

METSIKKÖSADANNAN MÄÄRÄ ERÄÄSSÄ HOIDETUSSA MÄNNIKÖSSÄ

MATTI LEIKOLA

SUMMARY:

THROUGHFALL IN A MANAGED SCOTS PINE STAND IN SOUTHERN FINLAND

Saapunut toimitukselle 20. 3. 1971

Tutkimuksessa on tarkasteltu erään etelä-suomalaisen hoidetun männikön metsikkösadannan määrää, erityisesti sen riippuvuutta aukean sademäärästä, sateen rankkuudesta, metsikön puustokohtaisista tunnuksista sekä puiden tilakohtaisesta sijainnista.

Tutkimuksen yhteydessä kokeiltiin pitkänomaisien sadekourujen käyttömahdollisuuksia. Nyt käytetyt mittauslaitteet antoivat heikoilla sateilla liian pieniä lukemia tavanomaisiin kesäsademittareihin verrattuna. Sateen rankkuuden vaikutus metsikkösadantaan todettiin melko vähäiseksi. Metsikkösadannan määrän sitominen puuston latvuspeittävyuden määrään todettiin kokeiluista vaihtoehdoista parhaimmaksi. Runsailla sateilla metsikössä satoi latvusten alla enemmän kuin latvusaukoissa, mutta heikoilla sateilla sadannan tilakohtainen jakaantuminen oli suunnaltaan päinvastainen.

1. JOHDANTO

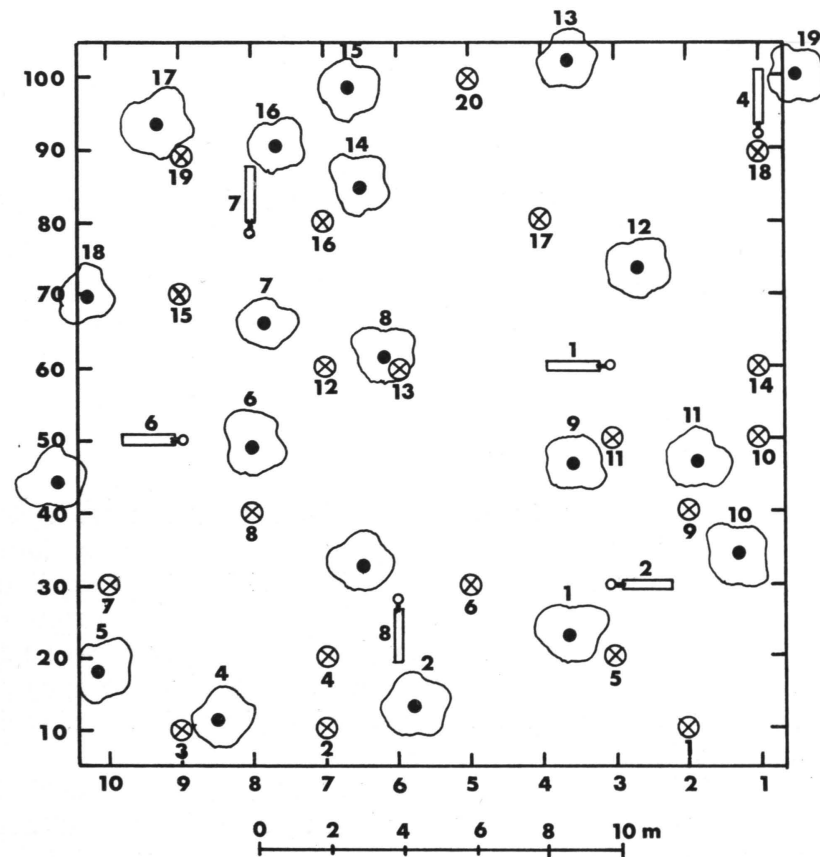
Erilaisten metsiköiden vesitaseen selvittämiseen kuuluvista osaongelmista sadantaan ja sen mittaamiseen liittyvät kysymykset ovat metsätieteiden piirissä saaneet osakseen suurinta mielenkiintoa. Aihetta käsittelevää kirjallisuutta esitteleviä katsauksia ovat julkaisseet mm. KITTEDGE (1948), MITSCHERLICH ym. (1966) sekä PÄIVÄNEN (1966). Hyvän yleiskatsauksen kysymykseen antavia julkaisuja ovat edelleen STÄLFELTIN (1944) kuusikon ja SIRÉNIN (1955) kuusikon ja koivikon vesitasetta sekä sen osakomponenttien mittaamista monipuolisesti valaisevat tutkimukset.

Vaikka metsikkösadannan määrää ja luonnetta koskevaa tutkimusaineistoa onkin käytettävissä verrattain runsaasti, tulosten yleistämistä vaikeuttaa käytetystä tutkimusmenetelmästä, metsikön puulajista ym. ominaisuuksista sekä sateen ja sen aikana vallitsevan haihdunnan määrästä ja laadusta riippuva suuri vaihtelu. Yleisesti onkin päädytty toteamaan, että eri puulajit, metsikkömuodot

sekä suurilmastosta ja maaston yleisestä topografiasta johtuvat sadetyypit tarvitsevat kukin omat erillisselvityksensä (esim. NIEDERHOF ym. 1943, WILM 1943, OVERTON 1954).

Suomessa ovat sademääriä erilaisissa männikössä mitanneet mm. HEIKINHEIMO (1912), LUKKALA (1942), SEPPÄNEN (1964), PÄIVÄNEN (1966) ja LEIKOLA (1969). Tämän tutkielman tarkoituksena on edellä mainittuihin tutkimuksiin liittyen selvittää metsikkösadannan määrää erässä hoidetussa männikössä keskittyen tässä erityisesti metsikkösadannan riippuvuuteen sateen määrästä ja rankkuudesta, metsikön puustokohtaisista tunnuksista sekä puiden tilakoh- taisesta sijainnista metsikössä.

