

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Metsäteknologian tutkimusosasto
3/1972

PINOMITTAUKSEN KEHITTÄMISTUTKIMUS I
Kylkitiheydestä ja sen mittaamisesta
Kirjallisuuskatsaus

Heikki Nikkilä ja Veijo Heiskanen

Helsinki 1972

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Metsäteknologian osasto

Sisällysluettelo

	Sivu
1. Johdanto.....	1
2. Pinotiheyden ja kylkitiheyden suhde.....	2
3. Kylkitiheyden pinon sisäinen hajonta.....	5
4. Kylkitiheyden mittaaminen.....	7
41. Yleistä.....	7
42. Kylkitiheysnäytteet.....	7
43. Kylkitiheysmittarit.....	9
44. Yhteenvedo kylkitiheyden mittaamisesta.....	11
KIRJALLISUUSLUETTELO.....	12
 LIITTEET	
1. Pinon kyljestä otettavan kuvan oikaisumenetelmä (Pentti Nisula)	
2. Laskijalevyllä varustettu kylkitiheysmittari (Pentti Nisula)	
3. Laskijanauhalla varustettu kylkitiheysmittari (Pentti Nisula)	
4. Kylkitiheyskiila m/Bitterlich	
5. Kylkitiheysmittari m/Kajaani Oy	

1. JOHDANTO

Pinomittausta on yleensä pidetty käytännöllisyytensä vuoksi ja myös tarkkuutensa puolesta varsin sopivana kuitupuun mittausmenetelmänä. Viime vuosina ovat kuitenkin korjuumenetelmien kehityksessä sekä puutavaran että pinon laatu muuttuneet siinä määrin, että pinomitan käytössä on ilmeisiä puutteita. Pinossa olevan puun suhteellinen määrä, jota kuvaa pinotiheysluku ($k\text{-m}^3/p\text{-m}^3$), on nykyään entisestään pienentynyt ja ainakin vaihtelee aikaisempaa huomattavasti enemmän. Syinä ovat puutavaran laatuvaatimusten ja työstöasteen alentuminen sekä koneellinen ladonta, joka lisäksi tekee varsinkin ilman alus- ja pääpuita olevan pinon ulottuvuuksien määrittämisen vaikeaksi. Pinomittaus on toisin sanoen muuttunut entistä epätarkemmaksi ja epäluotettavammaksi mittaustavaksi.

Tässä vaiheessa onkin tärkeää kehittää pinomittausta paremmin käytäntöön sopivaksi. Päämäärä on tällöin olevan pinomittaustuloksen saaminen riittävällä tarkkuudella kiintomittana, kuten Pinomittauksen kehittämisryhmä on tehtävänsä määritellyt. Pinomitan kiintomitaksi muuntamisessa tulevat kysymykseen joko kiintomitan arviointi pinon ominaisuuksien perusteella tai pinotiheyden välitön tahi välillinen mittaaminen. Lisäksi voidaan muuntamisessa käyttää keskimääräisiä pinotiheyslukuja.

Pinotiheyden välillinen mittaus perustuu siihen, että pinon kyljestä mitataan jokaisen pölkyn läpimitta ja niiden pinta-alan ja pinon kyljen pinta-alan suhteena lasketaan ns. kylkitiheys. Tutkimuksin selvitettävien muuntolukujen avulla muunnetaan kylkitiheys pinotiheydeksi. Näin menetellen saataisiin keskimääräisiä pinotiheyslukuja tarkempi tiheysluku ja tarkempi kiintomitta jokaiselle mitattavalle pinolle. Tällaista tapaa, kylkitiheysmenetelmää, käytetään jossakin määrin Kanadassa ja Yhdysvalloissa. Sitä on myös meillä käsitelty paljon ammattilehdissä erityisesti 1960-luvun alussa, jolloin V. Keltikangas ja Makkonen vaihtoivat mielipiteitä asiasta. Laajat perustutkimukset kuitenkin puuttuvat, minkä vuoksi ei ole myöskään päästy käytännön sovellutuksiin.

Kylkitiheysmenetelmä tarjoaa kuitenkin erään teoreettisen mahdollisuuden pinomitan kiintomitaksi muuntamiseksi, minkä vuoksi se on otettu tutkittavaksi pinomittauksen kehittämisryhmässä.

Esillä olevan tutkielman tarkoitus on selvittää kirjallisuuteen avulla mitä mahdollisuuksia on tällaisiin kylkitiheysmenetelmin määrittää pinotiheys ja sitä kautta kiintomitta suomalaisissa olosuhteissa. Selvityksen tavoitteet voidaan jakaa kolmeen osaan:

1. Kylkitiheyden ja pinotiheyden välinen riippuvuus.
 2. Pinosta otettavien erilaisten kylkitiheysnäytteiden ja keskimääräisen kylkitiheyden välinen riippuvuus eli toisin sanoen kylkitiheyden pinon sisäinen hajonta.
 3. Erilaisten kylkitiheysmittausten vaatima aika ja käytännölliset soveltamismahdollisuudet.
- Saatavien tulosten perusteella tehdään päätelmiä kylkitiheyttä koskevien jatkotutkimusten tarpeellisuudesta.

2. PINOTIHEYDEN JA KYLKITIHEYDEN SUHDE

Kylkitiheyden ja pinotiheyden välisestä riippuvuudesta löydetään kirjallisuudesta seuraavia tietoja.

Pinotiheys ja pinon kylkitiheys - samoin kuin vastaavat kuutiomäärät - poikkeavat toisistaan systemaattisesti ja ovat vain tietyissä rajatapauksissa samansuuruisia. Ne ovat yhtä suuria vain silloin kun pölkyt ovat katkaistun paraboloidin muotoisia. Kylkitiheyden ja pinotiheyden erot ovat lisäksi eri tavaralajoilla ja eri pölkynpituuksilla erilaisia. Käytännössä yleisimmällä pinotavaralla (2 m) kylkitiheys lienee nolosta muutama prosenttiin suurempi kuin pinotiheys (V. K e l t i k a n g a s 1961 a).

M a k k c n e n (1961 a) on esittänyt seuraavia määritelmiä.

Pinon pölkyjen tyvi- ja latvakuutioiden keskiarvon suhde pino-tilavuuteen on sama kuin pölkyn päiden pinta-alojen suhde kyljen pinta-alaan. Pölkkyjen tarkan todellisen kuution ja tyvi- ja latvakuution keskiarvon suhde on luku, jolla kylkitiheys on kerrottava, jotta päästäisiin pinotiheyteen. Hän on myös esittänyt taulukon Simpsonin kaavalla lasketun kuution sekä tyvi- ja latvakuution erotuksista. Sen mukaan lasketut kertoimet kylkitiheyden muuntamiseksi pinotiheydeksi ovat seuraavat.

D ₁	Kap. cm/m	Pölkyn pituus, m		
		2	4	6
		Kerroin		
5	1	0.983	0.934	0.913
9	1	0.994	0.977	0.958
13	1	0.997	0.989	0.976
5	2	0.940	0.892	0.846
9	2	0.975	0.943	0.909
13	2	0.989	0.966	0.940

Taulukko koskee vain katkaistun kartion muotoisia pölkkyjä. Sen mukaan tyvi- ja latvakuution keskiarvo poikkeaa oikeasta kuutiosta (ja kylkitiheys pinotiheydestä) sitä enemmän, mitä pienempi on pölkyn läpimitta, mitä nopeammin pölkkyt kapenevat ja mitä pitempiä ne ovat.

