjagtigheden er noget mindre end ved almindelig opmåling af fastmassen.

Ved brug af stokoskopi kan skovbrugeren opnå en højere sikkerhed for, at store værdifulde træer holder de mål som kunden ønsker, før ordre til fældning gives.

Afslutning

Forfatteren vil her takke for forsøgstræer og udvist interesse fra Torbenfeldt Skovdistrikt, Gunderslevholm Skovdistrikt samt Odsherred Statskovdistrikt.

Et stort tak til JVP Stål A/S, i Ringsted for assistance med bearbejdning af værktøjsstål, og til civilingeniør Jesper Norsk for gode råd m.h.t. stålbearbejdning. Endelig et særligt tak til faglærer Per Claudi Jensen for korrekturlæsning samt til cand. mag. Mogens Nørgård for gennemgang af beregninger og forsøgsmetodik.

Edb-programmet, indgår i en programpakke: "**PROKNUS – Problemknuser for skovbruget**", der er en værktøjskasse med over 100 hjælpeværktøjer i Excel regneark. Både "PROKNUS" og Stokoskopet kan bestilles af forfatteren. Se PROKNUS web-side: www.dataiskoven.dk

Litteratur:

Træmåling, Per Claudi Jensen, Skovskolen 1998

Anvendt matematik, om trigonometri, statistik og sandsynlighed, Skovskolen 1985, Mogens Nørgaard Olesen

Forstinventur, Ein Leitfaden für Studium und Praxis, Fritz Zöhner, Pareys Studentexte 26, 1980

Comparison of Optical Dendrometers for Prediction of Standing Tree Volume. R.C. Parker and T.G. Matney . South. J. Appl. For. 23(2):100-107.

Comparison of height-accumulation volumes using the Spiegel Relaskop and Wheeler Pentaprism. So. J. Applied For. 3:144-145. (with G.D. Hansen) 1979

Features of the Spiegel relaskop, Telerelaskop, Barr and Stroud dendrometer and Wheeler penta-prism caliper. G.B. Wood, Department of Forestry ANU 1985.