Tutkielma liittyy niihin metsikköekologiaan selvityksiin, joita kirjoittaja suoritti ollessaan Valtion maatalous-metsätieteellisen toimikunnan tutkimusassistenttina. Helsingin yliopiston metsäharjoitteluasema sekä metsänhoitotieteen laitos ovat luovuttaneet käytetyt tutkimusvälineet. Metsänhoitaja Pentti Pylkkö on suorittanut sademittarien lukemisen kentällä ja metsätieteen ylioppilaat Sauli Ahopelto ja Aarre Välipakka ovat avustaneet



Kuva 1. Koealan latvuskartta ja sademittarien asettelu maastoon.

Fig. 1. Crown map over the experimental stand with the arrangement of the rain gauges.

tulosten laskennassa. Rouva Sinikka Hietala on piirtänyt kuvat ja kirjoittanut työn puhtaaksi.

Käsi kirjoituksen ovat lukeneet professorit Leo Heikurainen, Risto Sarvas ja Paavo Yli-Vakkuri sekä maatalous- ja metsätieteiden lisensiaatti Juhani Päivänen. He ovat esittäneet arvokkaita huomautuksia ja parannuksia, jotka on kiitollisuudella otettu huomioon.

Haluan esittää parhaat kiitokseni edellä mainituille henkilöille, yliopiston laitoksille, toimikunnalle sekä metsäntutkimuslaitokselle, jonka piirissä työn viimeistely on tapahtunut.

2. TUTKIMUSALUE

Tutkimusalue sijaitsee Pohjois-Hämeessä, metsähallinnon Korkeakosken hoitoalueeseen kuuluvalla Metsä-Saramäen tilalla (61°47' P; 24°18' I). Valittu alue oli noin 20 ha laajuinen, melko yhtenäinen puolukkatyyppin tasainen kangas, jonka korkeus merenpinnasta on 160 m. Puulajina oli yksinomaan mäntyä.

Aikaisin keväällä vuonna 1967 erotettiin tutkimusmetsiköstä 20 × 20 metrin koeala, johon merkittiin suorakulmaiseen koordinaatistoon 100 pistettä 2 metrin välein. Metsikkö kartoitettiin huolella ja sen puusto mitattiin. Koealan latvuskartta on esitetty kuvassa 1 ja puuston tärkeimmät tunnuksat taulukossa 1.

Taulukko 1. Koealan puuston tärkeimmät tunnuksat sekä puiden etäisyydet lähimpiin sademittareihin.

Table 1. The most essential characteristics of the stand and the distances between the trees and the nearest rain gauges.

Puu n:o Number of tree	Läpimitta rinnank, cm Diam. breast height, cm	Pituus, m Height, m	Latvuk- sen alaraja, m Bottom of canopy, m	Kuuti- on, k-m ³ Volume, cu.m	Latvus- kerros Canopy class	Etäisyys lähimp. puuhun, dm Distance to the nearest tree, dm	Etäisyys lähimp. sademitt. dm Distance to the nearest rain gauge dm	Etäisyys tois. läh. sademitt. dm Distance to the second nearest gauge, dm
1	24.5	17.5	9.5	0.398	I	35	9	31
2	22.5	18.0	9.0	0.345	I	30	24	26
3	14.5	14.5	9.0	0.125	II	30	25	34
4	18.0	18.0	10.0	0.228	I	26	12	25
5	17.0	13.5	8.0	0.160	III	26	23	28
6	26.0	17.0	8.5	0.428	I	25	17	27
7	22.0	18.0	9.5	0.330	I	26	16	35
8	14.0	12.5	7.0	0.101	III	26	2	18
9	14.5	14.0	7.0	0.122	II	26	11	32
10	15.0	13.5	7.0	0.125	III	21	13	18
11	17.5	15.0	9.0	0.185	II	21	11	19
12	22.5	17.5	8.0	0.334	I	41	26	40
13	24.5	18.0	9.5	0.412	I	46	25	40
14	22.5	17.0	10.0	0.324	I	21	13	40
15	20.0	16.0	10.0	0.245	I	20	30	31
16	17.0	15.0	9.0	0.175	III	20	23	23
17	29.0	20.0	10.5	0.620	I	25	11	45
18	23.5	17.5	9.5	0.398	I	37	24	26
Keskim. Average	20.3	16.25	8.9	0.281		27.9	17.5	29.9

Koealan valintaan vaikuttavina tekijöinä olivat pyrkimys mahdollisimman tasaiseen, metsänhoidolliselta tilaltaan hyvään metsikköön, lähes normaaliksi katsottavaan puustoon, maaston topografiseen tasaisuuteen, hakkuutähteiden yms. vähäiseen määrään sekä riittävän laajan ja tasaisen reunavaipan saamiseen erotettavan koealan ympärille.

Noin 150 metrin päässä tutkimusmetsikköön perustetusta koealasta sijaitsevalle noin 100×100 m avohakkuualalle aidattiin 10×10 metrin alue aukealla suoritettavia vertailevia sademittauksia varten.

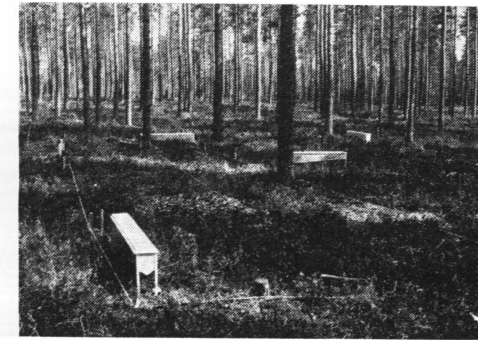
3. TUTKIMUSMENETELMÄ

Koska metsikössä suoritettavan sadantatutkimuksen tarkoituksena on ensi sijassa selvittää valitun alueen puuston vaikutusta sateen lankeamiseen tuon alueen pinnalle, on periaatteessa yksinkertaisinta ottaa yksityinen puu sateenmittauslaitteiden sijoittelun perustaksi (vrt. esim. HOPPE 1896, STÄLFELT 1944, GODSKE ym. 1950, PÄIVÄNEN 1966). Koska metsikön jokainen kohta on kuitenkin samanaikaisesti usean puun vaikutukselle alttiina, on koko puusto useimmiten otettu sellaisenaan mittauslaitteiden sijoittelun pohjaksi.