Mitä enemmän pölkkyjen muoto poikkeaa paraboloidin muodosta, sitä enemmän poikkeavat pino- ja kylkitiheys toisistaan. Mainittujen tunnusten poikkeamiseen toisistaan vaikuttavat voimakkaimmin juurenniska ja tyvilaajenema, kuten N i s u l a (1963) on esittänyt (vrt. M a k k o n e n 1961 b). Hän on laskenut taulukon, jossa vertaillaan tyvilaajenemaltaan erilaisten pölkkyjen kylki- ja pinotiheyksiä toisiinsa. Niiden pölkkyjen kylkitiheys-pinotiheyssuhde, joiden tyvipohjapinta-alaan tyvilaajenema ei ollenkaan vaikuta, on saanut taulukossa suhteellisen arvon 100. Pölkky on tällöin oletettu paraboloidiksi. Taulukon perusteella on laskettu seuraavat pinotiheyden suhteet kylkitiheYTEEN.

L, m	Juurenniskan vaikutus 6 m:n pölkyn tyven poikkileikkauspinnan suurenemiseen %			
	0	10	20	30
	Pinotiheys % kylkitiheystestä			
1	100	99	98	96
2	100	98	95	93
3	100	96	93	91
6	100	93	88	83
d_t cm	16.9	17.8	18.5	19.3

Huom. 6 m:n pölkky on ajateltu katkaistuksi 3, 2 ja 1 m:n pölkkyiksi.

Taulukosta voidaan päätellä, että juurenniskan esiintymistiheyden ja sen vaikutuksen kasvaessa kylkitiheys poikkeaa yhä enemmän pinotiheydestä. Kaatokohdan alentaminen suurentaa poikkeamaa.

Korjauskertoimen (kylkitiheys pinotiheydeksi) suuruus vaihtelee käytännössä 0.85 - 1.00. Korjauskertoimen suuruutta indikoivat käytännössä parhaiten tyvipölkkyjen esiintymisrunsaus (esim. % todellisesta kiintomitasta) sekä puutavaran pituus ja keskiläpimitta.

Tutkimustuloksia tyvi- ja latvakuution sekä Simpsonin kaavalla lasketun kuution suhteesta, joka vastaa kylkitiheyden ja pinotiheyden suhdetta, on saatavissa mm. seuraavista julkaisuista.

T u o v i s e n (1948) mukaan on Simpsonin kaavalla laskettu kuutio prosentteina tyvi-latvakuutiosta eri tavaralajeilla seuraava.

	4 m kuor. kup	6 m kuor. kup	4 m kuor. mäp	6 m kuor. mäp
Tyvipölkkyt	93.6	93.7	91.8	90.3
Muut	99.3	99.0	101.7	102.0
Keskimäärin	95.2	93.7	93.1	91.2

P e r t o v a a r a (1960) on saanut hieman pienempiä poikkeamia. M a k k o s e n (1958) mukaan ksylometrikuutio oli 2 m kuorellisilla koivupaperipuulla 3.4 % pienempi kuin tyvi- ja latvaläpimitan keskiarvoon perustuva kuutio. (vrt. M a k k o n e n 1960) P e r t o v a a r a n (1964) mukaan Simpsonin kaavalla laskettu kuutio on 3 m:n ja 4.5 m:n kuusipaperipuulla Pohjois-Suomessa 94.8 ja 95.0 % tyvi- ja latvakuution keskiarvosta. Vastaava luku 4 m:n mäntypaperipuulla on 97.3. 2 m:n kuusella vastaava prosentti on 99.0...99.4 riippuen siitä onko kyseessä runko- vai latvustavara, 2 m:n männyllä vastaavat luvut ovat 96.2...99.8. Esitetyillä luvuilla on ainoastaan kuriositeetti-arvo, sillä tyvipölkkyjä ei ole mitattu pölkyn päästä vaan tyvilaaajeneman ulkopuolelta. Todellisuudessa erot ovat suuremmat, mutta lienevät 2 m:n tavaralla hyvin lähellä tässä esitettyjä.

H e l l m a n (1959) ja S a a r i n e n (M a k k o s e n 1961 c mukaan) ovat saaneet kylkitiheyden mittareita käyttäen sitä suuremmaksi, mitä suurempi oli pölkkyjen pituus.

N i s u l a (1967 a) totesi 2.2 m koivupinotavaralla kylkitiheyden olevan keskimäärin 106 % pinotiheydestä, variaatiokerroin oli 4.52 %. Tämä merkitsee, että pinotiheys on n. 94 % kylkitiheydestä. Saman lähteen mukaan kylkikuutio on likimain yhtä monta prosenttia keskuskuutiosta kuin kylkitiheys pinotiheydestä (vrt. M a k k o n e n 1961 a, N i s u l a 1963). Hajontaan vaikutti tyvipölkkyjen muoto ja esiintymisrunsaus.

Sorvipölkkyille N i s u l a (1967 b) sai saman suhteen kuin edellä eli siis 106 % (pinotiheys kylkitiheydestä 94 %). Variaatiokerroin oli 2.26 % (pölkyn pituus 1.65 m). Yksittäisillä pölkkyillä oli kylkikuution ja keskuskuution suhde seuraava. Sulkuihin on merkitty vastaavat käänteisluvut.

Laji	n.	suhde	vaihteluväli
tyvipölkyt	158 kpl	1.156 (0.865)	95 - 151 % (105 - 66)
muut pölkyt	342 kpl	1.019 (0.981)	83 - 114 % (120 - 88)

Kylkitiheys ja pinotiheys poikkeaisivat toisistaan melko vähän, jos pinoissa olisi vain muita kuin tyvipölkköjä.

Kylkitiheyden ja pinotiheyden riippuvuudesta on M a k k o - n e n (1959) todennut, että Bitterlichin pinotiheyskiilan ja Snellmanin pinotiheysmittarin antamien pinotiheyslukujen ja oikeiden pinotiheyslukujen välillä ei ole merkittävää korrelaatiota. Tässä on kuitenkin kysymys ko. mittareiden antamien kylkitiheysnäytteen tarkkuudesta. Kokonaisia pinoja koskevia tutkimustuloksia ei asiasta ole julkaistu.

Kylkitiheyden hajonta on pienempi kuin pinotiheyden (N i s u - l a 1967a), mikä onkin luonnollista koska pölkyn muoto ja pituus eivät vaikuta siihen juuri lainkaan.

Yhteenvedona voidaan todeta, että kylkitiheys on yleensä suurempi kuin pinotiheys. Ero on lyhyessä pinotavarassa keskimäärin huomattavasti alle 10 %, mutta vaihtelee tavaran ominaisuuksista riippuen hyvin paljon. Tyvipölkkyjen suuri määrä, tyvipaisuman suuruus (kannon lyhyys) ja pölkyn pituus lisäävät kylkitiheyden ja pinotiheyden välistä eroa. Tutkimustuloksista ei kuitenkaan ilmene vallitseeko kylkitiheyden ja pinotiheyden välillä keskimäärin korrelaatiota siten, että kylkitiheyden avulla voitaisiin määrittellä pinotiheys. Korrelaation olemassa olo vaikuttaa kuitenkin hyvin todennäköiseltä mm. kanadalaisten ja yhdysvaltalaisien käytännön sovellutusten pohjalta. Ennen tutkimuksen jatkamista onkin selvitettävä kylkitiheyden ja pinotiheyden välinen riippuvuus.

3. KYLKITIHEYDEN PINON SISÄINEN HAJONTA

Kylkitiheyden pinojen välinen hajonta on pienempi kuin pinotiheyden, kuten edellä mainittiin. Tärkeintä on kuitenkin tarkastella kylkitiheyden pinon sisäistä hajontaa, joka joudutaan ottamaan huomioon pyrittäessä näytteenottomenetelmien tai mittarein määrittämään kylkitiheyden likiarvo. Aluksi todettakoon, että tämän hajonnan suuruus riippuu näytteen koosta. Mitä suurempia näytteitä pinon kyljestä otetaan, sitä pienempi on hajonta.