Sademittareiden asettelu metsikköön on tutkimuksissa yleensä perustunut joko satunnaisotantaan (esim. WILM 1943, RUTTER 1963, PÄIVÄNEN 1966, WHITE ym. 1968) tai systemaattiseen menettelyyn (SIRÉN 1955, VOIGT 1960, SEPPÄNEN 1964, LEIKOLA 1969). Jälkimmäisen menettelyn perusteluna on useimmiten mainittu sen tehokkuus, mutta vakavana haittapuolena on tuotava esille epävarmuus tulosten yleistettävyydestä. Varsinkin milloin on kysymyksessä viljelymetsä, ovat puut jo alusta pitäen sijoittuneet enemmän tai vähemmän systemaattisesti tilakoordinaatistoon, jolloin systemaattisen menettelyn käyttö sademittarien asettelun pohjana vaatii tuekseen ainakin aineiston luonteen tarkan analyysin.

Satunnaisotannan avulla valitun näytejoukon mahdollisuudet kuvata otannan perusjoukkoa ovat hyvät siinäkin tapauksessa, ettei perusjoukko rakenteeltaan ole normaali. Yleisesti voidaan tosin lähteä siitä olettamuksesta, että luontaisesti syntyneen tasaikäisen metsikön puut ovat sijoittuneet koealalle likimain satunnaisesti, mutta on huomattava, että luonnontilaisissakin metsissä puiden välinen kilpailu ja tästä johtuva itseharveneminen kohdistuu voimakkaampana toisiaan lähellä oleviin puihin kuin etäällä toisistaan oleviin puihin muuntaen metsikköä täten yhä lähemmäksi kohden tilaa, jossa puiden välinen etäisyys vaihtelee vain suhteellisen vähän (vrt. esim. KLIER 1969).

Tässä tutkielmassa käytettyjen sateenmittauslaitteiden sijoittelun pohjaksi valittiin yksinkertainen satunnaisotanta. Kukin koealalle sijoitetusta pisteestä numeroitiin, ja 20 kpl kesäsademittareita (Ilmatieteen laitos, m/Keränen, keräysala 100 cm^2) asetettiin 70 cm :n korkeudelle maan pinnasta alustojen varaan (kuva 2). Viereiselle aukealle alalle sijoitettiin neljä kesäsademittaria sekä yksi



Kuva 2. Tutkimuksessa käytettyjä sadekouruja ja sademittareita.
Fig. 2. Rain troughs and summer rain gauges used in the study.

piirtävä sademittari (Lambrecht no 1507, m/Hellmann, keräysala 200 cm^2). Mittarit tyhjennettiin säännöllisesti kerran päivässä, joskus useamminkin. Tyhjentämistä ei kuitenkaan suoritettu ennen kuin vähintään kaksi tuntia oli kulu- nut sateen päättymisestä.

Kysymystä metsikkösadannan luotettavaan mittaamiseen tarvittavasta sademittarien minimimäärästä on pohdittu vilkkaasti varsinkin sen jälkeen kun GODSKE ja SHIELDERUP-PAULSEN vuonna 1950 julkaisivat uudelleen analysoimansa jo klassillisen aseman saaneet HOPPEN (1896) sadantamittaustulokset ja osoittivat, että kohtalaisen suurellakaan sademittarimäärällä ($20 + \text{kpl}$) ei ole aina mahdollista saada kuusikossa aikaan kohtuullisen luotettavia mittaustuloksia. Tulosten yleistettävyyttä on yritetty parantaa mm. arpomalla mittarien asema uudelleen joka sateen jälkeen (esim. GOODELL 1952, RUTTER 1963 jne.). Mitään yleisesti pätevää sademittarien lukua ei kuitenkaan ole voitu antaa ohjeeksi, sillä vaadittavien havaintopisteiden määrä riippuu aina ensi sijassa tutkittavan metsikön ominaisuuksista. Jos vaatimukseksi on asetettu esim. tietyn suuruisen keskiarvon keskivirheen alittaminen (mm. REYNOLDS ja LEYTON 1967 esittävät 5 % hyväksyttävää enimmäisrajaa), voidaan tähän luotettavuuteen pääsemiseksi tarvittava sademittarimäärä estimoida esikokein. Määritetään ensin mittaustuloksen standardipoikkeama ja variaatiokerroin eri sadantamäärille. Kokeilemalla laskennallisesti eri sademittarimäärillä päästään tästä edelleen sovitun luotettavuustason vaatimaan sademittarien minimilukumäärään (esim. SNEDECOR 1956, SARVAS 1968).

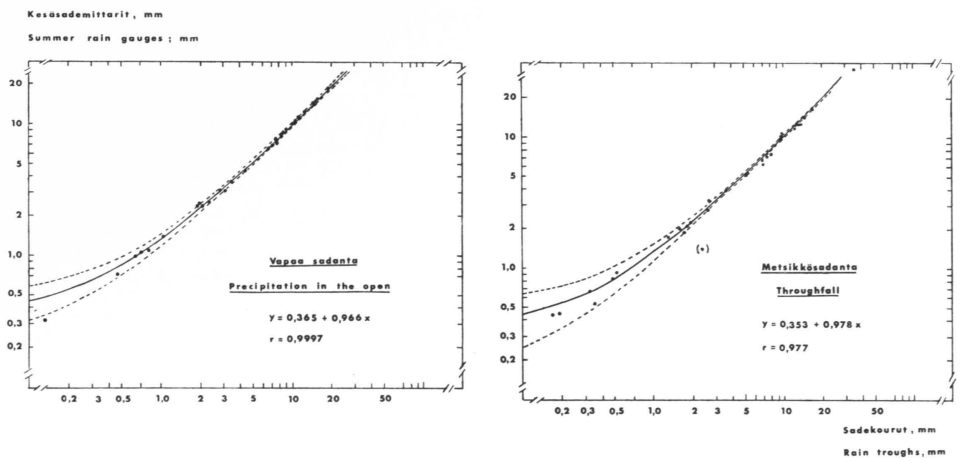
Tämän tutkimuksen puitteissa havaittiin koealalle sijoitettuihin sademittareihin sataneen keskimäärin 6.46 mm sadetta kohden. Yksityisten kesäsademittarien antamien lukemien keskihajonta oli 0.319 mm , variaatiokerroin = 4.94% . Keskiarvon keskivirhe ($n = 20$) oli 0.071 mm , ja tämä ilmaistuna sadanneksina 1.10% sadannan keskiarvosta. Vertauksen vuoksi voidaan mainita, että SEPPÄNEN (1964) tutkimuksen kohteena olleessa hyvin samantapaisessa männikössä 49 sademittarilla suoritettujen sademittausten keskivirhe oli 1.1% sadannan keskiarvosta.