Kirjallisuudessa tätä, erittäin tärkeää kylkitiheyden käyttömahdollisuuksiin vaikuttavaa seikkaa on käsitelty vain vähän. Keltikankaan ja Makkosen keskustelussa asiasta asiaa ainoastaan sivuttiin lyhyesti. M a k k o n e n (1961b) tosin mainitsee Ahosen ilmoittaneen, että m/Keltikangas-Ahonen-mittarilla päästään $\pm 1 \%$:n tarkkuuteen muutamalla tusinalla näytteellä (a few dozen measuring observations).

N i s u l a n (1967a) tutkimuksen mukaan oli 2.2 m koivupaperipuulla kylkitiheyden pinoittainen hajonta 5.5...17.5 % kun näytteen koko oli 714 cm² (17 x 42). Keskimäärin hajonta oli 10.8 %. Nisula laski tiettyyn tarkkuuteen vaadittavien näytteiden lukumääriä kaavalla:

$$\frac{v (\%) }{n} = \pm p (\%) \text{ missä } n = \text{näytteiden lukumäärä}$$

$v (\%) = \text{variaatiokerroin}$
 $p (\%) = \text{riski } \%$

Jos hajonta on keskimäärin edellämainitun 10.8 % suuruinen, tulee mitata 78 mainitun suuruista näytettä, jotta virhe olisi 95 % todennäköisyydellä alle 3 %, joka on mittauksissa yleisesti käytetty virheraja.

N i s u l a toteaa edelleen, että hajonta on keskimäärin laajaa ja oikukkaasti vaihtelevaa (vrt. N i s u l a 1963). Jos pyritään siihen, että kaikkien pinojen tai vaikkapa vain määräsankin kylkitiheydet saadaan sanotulla tarkkuudella, vaatii ainakin Nisulan käyttämä systeemi kohtuuttoman paljon näytealoja. Hajonnan oikukkuudesta johtuen tultaisiiin joissakin pinoissa toimeen suhteellisen vaatimattomalla näytteellä (esim. v % 5.5, näytteitä 20 kpl), mutta toiset vaativat paljon näytteitä (esim. v % 17.5, näytteitä 204 kpl).

Kylkitiheyden suureen pinon sisäiseen hajontaan viittaavat myös jo mainitut M a k k o s e n (1959) tulokset kylkimittareiden antaman tuloksen ja oikean pinotiheyden vähäisestä riippuvuudesta. On kuitenkin ilmeistä, että kylkitiheyden hajonta on koivupinoissa, joita Nisulan tulokset koskevat, suurempi kuin havupuupinoissa. Toisaalta konepinoissa hajonta muodostuu suuremmaksi kuin käsipinoissa, joten ongelma saattaa olla nykyisin vielä vaikeampi kuin aiemmin.

Yhteenvedona onkin todettava, että kylkitiheyden pinon sisäinen hajonta on varsin suuri. Yleispäteviä tutkimustuloksia ei ole saatavissa.

Jos kylkitiheyden ja pinotiheyden välinen korrelaatio osoit-
tautuu jatkotutkimuksissa riittäväksi käytännön sovellutuksia sil-
mälläpitäen, onkin seuraavana tutkimustehtävänä otettava esille
kylkitiheyden pinon sisäisen hajonnan selvittäminen eri suuruisia
näytteitä käytettäessä.

4. KYLKITIHEYDEN MITTAAMINEN

4.1 Yleistä

Kylkitiheyden mittaamisessa tulee kyseeseen joko totaalinen
mittaus tai otanta. Edellistä käytettäessä mitataan pinon kyljen
tai kylkien kaikkien pölkkyjen läpimitat (poikkileikkauspinta-
alat). Jälkimmäisessä taas suoritetaan mittaukset vain osasta pölkkyjä.

Totaaliseen mittaukseen ei sisälly teoreettisia pulmia. Käy-
tännölliset vaikeudet, nimenomaan työn vaatimot kustannukset, ovat
kuitenkin niin suuria, että menetelmää ei voida soveltaa käytännön
mittauksissa. Kuitenkin on mahdollista silmävaraisesti arvioida koko
pinon kylkitiheys (esim. N i s u l a 1963).

Otantamenetelmissä pyritään ottamaan kylkitiheysnäyte, jonka
avulla saataisiin selville koko pinon kylkitiheyden luotettava
likiarvo. Näytteen ottoa varten on rakennettu myös kylkitiheysmit-
tareita.

Näytteenottomenetelmät ja kylkitiheysmittarit perustuvat lähin-
nä neljälle periaatteelle:

- määräalalta mitattujen pölkynpäiden pinta-alojen suhteeseen
ko. määräalaan (pinta-alaotanta)
- pölkyn päihin ja tyhjään tilaan sattuvien pisteiden suhteis-
siin (esim. m/Keltikangas - Ahonen)
- ympyrän kehältä mitatun puun ja tyhjän tilan suhteeseen
(esim. m/Pöytäri)
- suoralta viivalta tai janalta mitatun puun ja tyhjän tilan
suhteeseen (esim. m/Snellman).

4.2 Kylkitiheysnäytteet

Kylkitiheysnäytteiden ottamisessa kyseeseen tuleville menetel-
mille voidaan asettaa seuraavat vaatimukset.

- Menetelmän tulee olla helposti käytäntöön sovellettavissa,
myös sellaisissa pinoissa, jotka ovat pölkyn päiden osalta epätasai-
sia.

- Menetelmän tulee olla objektiivinen, s.o. sillä pitää pystyä erottamaan puun ja tyhjän tilan välinen raja mahdollisimman tarkoin.

- Menetelmää sovellettaessa tulisi voida muuttaa näytteen kokoa tarpeen mukaan pinon ominaisuuksien asettamien vaatimusten perusteella.

- Menetelmän edellyttämien apuvälineiden tulee olla riittävän halpoja.

Tältä pohjalta tarkastellaan seuraavassa eri näytteenottomenetelmiä, joita käytännössä on sovellettu tai kirjallisuudessa esitelty.

Kanadalainen valokuvausmenetelmä. H e m m i (1972) kuvaa menetelmän seuraavasti: Polaroid-kameralla ja salamavalolla otetaan pinosta kylkikuva, joka valmistuu kamerassa parissa minuutissa. Kuva asetetaan laatikkoon, jossa siihen pistetään säännöllinen reiästä. Pölkkyjen päihin ja tyhjään tilaan sattuvien reikien suhteellisista osuuksista päästään kylkitiheyteen. Yleisesti käytössä tehtäillä Kanadassa. Kuvauskohta arvotaan. Kymmenelle pinolle keskiarvon keskivirhe on 95 % todennäköisyydellä ± 2.4 %. Kameran ja tarvikkeiden hinta on 800 mk ja kuvien 1.50 mk/kpl. Sopii huonosti maastoon ja ajoneuvopinoihin, joissa puu on pitkittäin. Reikiä laskettaessa rajatapaukset ovat hankalia ja epävarmoja.

Valokuvausmenetelmien tarkkuus huononee, kun pölkyn pituudet vaihtelevat yhä enemmän ja pölkyn päät ovat hyvin eri tasoissa pinossa, jolloin joidenkin pölkkyjen päät peittävät toisia.

N i s u l a n (1967a) valokuvausmenetelmä. Pinon kyljestä otetaan diakuvia. Kyljen taso ja kuvataso saadaan samaksi tarkoitusta varten rakennetulla kartiokehikolla (Liite 1). Kuvista otetaan 17 x 42 cm:n määräaloja. Kullekin määräalalle piirretään 10 viivaa, joilta mitataan puun ja tyhjän tilan osuus. Yhtä tarkka kuin tapa, jossa vastaavat viivat mitataan pinon kyljestä edellyttäen, että kuvissa pölkkyt eivät peitä toisiaan. Mittauksessa voidaan käyttää apuna vuosilustojen mittauslaitetta. Värikuvista saadaan tarkempi tulos kuin mustavalkoisista.