Metsikkösadannan mittauksessa on yleisesti käytetty pieniä, alle 200 cm² keräysalan omaavia sademittareita. Koska mittausastiaan sataneen veden määrän toteamiseen liittyvät virheet ovat varsinkin heikkojen sateiden kohdalla huomattavia, ja koska mittaustarkeus ylimalkaan voidaan vähällä vaivalla saattaa valitulle tasolle riippumatta siitä onko kysymyksessä suuri tai pieni vesimäärä, on myös käytetty huomattavasti edellä kuvattuja suurempia sateenkeräysastioita (esim. STÄLFELT 1944, 1963). Eräänä mahdollisena ratkaisuna esitti DELFS vuonna 1958 pitkänomaisen sadekourun ja sen käytöstä saadut rohkaisevat kokemukset (vrt. myös KITTREDGE ym. 1941). Sadekourua ovat myöhemmin käyttäneet ja kehittäneet mm. GRUNOW (1965) ja WEIHE (1968). Kourun pituus on vaihdellut 2–15 metriin ja leveys 20 cm molemmin puolin. Sadekourun etuina kesäsademittariin nähden on yleensä mainittu (esim. GEIGER 1965 siv. 330–331):

- Koska kourun pinta-ala saattaa olla jopa sata kertaa normaalin kesäsademittarin keräysala, jäävät mittausvirheet sadantamillimetriä kohden hyvin pieniksi.
- Kouruun voidaan lisätä öljyä tai talvisaikaan kloorikalkkiliuosta, jolloin veden haihtuminen astiasta tai sen jäätyminen estyy. Kun kouru tyhjennetään sen alaosaan olevasta hanasta, jää veden pinnalla oleva haihtumista estävä kerros jäljelle.
- Kourut soveltuvat erilaisten otantojen pohjaksi kaikkein tiheimpiä metsiä lukuunottamatta. Ne myös tasaavat itsestään osan sateen lankeamisen pienvaihtelusta.
- Jos lähdetään siitä, että kouruja tarvitaan tietyssä metsikössä huomattavasti vähemmän kuin normaaleja kesäsademittareita, tulee niin laitteiden hinta kuin niiden hoito metsikköä kohden halvemmaksi kuin käytettäessä sademittareita.
- Pitkänomaiset kourut pienentävät sademittarin reunan yli tuulella tupruavan veden määrää, mikäli sade tulee kourun pituussuunnassa.

Koska sadekourujen käyttö näytti tarjoavan monia varteen otettavia etuja, päätettiin tutkielmaan yhdistää sadekourujen ja kesäsademittareiden vertailu. Koealalle sijoitettiin satunnaisiin kohtiin kuusi kourua ja aukealle vertailualalle kaksi kourua niin, että ne tulivat aina pareittain kohtisuoraan toisiaan vastaan. Sadekourut oli valmistettu galvanoidusta pellistä ja varustettu 1 cm leveästä kulmaraudasta tehdyin jaloin ja sivuvahvistuksin (kuva 2). Kourun reunan korkeus maasta oli 70 cm, sen pituus 150 cm ja leveys 15 cm. Näin ollen oli kourun vedenkeräysala 2 250 cm², eli 22,5 kertaa suurempi kuin kesäsademittarin. Kourun kaltevan pohjan alapäähän oli juotettu lyhyt putki johon kiinnitetty kumiletku jatkui maan sisälle kaivettuun kuoppaan asetettuun muoviseen, korkilla suljettavaan 10 litran pulloon. Menettelyn tarkoituksena oli vähentää sateen aikana ja sen jälkeen ennen laitteen tyhjentämistä astiasta tapahtuvaa haihduntaa. Sadekourut tyhjennettiin samalla kuin kesäsademittaritkin. Kourujen pohja vahattiin kerran kuukaudessa silikonipitoisella kiinteällä vahalla veden valumisen edistämiseksi.

Sateen mittaus koealalla aloitettiin 12. 5. 1967 ja toimintaa jatkettiin 31. 8. 1967 saakka. Tänä aikana rekisteröitiin yhteensä 36 erillistä sadetta, joiden aikana satoi aukealle sijoitetun piirtävän sademittarin mukaan yhteensä 274,8 mm.



Kuva 3. Aukealle (vasemmanp. kuva) ja metsikkökoelalle (oikeanp. kuva) sijoitettujen sadekourujen ja kesäsademittarien vertailu. Luotettavuusrajat 5 % riskillä.

Fig. 3. Comparison between the rain troughs and summer rain gauges placed in the open (on left) and in the experimental stand (on right). Confidence limits with 5 per cent risk.

Kuvassa 3 on esitetty erikseen aukealle ja koealalle sijoitettujen kesäsademittareiden ja sadekourujen keräämät keskimääräiset sadekohtaiset sadantamäärät millimetreinä. Runsailla ja keskimääräiseksi katsottavilla sateilla (yli 3 mm) eri mittauslaitteiden osoittamat sadantamäärät sopivat varsin hyvin yhteen, mutta alle 3 mm sateilla kourujen osalta ilmenee kesäsademittareihin verrattuna alinäyttämää, joka suurenee heikompiin sateisiin siirryttäessä.

Edellä saadun tuloksen perusteella on todettava, että kourut eivät tarjonneet vakuuttavaa todistusta niiden käytön edullisuuden puolesta, milloin on kysymys heikoista sateista. Sen sijaan voidaan kouruja käyttää ilman virhettä jos päähuomio kiinnitetään normaaleihin tai runsaihin sateihin. Kaikki jäljempänä esitettävät tulokset perustuvatkin yksinomaan kesäsademittarien perusteella saatuihin tuloksiin.

Aineiston käsittelyssä käytetyt tilastolliset laskentamenetelmät on esitetty mm. SNEDECORIN (1956) ja MÄKISEN (1968) oppikirjoissa.

Esityksessä käytettävä, sateeseen ja sen mittaamiseen liittyvä terminologia on PÄIVÄSEN (1964, 1966) esittämä, mikä nimistö edelleen perustuu HEIKURAISEN (1963) ehdotukseen. Puhuttaessa sateen määrästä käytetään seuraavassa kuitenkin luonnehdintoja »heikko» (joskus »vähäinen») sekä tämän vastakohtana »runsas» ja sateen rankkuuden (määrä/aikayksikkö) ollessa kysymyksessä käytetään sanoja »hiljainen» ja edellisen vastakohtana »kova». Esitettyjä laatusanoja ei kuitenkaan käytetä käsitteen »sadanta» yhteydessä.

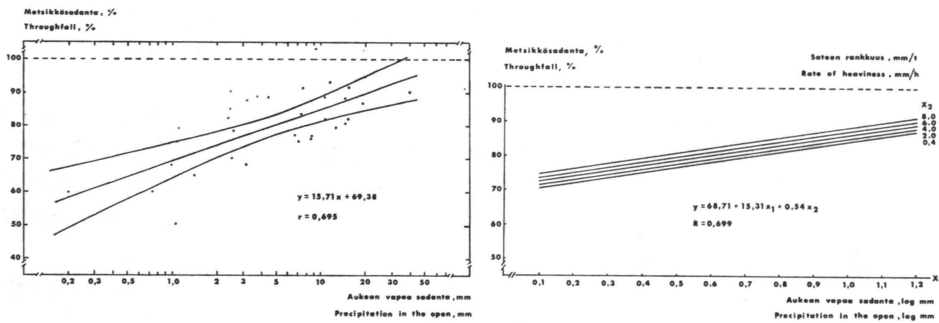
4. TULOKSET

4.1. METSIKKÖSADANNAN RIIPPUVUUS SATEEN MÄÄRÄSTÄ JA RANKKUUDESTA

Yleisesti tiedetään, että puiden latvukset aina pidättävät tietyn osan sateesta. Tämä osuus ei kasva suorassa suhteessa sadannan määrään, koska mm. sateen alussa kuivat latvukset pidättävät sadetta melko runsaasti. Kun lehvistö ja oksat kostuvat, niiden pinnalle alkaa kerääntyä yhä enemmän vettä, joka tietyn kyllästymisasteen jälkeen putoaa alas (GRAH ja WILSON 1944, OVERTON 1954, RUTTER 1963).

Kuvassa 4 on esitetty koealan metsikkösadannan suhteellisen määrän riippuvuus viereisen aukean alan sademäärän suuruudesta. Koska metsikkösadannan määrä ei nouse juuri koskaan täysin vapaan sadannan tasolle (teoreettisesti tämä on kyllä mahdollista), on metsikkösadannan määrän kuvaajana käytetty paitsi logaritmifunktiota (kuten tässä), myös asymptoottisia funktioita (esim. GRAH ja WILSON 1944, CZARNOWSKI ja OLSZEWSKI 1968).

Metsikkösadannan määrä riippuu kuitenkin paitsi sateen määrästä myös sen kestoajasta ja rankkuudesta. Hiljaisilla sateilla sadeveden pisarakoko on vähäinen, mutta mitä enemmän aikayksikköä kohda sataa (ts. mitä rankempi sade on), sitä suurempi on pisarakoko ja tämän mukaisesti myös pisaroiden putoamisnopeus (esim. KITTREDGE 1948 siv. 81). Sateen aikana tapahtuva haihdunta on myös hiljaisten sateiden aikana merkittävämpää, jos sadannan määrä otetaan aikayksikön määräämisen perustaksi. Tämän tutkimuksen yhteydessä mitattiin sateen rankkuus sadantamillimetreinä tuntia kohden aukealle alalle sijoitettuna sadepiirturin avulla. Kuvassa 5 on esitetty sekä aukealla rekisteröidyn vapaan



Kuva 4. Metsikkösadannan suhteellisen määrän riippuvuus vapaan sadannan määrästä. Luotettavuusrajat 5 % riskillä. (Vasemmalla).

Fig. 4. The dependence of the relative amount of throughfall on the amount of precipitation in the open. Confidence limits with 5 per cent risk. (On the left).

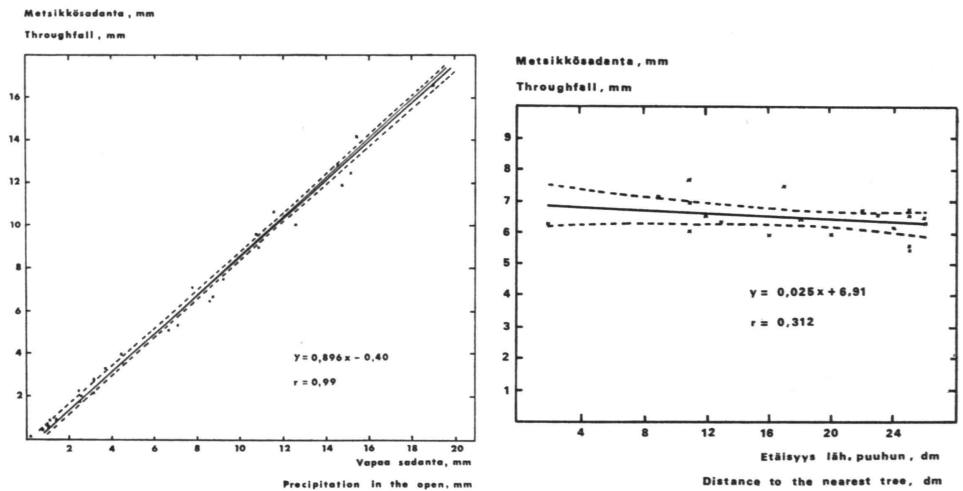
Kuva 5. Metsikkösadannan suhteellisen määrän riippuvuus vapaan sadannan määrästä ja sateen rankkuudesta. (Oikealla).