Pinta-alaotanta. Pinon kyljestä mitataan tietyltä alalta (suorakaide tai ympyrä) niiden pölkkyjen läpimitat, joiden ydin sattuu mitattavalle alalle. Läpimittojen avulla saadaan pölkkyjen päiden pinta-ala ko. määräalalla. Voidaan rekisteröidä mittauksen yhteydessä tyvien lukumäärä ja ehkä muitakin tunnuksia kylkitiheyden ja pinotiheyden välisen muuntokertoimen määrittämistä varten. Menetelmän käytöstä ei ole kokemuksia.

Silmävarainen kylkitiheyden arviointi. H e m m i (1972) toteaa tästä menetelmästä seuraavaa: Tiheys arvioidaan joko suoraan tai osatekijöitä apuna käyttäen. Subjektiiivinen menetelmä, joka tuskin sopii meidän mittausoloihimme. N i s u l a (1963) on käyttänyt silmävaraista arviointia valokuvista ja todennut sillä päästyn verraten hyviin tuloksiin. Tämä menetelmä tulee kuitenkin erikseen tarkasteltavaksi pinomittauksen kehittämistutkimuksen toisissa osissa, joten se jätetään tässä yhteydessä käsittelemättä.

4.3 Kylkitiheysmittarit

Kylkitiheysmittareista esitetään seuraavat tiedot.

Puikkomittari m/Keltikangas - Ahonen. Toiminta on sähkömekaaninen. Kylkitiheyslukemat perustuvat pölkyn päihin ja tyhjään tilaan sattuvien puikkojen suhteelliseen osuuteen. V. K e l t i - k a n k a a n (1961b) mukaan kylkitiheys muunnetaan tavaralajeittaisia kertoimia käyttäen suoraan mittariasteikolla pinotiheydeksi. Soveltuisi käyttöön nopeakäyttöisenä tasapäisissä pinoissa. Käyttö lienee hyvin hankalaa nykyisin yleisesti epätasaisissa pinoissa, koska puikot eivät ehkä lainkaan ulotu kaikkiin pölkkyihin ja saattavat horjohdella sivuun pölkyn päistä. H e m m i epäileekin laitteen käytäntöön soveltamisen olevan mahdollista.

Neulakehikko (kanadalainen) perustuu myös pölkyn päihin ja tyhjään tilaan sattuvien pisteiden suhteisiin. Kehikkoa käytettäessä luetaan erikseen ne neulat, jotka sattuvat pinon rakoihin ja erikseen ne jotka sattuvat pölkyn päihin. Ei vaadi suurta tilaa pinon sivulla. On tarkka, mutta hidas menetelmä. Välineet ovat halvat. Riippuu neulojen pituudesta ja jäykkyydestä, kuinka hyvin laite sopii nykyisiin epätasaisiin pinoihin. (H e m m i 1972).

Hiusviivaristikko (kanadalainen), joka asetetaan pinon kylkeen ja jolta kauemmas pinosta asetetulla kiikarilla luetaan tyhjääntilaan ja pölkyn päihin sattuvien viivaristeyksien osuudet. Soveltuu heikosti maastoon ja ajoneuvopinoihin joissa puut ovat pitkittäin. Välineet suhteellisen halvat. Rajatapauksien määrittäminen on hankalaa (H e m m i 1972).

Kylkitiheysmittari m/Heinonen perustuu pölkyn päiden ja tyhjän tilan kohdalle sattuvien pisteiden suhteelliseen osuuteen. Laitteessa (kolmeen osaan taitettava selluloidilevy) on 100 kpl \emptyset 1.5 cm:n täplää, joiden sattuminen pölkyn tai tyhjän tilan kohdalle luetaan 4...5 m:n päästä pinosta. Halpa menetelmä, jossa kuitenkin rajata-

paukset (tyhjän tilan ja pölkyn raja) ovat epävarmoja niinkuin kaikissa subjektiivisesti rekisteröivissä mittareissa. (A r o et al. 1958)

Kylkitiheysmittari m/Pöyhtäri. Teoriassa esitetty ratkaisu perustuu ympyrän kehälle sattuvan puun ja rakojen suhteelliseen osuuteen (harpin kärjessä pyörivä rulla). Käytäntöön soveltaminen lienee hyvin hankalaa (H e m m i 1972).

Laskijalevyllä varustettu kylkitiheysmittari perustuu ympyrän kehältä mitatun puun ja aukkojen suhteelliseen osuuteen. Teoriassa esitetty ratkaisu. Tarkkuus ilmeisesti parempi kuin m/Pöyhtärillä, sillä tällä mittarilla vinot pölkyn päät mitataan suorina (N i s u l a 1972, Liite 2). Käytäntöön soveltamisessa saattaa esiintyä suuria vaikeuksia.

Kylkitiheysmittari m/Snellman perustuu janalta mitattavien pölkyn päiden ja tyhjän tilan suhteellisiin osuuksiin. Mittaus hankalaa ja epätarkkaa, koska mittariin ei sisälly tähtäyslaitetta. M a k k o s e n (1959) mukaan se ei sovellu lainkaan epätasaisille pinnoille, (esim. koivupaperipuu) jollaisia useimmat pinot ovat nykyään. Myös H e m m i (1972) epäilee laitteen käyttömahdollisuuksia.

Laskijanauhalla varustettu kylkitiheysmittari perustuu janalla mitatun puun ja tyhjän tilan osuuteen (Liite 3). Optinen tähtäin parantaa tarkkuutta, joten se on ilmeisesti tarkempi kuin m/Snellmanmittari. N i s u l a n (1972) teoriassa esittämä ratkaisu, jonka käyttöön liittyy samoja hankaluuksia kuin m/Snellman-mittarin käyttöön.

Vastaavanlainen viiva- tai janamenetelmä voi tulla kyseeseen myös siten, että pinon kylkeen piirretään vastaava viiva, jolta lasketaan pölkynpäiden ja välien osuudet.

Bitterlichin kylkitiheyskiila toimii relaskoopin periaatteella (Liite 4). Rajapuut voidaan tarkistaa mittaamalla läpimitta ja etäisyys. Käyttö joutuisaa ja vaivatonta, jos kiinnityspiikki on riittävän pitkä, jolloin mittaria voidaan siirtää pölkyn pituuden suunnassa pölkyn päiden tason vaihdellessa (M a k k o n e n 1959). Kylkitiheyskiila saattaa soveltua edelleenkin käytäntöön, ja se onkin syytä ottaa mukaan mahdollisiin jatkokokeisiin.

Optinen piirturi (kanadalainen) laskee pinon kyljestä pölkyn päiden ja tyhjän tilan osuuden. Laite on tarkka mutta kallis (n. 25 000 mk). Sopii keskitettyihin mittauksiin esim. tehtailla, kun mitataan poikittaisia ajoneuvopinoja (H e m m i 1972).

4.4 Yhteenveto kylkitiheyden mittaamisesta

Yhteenvetona on todettavissa, että mistään tunnetuista näytteenottomenetelmistä tai mittareista ei ole saatavissa sellaisia tietoja, joista selviäisi niiden antaman arvion tarkkuus (mittarilla saatu kylkitiheys - totaalinen kylkitiheys) erisuuruisilla näytteillä. Samasta syystä menetelmien ja mittarien täsmällinen keskinäinen vertailu ei ole mahdollista. Kustannus- ja ajanmenekkitietoja on myös hyvin niukasti saatavissa. Taloudellinen vertailu ei siten ole mahdollista.

Voidaan kuitenkin todeta, että kaikkien mittareiden ja useimpien näytteenottomenetelmien käyttö hankaloituu tai tulee mahdottomaksi, kun siirrytään käyttämään niitä huonosti ladotuissa ja pölkyn päiden osalta epätasaisissa pinoissa.

Tässä vaiheessa onkin jatkotutkimuksiin, joissa selvitetään kylkitiheyden pinon sisäistä hajontaa, syytä ottaa vain yksi menetelmä seuraavista ryhmistä (vrt. s. 7).

1. Pinta-alanäyte (pinta-alaotanta)
2. Viiva- tai jananäyte
3. Kylkitiheyskiila

Vasta tämän selvityksen jälkeen tai mahdollisesti yhtä aikaa sen kanssa lähdetään tarkastelemaan yksityiskohtaisesti mittareiden ja näytteenottomenetelmien käyttömahdollisuuksia.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- A r o, Paavo, K o r p e l a, Tapio, N i s u l a, Pentti. 1958. Tutkimuksia kuusiohutpuun ja koivupaperipuun kuorimishäviöstä. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisu 50.2.
- H e l l m a n, Eino. 1959. Paperipuun keskiläpimitan ja pinotiheyden suhde. Suomen Puutalous n:o 9.
- H e m m i, Lauri. 1972. Pinon kylkitiheyden mittaamenetelmiä. Moniste.
- K e l t i k a n g a s, Valter. 1961a. Pinon tiheyden ja pinon kylkitiheyden mittaamisesta. Metsätaloudellinen Aikakauslehti n:o 4.
- " - 1961b. Sähkömekaanisesta puikkomittarista m/Keltikangas - Ahonen. Metsätaloudellinen Aikakauslehti n:o 6-7.
- M a k k o n e n, Olli. 1958. Pinotiheystutkimuksia. Metsätehon julkaisu n:o 39.
- " - 1959. Mittauskokeita pinotiheyskiilalla ja pinotiheysmittarilla m/Snellman. Metsätehon tiedotus 156.
- " - 1960. Kuorimattomien 2.4 m:n koivupaperipuiden ja 2 m:n koivupolttorankojen pinotiheysmittauksia. Metsätehon tiedotus 173.
- " - 1961a. Pinotiheysmittareita käytettäessä huomioon otettavia seikkoja. Metsätaloudellinen Aikakauslehti n:o 3.
- " - 1961b. Jatkopuheenvuoro pinotiheysmittareiden käyttöön liittyvistä kysymyksistä. Metsätaloudellinen Aikakauslehti n:o 5.
- " - 1961c. Loppupuheenvuoro pinotiheysmittareiden käyttöön liittyvistä seikoista. Metsätaloudellinen Aikakauslehti n:o 6-7.
- N i s u l a, Pentti. 1963. Pinotiheystutkimuksia. Pienpuualan Toimikunnan Tiedotus n:o 97.
- " - 1967a. Koivupaperipuun pinotiheydestä ja kuutiosuhteista. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 62.7. Eripainos.

N i s u l a, Pentti. 1967b. Halonhakkuun yhteydessä saatujen sorvipölkkyjen kuutio- ja painosuhteet. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisu 63.1.

- " - 1972. Pinon kylkitiheyden mittaamisesta. Monisteita.

P e r t o v a a r a, Heikki. 1957. Pinotiheysmittari m/Snellman. Koe-
mittauksia. Uittotehon tiedotus 127.

- " - 1960. Pitkän pinotavaran pinotiheysmittauksia Pohjois-Suomessa.
Uittotehon tiedotus 183. Rovaniemi.

- " - 1964. Tasapituksen paperipuun pinotiheys- ja kuutiointimittauksia Pohjois-Suomessa. Uittotehon tiedotus 209.

T u o v i n e n, Arno. 1948. Tutkimuksia paperipuiden hankinnasta Pohjois-Suomessa. Metsätehon julkaisu 11.a.

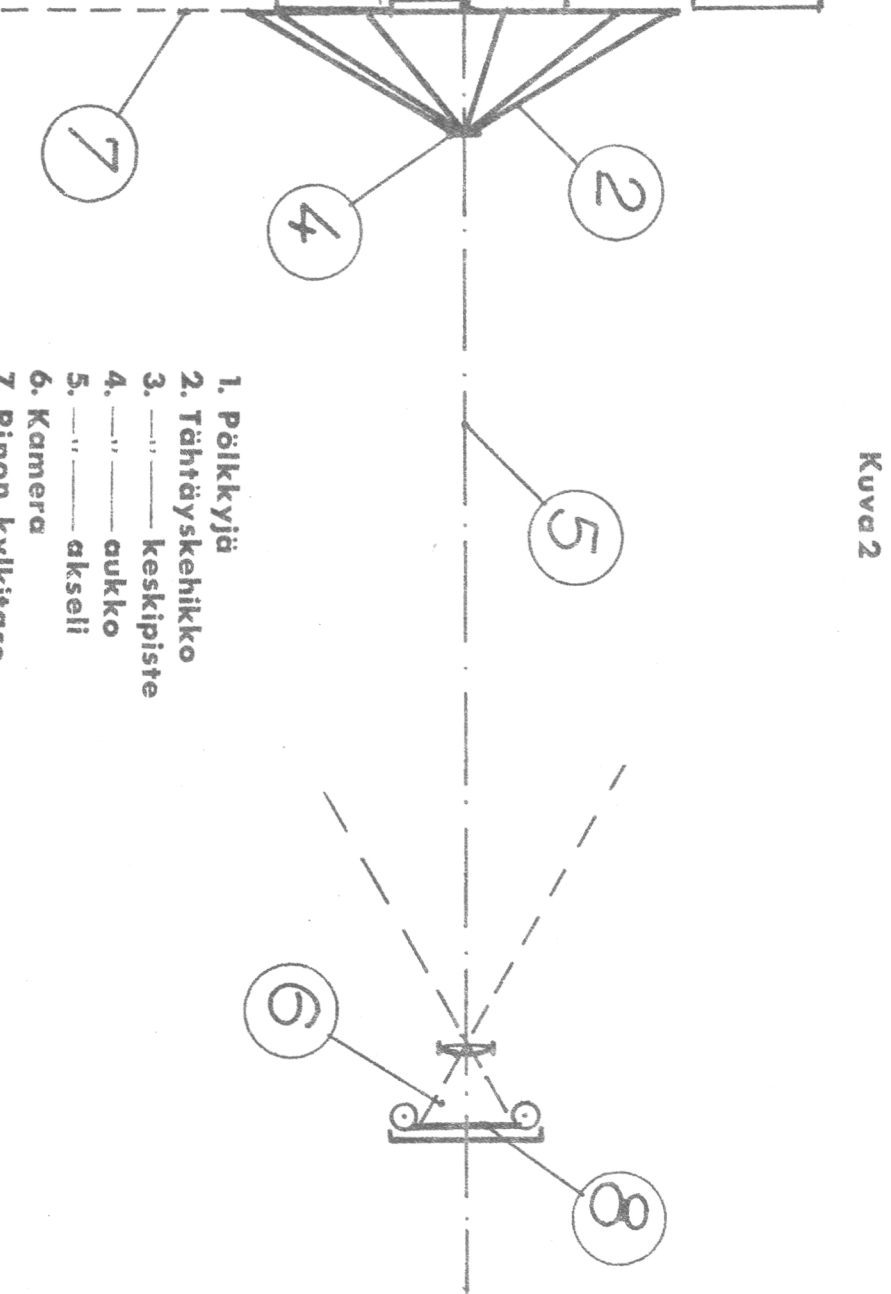
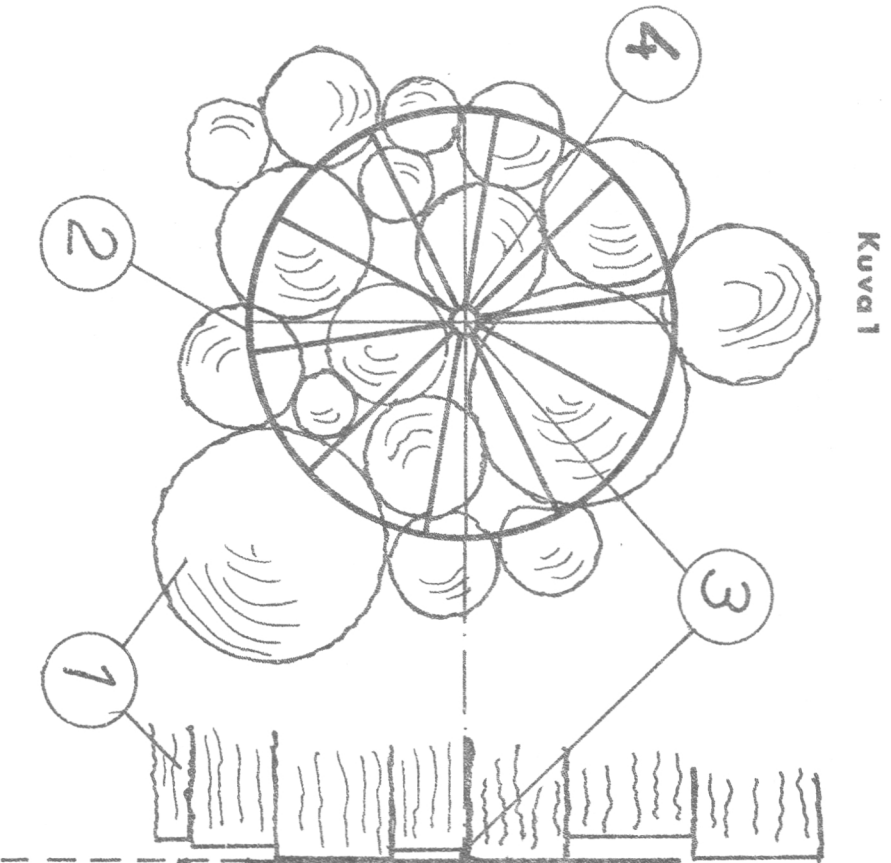
Pinon kyljestä otettavan kuvan oikaisumenetelmä