Fig. 5. The dependence of the relative amount of throughfall on the amount and the rate of heaviness of precipitation in the open. (On the right).

sadannan (logaritmisessa asteikossa) että erikseen eri sateiden rankkuusasteiden vaikutus metsikkösadannan määrään. Havaitaan, että kovinkaan suurta vaikutusta ei rankkuuden vaihteluilla sittenkään ole ollut: vielä kysymykseen tulevilla ääriarajoilla tämän tekijän aiheuttama muutos metsikkösadannan määrään vaihteli noin viiden sadannesyksikön verran.

4.2. METSIKKÖSADANNAN MÄÄRÄN RIIPPUVUUS PUUSTON TUNNUKSISTA

Metsikkösadannan suuruuden sitominen johonkin vaivatta määrättävään puusto- tms. tunnukseen tarjoaisi monia huomionarvoisia etuja ryhdyttäessä arvioimaan metsäisessä maastossa maan pinnalle lankeavan sateen kokonaisuutta. Tämän vuoksi onkin asiaa koskevia selvittelyjä tehty runsaasti. Suomessa on SEPPÄNEN (1964) johtanut täysimittaisille männiköille kaavan metsikkösadannan määrittämiseksi vapaan sadannan ja metsikön tiheyden (latvusprojektioiden summan) funktiona. Kuvassa 6 on vertailtu tämän tutkimuksen koealan metsikkösadannan määrää SEPPÄSEN kaavan mukaan laskettuun, vastaavaa tiheysastetta (latvuspeittävyys 45 %) edustavaan ohjemäärään. On



Kuva 6. Metsikkösadannan määrän riippuvuus vapaan sadannan määrästä. Kuvaan on vertauksen vuoksi piirretty SEPPÄNEN (1964) mukaan laskettu, latvuspeittävyteen perustuva metsikkösadanta. Luotettavuusrajat (katkoviivat 5 % riskillä. (Vasemmalla).

Fig. 6. The dependence of the amount of throughfall on the precipitation in the open. For comparison, the throughfall, calculated after Seppänen (1964), has been depicted. Confidence limits (dotted lines) with 5 per cent risk. (On the left).

Kuva 7. Metsikkösadannan määrän riippuvuus sademittarin etäisyydestä lähimmän puun runkoon. Luotettavuusrajat (katkoviivat) 5 % riskillä. (Oikealla).

Fig. 7. The dependence of throughfall on the distance between the rain gauge and the trunk of the nearest tree. Confidence limits (dotted lines) with 5 per cent risk. (On the right).

merkille pantavaa, että tulos vahvistaa Seppäsen esittämän kaavan luotettavuutta ja käyttöä, vaikka tässä yhteydessä onkin viitattava kaavan johtamisessa ilmeisesti vallinneisiin epävarmuustekijöihin (metsikköjen lukumäärä vain 2 kpl, sekä käsitteiden »tiheys» ja »latvusprojektioiden summa» käytön epäselvyys (vrt. esim. LUKKALA 1942, PÄIVÄNEN 1966 siv. 18—19). PÄIVÄNEN (1966) on puolestaan kokeillut metsikön kuutiomäärän ja pohjapinta-alan kelpoisuutta keskimääräisen metsikkösadannan kuvaajana. Tämän tutkimuksen aineisto ei kuitenkaan toteuttanut yksinomaan edellä mainittujen tunnuksien mukaan laskettuja keskimääräisiä metsikkösadantoja kovinkaan hyvin (aineiston mukainen metsikkösadanta oli, 4.8 mm vapaan sadannan vallitessa, tässä tutkimuksessa 80 % aukean sadannasta, kun sen tulisi Päiväsen mukaan puuston kuutiomäärän avulla määrättynä olla noin 70 % ja pohjapinta-alan avulla noin 72 %).

CZARNOWSKI ja OLSZEWSKI (1968) ovat johtaneet yksinkertaisen kaavan metsikkösadannan määräämiseksi:

$$i = H \sqrt{GN}, \text{ jossa}$$

i = puustopidäntä, H = metsikön keskipituus, G = puuston pohjapinta-ala ja N = runkoluku/ha.

He käyttävät esimerkkinä KITTREDGEN (1948 siv. 109) julkaisemia havain-toja useata eri tiheysastetta edustavasta *Pinus contorta*-metsiköistä. Koska tämä menettely saattaisi ratkaista asetetun kysymyksen, on seuraavassa asetelmassa vertailtu muutamia suomalaisissa männiköissä saatuja, em. kaavalla laskettuja tuloksia:

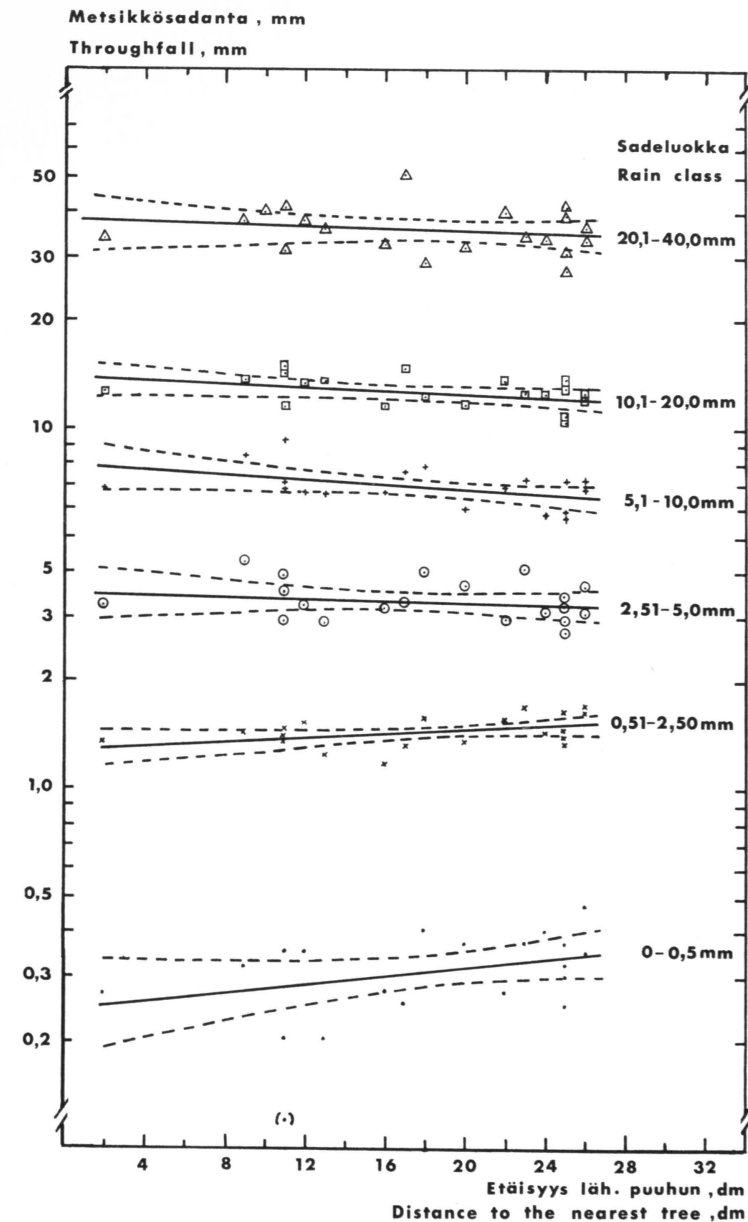
Metsikkö	Ikä, v.	Pituus, m	P-ala, m ² /ha	Runkol., kpl/ha	Laskettu puustop., % vap. sadann.	Todellinen puustop., % vap. sadann.
Päivänen 10 ¹⁾	15	2	3	1 220	120.1	15
» 1 ¹⁾	44	7	10	1 250	782.6	30
» 15 ¹⁾	70	11	13	958	1 227.6	10
» 6 ¹⁾	40	11	19	1 820	2 045.6	32
» 2 ¹⁾	100	18	23	475	1 881.4	32
Tutk. mets.	75	16	15	450	1 323.2	20