Pinon kylkeen, pitkin pinon kylkitasoa 7 asetetaan tähtäyskehikko 2, jonka muodostaa ison lampun (katto) varjostimen tapainen kartiokehikko, jonka pohjan keskipiste 3 merkitään pohjaan jännitettyjen, toisiaan vastaan kohtisuorien halkaisijalankojen avulla. Kun sitten kameran 6 tähtäysakseli 5 suunnataan kulkemaan pohjan keskipisteen 3 ja kartiokehikon huipussa olevan tähtäysaukon 4 keskipisteen kautta on pinon kylkitaso kameran 6 kuvatason 8 suuntainen, jolloin valotus voidaan suorittaa.

Kun menetelmää käytetään, saadaan kaikki pinon kyljestä otetut kuvat otetuksi pinoa vastaan kohtisuorasta suunnasta. Jos tähtäysakseli on lisäksi kaikissa otetuissa kuvissa saman pituinen saadaan saman mittakaavaisia kuvia, joista kylkitiheys voidaan määrittellä.

Menetelmä sopinee lähinnä käytettäväksi pinoissa, joissa pölkkyjen päät ovat lähimain samassa kylkitasossa. Jos pölkkyjen päiden asema kovin paljon vaihtelee esim. ± 30 cm, lienee menetelmän käyttökelpoisuus kyseenalaista, koska kuvissa useat pölkyt saattavat joutua toistensa peittämiski.

**PINON KYLJESTÄ OTETTAVAN KUVAN
OIKAISUMENETELMÄ**



- 1. Pölkkyjä
- 2. Tähtäyskehikko
- 3. ——— keskipiste
- 4. ——— aukko
- 5. ——— akseli
- 6. Kamera
- 7. Pinon kylkitaso
- 8. Kameran kuvataso

Laskijalevyllä varustettu pinotiheysmittari

Kuva 1 esittää pinotiheysmittarin sivulta katsottuna ja Kuva 2 päältä katsottuna.

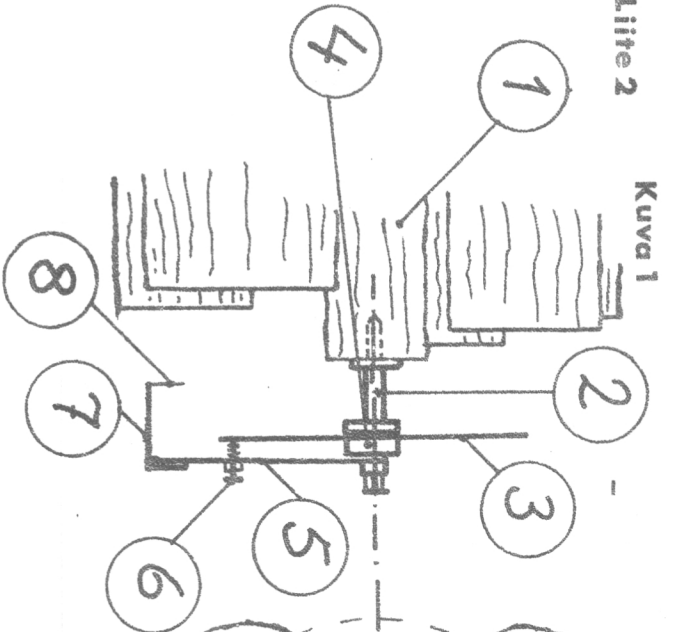
Koje muodostuu laskijalevystä 3 ja liipottimesta 5. Laskijalevy on läpimitaltaan esim. 40 cm. Liipotin 5 voi ulottua n. 10 cm laskijalevyn kehän ulkopuolelle. Laskijalevy 3 on laakeroitu kiinnitystappiin 2, jolla koje voidaan kiinnittää johonkin pinon pölkkyyn (Kuva 1). Laskijalevyssä 3 on lukitsija 4, jolla laskijalevy 3 voidaan lukita mihin asentoon tahansa.

Liipotin 5 on laakeroitu kiinnitystappiin 2, jossa on lukituslaite 6, jolla se voidaan lukita laskijalevyyn 3. Liipottimen 5 uloimmassa päässä on tähtäinvarsi 7, jossa on jyvä 8 ja hahlo 9.