¹⁾ Päivänen 1966 siv. 18.

Verrattaessa toisiinsa laskettuja ja todellisia, mittaustuloksiin perustuvia puustonpidäntöjen arvoja on epäsuhte erittäin silmiinpistävä. Yhtälön avulla saadut puustopidännät eivät edes ole keskenään läheskään samaa suuruusluokkaa. Tämän perusteella on todettava, että edellä esitetyn yhtälön käyttökelpoisuus on meikäläisissä metsissä erittäin vähäinen.

4.3. PUIDEN ASEMAN VAIKUTUS METSIKKÖSADANNAN MÄÄRÄÄN

Sade ei metsikössä lankea maan pinnalle täysin tasaisesti, vaan puiden latvukset saavat aikaan usein huomattavaa tilakohtaista vaihtelua. Kuvassa 7 on esitetty keskimääräisen metsikkösadannan riippuvuus sademittarin etäisyydestä



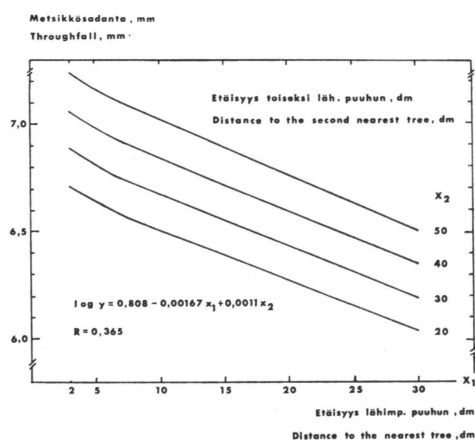
Kuva 8. Metsikkösadannan määrän riippuvuus sademittarin etäisyydestä lähimmän puun runkoon eri sadeluokissa. Luotettavuusrajat (katkoviivat) 5 % riskillä.

Fig. 8. The dependence of throughfall on the distance between the rain gauge and the trunk of the nearest tree presented in rain classes. Confidence limits (dotted lines) with 5 per cent risk.

lähimpään puuhun. Toisin kuin voisi olettaa, on keskimääräinen sadanta ollut puun rungon lähellä runsaampaa kuin kauempana rungosta.

Tämän seikan lähempää selvittämistä varten havaintokauden sateet ryhmitettiin aukean sadannan mukaan kuuteen eri luokkaan seuraavasti: 0—0.50 mm, 0.51—2.50 mm, 2.5—5.0 mm, 5.1—10.0 mm, 10.1—20.0 mm ja 20.1—40.0 mm. Metsikkösadannan riippuvuus puiden välisestä etäisyydestä eri sadantaluokkien puitteissa on esitetty kuvassa 8. Heikoilla sateilla on metsikkösadanta ollut rungon lähellä suhteellisesti vähäisintä, ja se on kasvanut mitä kauemmaksi rungosta on siirrytty. Mitä suurempiin sadantaluokkiin siirrytään, sitä selvemmin tämä suhde muuttuu päinvastaiseksi: etäisyyden kasvaessa metsikkösadannan suhteellinen määrä pienenee. Koska runsaat sateet esiintyvät keskimääräistä sadantaa laskettaessa suurimmalla painolla, ne ovat myös määränneet edellä kuvassa 7 esitetyn keskimääräisen riippuvuussuhteen yleisuuntauksen.

Koska oli hyvin luultavaa, että myös muiden kuin vain lähimmän puun vaikutus näkyisi metsikkösadannan tilakohtaisessa jakaantumisessa, laskettiin vielä sekä lähimmän että toiseksi lähimmän puun etäisyyden yhteinen vaikutus metsikkösadannan määrään. Tulos on esitetty kuvassa 9. Verrattaessa toisiinsa vain lähimmän puun etäisyyden ja toisaalta kahden lähimmän puun etäisyyden ja metsikkösadannan määrään riippuvuussuhteita luonnehtivia korrelaatiokerroimia, havaitaan että kertoimen arvo kiinteytyy jonkin verran ($r = -0.312$, $v = 19 \rightarrow R = -0.365$, $v = 18$). Koska sademittaria lähimmän ja toiseksi lähimmän puun etäisyyksien keskinäinen korrelaatiokerroin oli arvoltaan niinkin vähäinen kuin $+0.018$, ei riippumattomien muuttujien ns. multikollineaarisuudella liene juuri mitään vaikutusta tulokseen, vaan tämä on luettava yksinomaan lisätyn selittävän muuttujan vaikutukseksi. Samalla tarjoaa alhainen korrelaatiokerroin lisätodistuksen käytetyn otannan satunnaisuudesta.