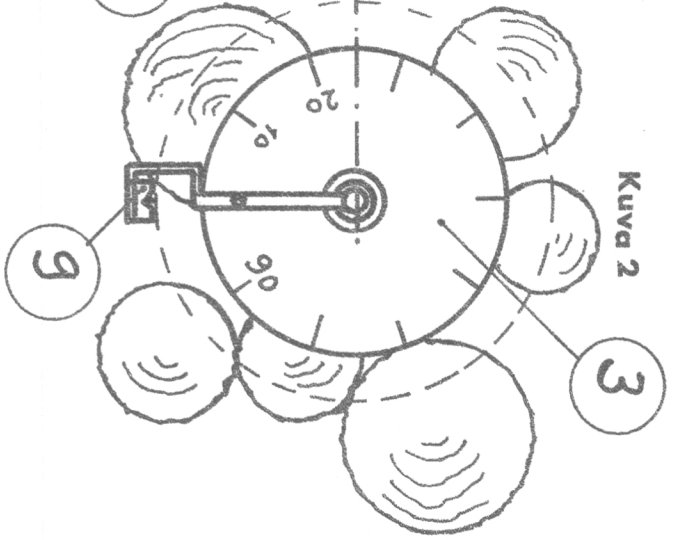
Toiminta:

Laskijalevy 3 lyödään kiinnitystapillaan 2 mittavalle kohdalla olevan pölkyn päähän. Liipotin 5 jätetään vapaasti riippumaan ilman lukitusta, jolloin se riippuu kohtisuoraan alas (Kuva 2). Tämän jälkeen laskijalevy 3 pyörytetään 0-asentoon ja liipotin 5 lukitaan laskijalevyyn 3 0-kohdalle. Tämän jälkeen alkaa mittaus, joka etenee pyörittämällä kojetta vastapäivään. Jos ensiksi on mitattavana tyhjää tilaa (Kuva 2) pyöritetään laskijalevyä 3, siksi kunnes tähtäimet (jyvä 8 - hahlo 9) osoittavat eteentulevan pölkyn rajalle (Kuva 3). Tämän jälkeen laskijalevy 3 lukitaan kiinnitystappiinsa 2 ja liipotinta irrotetaan ja siirretään seuraavalle rajapisteelle (Kuva 4), jossa liipotin 5 lukitaan laskijalevyyn 3. Tämän jälkeen tartutaan laskijalevyyn 3, jota pyöritetään tyhjän paikan yli ja lukitaan seuraavalle rajalle (Kuva 5). Näin jatketaan, kunnes päädytään lähtöasemaan (Kuva 6). Tämän jälkeen voidaan laskijalevyltä lukea montako prosenttia kuljetusta kehästä (100-jakoinen) on aukkoa. Pinotiheys on silloin esim. $(100-31) = 0.69$.

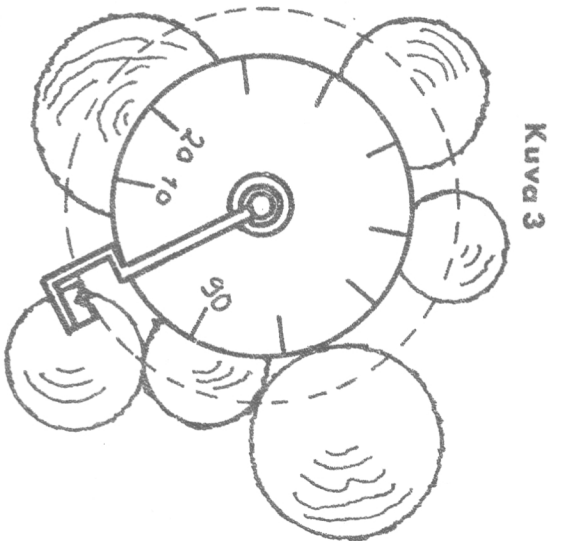
Liite 2



Kuva 1



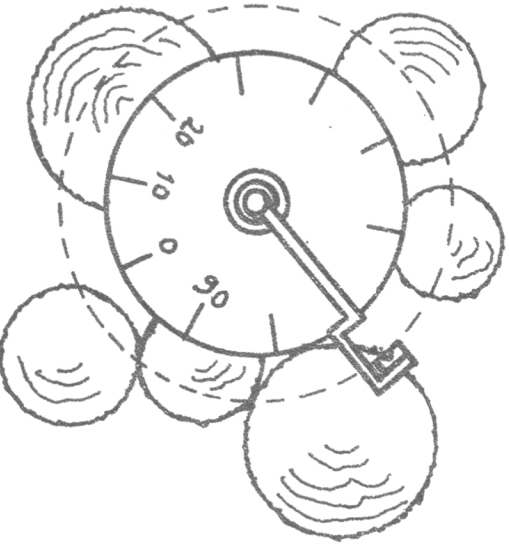
Kuva 2



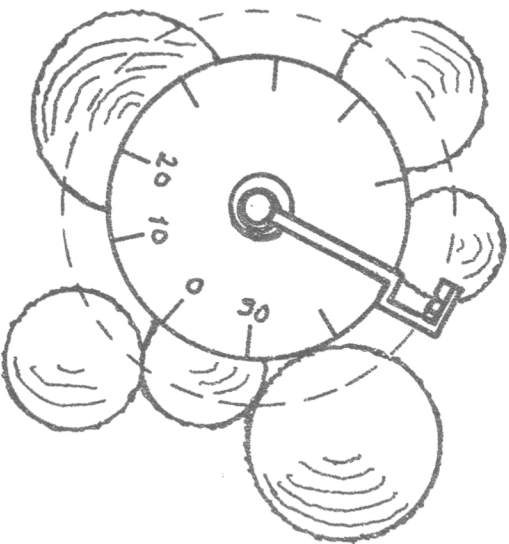
Kuva 3

LASKIJALEVYLLÄ VARUSTETTU KYLIKITIHEYSMITTARI

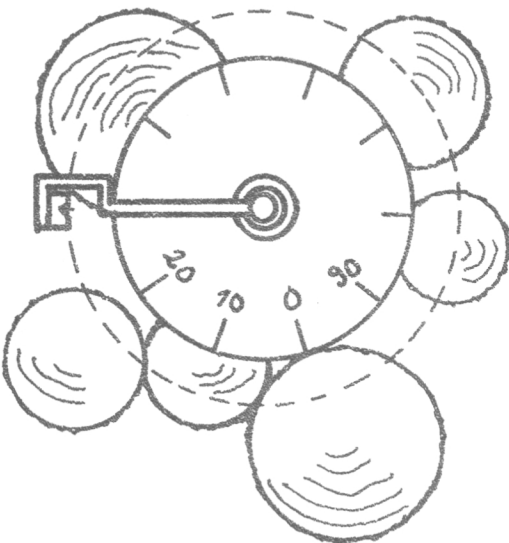
1. Pölkky
2. Kiinnitystappi
3. Laskijalevy
4. —————:n lukitsija
5. Liipotin
6. —————:timen lukitsija
7. ————— jyvän varsi
8. Tähtäimen jyvä
9. ————— hahlo



Kuva 4



Kuva 5



Kuva 6

Laskijanauhalla varustettu pinotihyysmittari

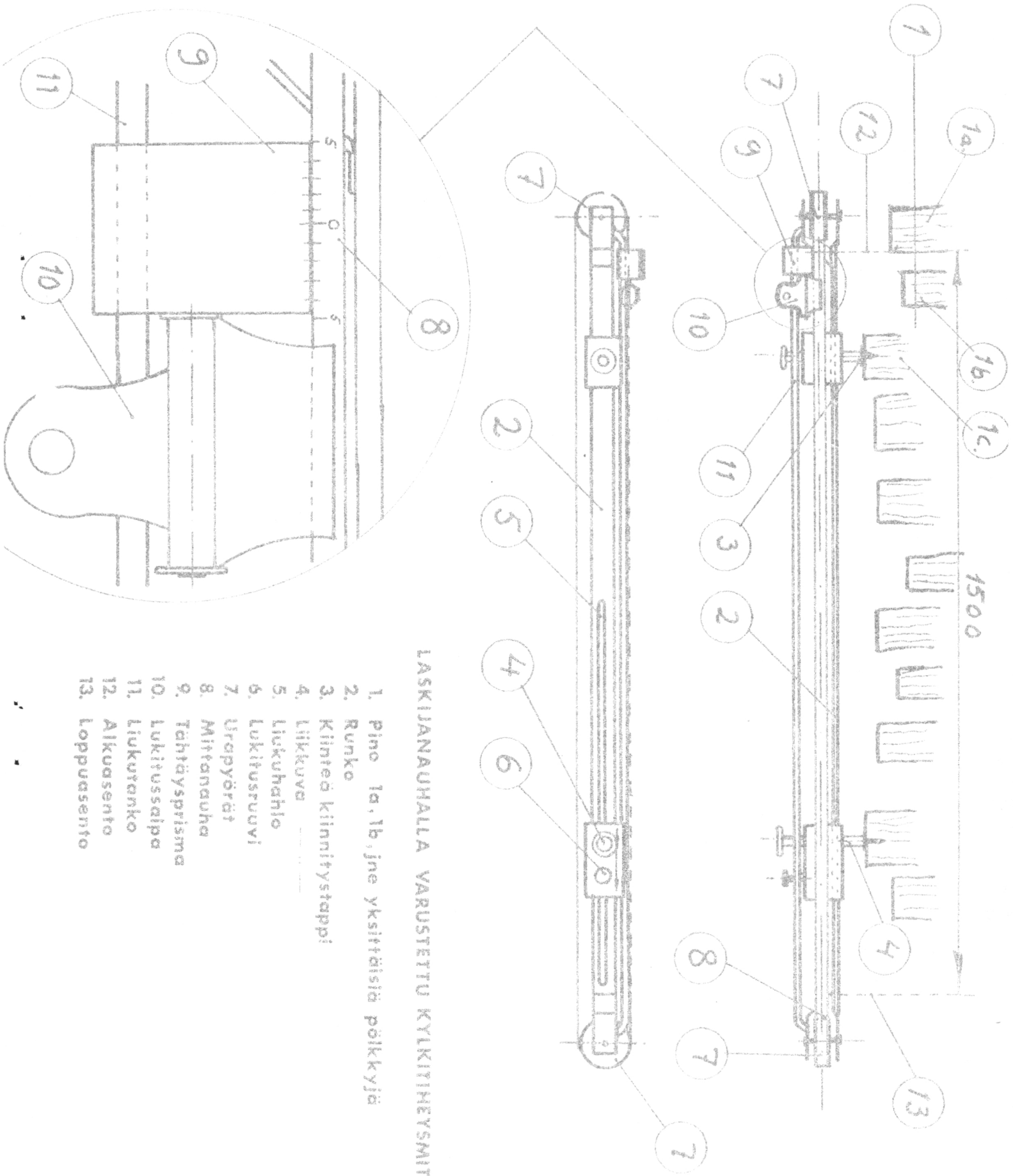
Kuva 1. Laitteisto päältä katsottuna

Kuva 2. Laitteisto sivusta katsottuna

Runko 2 kiinnitetään pinon pölkyihin kiinnitystapeilla 3 ja 4. Kiinnitystappi 3 on kiinteä ja kiinnitystappi 4 liukuu liukuhahlossa 5 ja se voidaan lukita poikalleen lukitusruuvilla 6. Rungon kummassakin päässä on urapyörät 7. Urapyörrien 7 yli on jännitetty päätön mittanauha 8. Tähtäysprisma 9 ja lukitussalpa 10 liukuvat omalla rungollaan liukutankoa 11 pitkin.

Toiminta: Mitattava alue 150 cm on jaettu sataan osaan. Sen jälkeen kun laite on kiinnitetty pinon kylkeen kiinnitystapeilla 3 ja 4 nollataan päätön mittanauha alkuasentoonsa 12. Jos tähtäysprisma 9 on rajalla ja siitä alkaa aukko, puristetaan lukitussalpa 10 kiinni päättömään mittanauhaan 8 ja siirretään laitteistoa 9-10 seuraavalle mittarajalle (seuraavan pölkyyn alku). Tällöin päätön nauha 8 on kulkenut mukana. Tämän jälkeen lukitussalpa 10 irrotetaan ja laitteisto 9-10 siirretään pölkyyn 1a ohi, minkä jälkeen mittarajalla suoritetaan taas lukitus 10 ja siirrytään pölkyyn 1b mittarajalle, jolloin päätön nauha 8 siirtyy mukana. Näin jatketaan loppuasentoon 13 saakka. Päättömältä nauhalta voidaan lukea paljonko linjalla 12-13 on ollut aukkoa, josta voidaan päätellä linjalla 12-13 oleva kylkitiheys.

Tähtäysprismanä voitaneen käyttää esim. 90° tai 120° asteen prismaa hiusristikolla varustettuna tai sen sijalla peiliä tähtäysjyvineen tms.

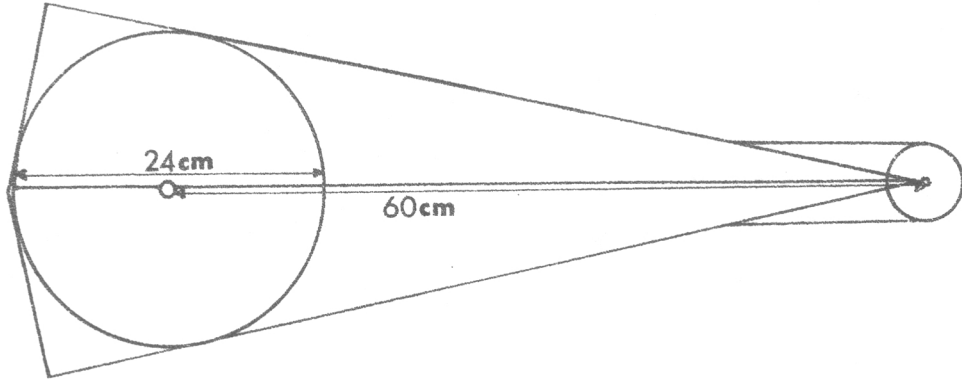


LASKIJANAUHALLA VARUSTETTU KYIKIRIHEYSMITTARI

1. Pino 1a, 1b, jne yksittäisiä pölkkyjä
2. Runko
3. Kiinteä kiinnitystappi
4. Liikkuva
5. Liukuhahlo
6. Lukitusruuvi
7. Uropyörät
8. Mittanauha
9. Tähtäysprisma
10. Lukitusaspa
11. Liikuranke
12. Alkuasento
13. Loppuasento

Liite4

KYLKITIHEYSKIILA
m/ Bitterlich



Kylkitiheysmittari, m/Kajaani Oy

Mittarin toiminta perustuu TV-kameralla mitattavasta puupinosta otettavaan kuvaan. Laitteen etsimelle johdetaan kuva, jota mittaaja kalibroi siten, että näkee etsijällä valkoisena ne mittauskohteen osat, joiden osuus koko kuvan alasta halutaan mitata. Kuvan muut osat ovat mustia. Laitteella voidaan ottaa huomioon pinon puiden vaaleuserot, kuoret, lahopuut, epätasaiset pinoamiset ym. seikat.

Mittausoperaatio on kokonaisuudessaan seuraava: Mittaaja kytkee kupeella kannettavasta akkukotelosta virran mittalaitteeseen ja suuntaa laitteen kohteeseen. Etsijällä näkyy kohteesta tavanomainen TV-kuva, jonka mittaaja säätää mahdollisimman hyväksi (objektiivin aukko ja etäisyys). Tämän jälkeen mittaaja painaa laitteen pistoolimallisessa kantokahvassa olevaa liipaisinta, jolloin etsijällä oleva kuva muuttuu vain mustaa ja valkeaa ilman harmaan eri sävyjä sisältäväksi kuvaksi. Mittaaja kiertää säätönappulaa, jolloin hän saa näkyviin kuvan mitattavat osat valkeana. Mittaaja painaa jälleen liipaisinta, jolloin kuvan päälle tulee näkyviin kaksinumeroinen luku, joka ilmoittaa kylkitiheyden prosentteina. Seuraava liipaisu hävittää lukeman ja etsijälle tulee jälleen näkyviin luonnollinen kuva mittauskohteesta.

Mittausoperaatio kestää n. 30 sek. Mittalaitteen paino on n. 2,5 kg. Akku painaa n. 3 kg.