Kuva 9. Metsikkösadannan määrän riippuvuus sademittarin etäisyydestä lähimmän ja toiseksi lähimmän puun rungosta.

Fig. 9. The dependence of throughfall on the distance between the rain gauge and the trunks of the nearest and the second nearest trees.

5. TULOSTEN TARKASTELUA

Metsikkösadannan mittaaminen on aina vaikea tehtävä, ja onkin ilmeistä, että erittäin tarkkoihin tuloksiin ei ole koskaan aihetta pyrkiäkään, sillä mittausten menetely on aina vaarassa muuttua kohtuuttoman vaivalloiseksi (REYNOLDS ja LEYTON 1967). Paitsi sateenkeräysastioiden muotoon liittyvät seikat (katso esim. PLATT ja GRIFFITHS 1964), myös useat ympäristötekijät vaikuttavat asiaan. Tuulen nopeus lienee sateen mittauksessa suurin epätasällisyyttä aiheuttava tekijä. Tarttuessaan puiden latvuksiin kova tuuli panee ne pyöriään ja heiluvaan liikkeeseen, jolloin latvuksiin takertuneita pisaroita sinkoutuu ilmaan (mm. GRAH ja WILSON 1944), ja myös metsikön latvusprojektion muoto vaihtelee lakkaamatta. Mitä kovempi tuuli vallitsee, sitä vinommassa kulmassa sadepisarat putoavat, ja sitä runsaammin niitä myös tarttuu puiden muodoltaan pitkänomaisiin latvuksiin. Yleisesti ottaen onkin metsikkösadannan määrä käänteisesti riippuvainen tuulen nopeudesta (CZARNOWSKI ja OLSZEWSKI 1968).

Myös puiden latvusmassassa tapahtuu vuoden mittaan muutoksia. Puuston pidättämän sateen määrän vaihtelu lehvistön kehitysasteen mukaan onkin erityisesti lehtipuilla hyvin selvää (mm. SIRÉN 1955, WHITE ja CARLISLE 1968), mutta myös havupuiden alkukesällä ilmestyvät uudet vuosikasvaimet ja neulaset lisäävät latvuston tiheyttä siirryttäessä kevästä kohden syksyä (esim. KIENHOLZ 1934, MADGWICK 1970). Toisaalta vanhojen neulasten putoaminen tapahtuu kotimaisilla havupuillamme yleensä runsaimmin loppukesällä elosyyskuussa (MORK 1942, VIRO 1955).

Sadevettä tulee maan pinnalle metsikössä myös valumalla puiden runkoja myöten. Runkovaluntaa ei kuitenkaan ole mitattu tämän tutkimuksen yhteydessä. PÄIVÄSEN (1966) mukaan se on männiköissä suurillakin sateilla alle 1.5 % ja SEPPÄSEN (1964) mukaan keskimäärin noin 0.4 % vapaan sadannan määrästä, joten tämän tekijän vaikutus ei kaiken kaikkiaan ole suuri esim. metsikkösadantaan verrattuna.

Useat tutkijat ovat todenneet yhtäpitävästi, että hakkuut lisäävät metsikkösadantaa ennen kaikkea vähentämällä metsikön latvuspeittävyttä (mm. CHEO 1942, NIEDERHOF ja WILM 1943, WILM 1943 ja GOODELL 1952). Tämän tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että metsikkösadannan arviointi voitaisiin ainakin varttuneissa männiköissä sitoa luotettavasti yksinomaan latvuspeittävyteen, mikäli metsikön tila on jokseenkin normaali. Eri puulajit tulee tietenkin tästä huolimatta käsitellä erikseen.

Se että sadanta männikössä on varsinkin runsailla sateilla latvusten alla suurempi kuin latvusten välisissä aukoissa tuntuu ensi näkemältä olevan vastoin yleistä käsitystä metsikkösadannan tilakohtaisesta jakaantumisesta. Useat tutkijat kuitenkin viittaavat juuri tähän mahdollisuuteen, joskin vain sivumennen (mm. Ovington 1954, Voigt 1960 ja Rutter 1963). Myös SEPPÄNEN (1964) on kiinnittänyt huomiota siihen, että »runsailla vuorokautisilla sateilla sai sademittari yleensä sitä enemmän vettä, mitä lähempänä puuta mittari oli» (main.

tuos, siv. 10). PÄIVÄNEN (1966) mainitsee, että mikäli aukean sademäärä oli yli 7 mm, sademäärän ja toisaalta lähimmän männyn sekä sademittarin välisen etäisyyden keskeinen korrelaatiokerroin oli arvoltaan -0.44 , mutta jos sademäärä oli 1 mm, niin vastaavan korrelaatiokertoimen arvo oli $+0.64$.

Ilmiön selitys on todennäköisesti yhteydessä sateen viinon tulosuuntaan sekä puiden latvusten taipumukseen kerätä pienet pisarat suuriksi, jotka sitten tippuvat suoraan alas maan pinnalle. Pitkänomaiset männyn latvukset toimivat sateen aikana pisarain kerääjinä koko pinnallaan eikä vain vaakasuoran projektionsa alalla, kuten olisi asian laita jos sade lankeaisi pystysuorassa suunnassa. Tätä jälkitippumista jatkuu jopa tunnin verran sateen taukoamisen jälkeen. Sel-laisilla puulajeilla joiden oksat riippuvat alaspäin, voidaan latvuksen ulkoreu-nalla erottaa erityinen vyöhyke, jossa sataa ylivoimaisesti eniten (KERN 1966).

Se seikka, että männikössä latvusten alla maa saa enemmän sadetta kuin aukealla korostuu vielä kun muistetaan, että runkovalunta koituu tosiasiassa suhteellisen vähäisen pinta-alan hyväksi. Esim. männikössä, jonka runkoluku on 500 kpl/ha, noin 1 metrin säteelle lähimmän rungon pinnasta (rungon keski-läpimitaksi oletettu tässä 27 cm) osuu vajaa 20 % metsikön kokonaisalasta. Tämä seikka saa myös merkitystä syvennyttäessä tutkimaan pintakasvillisuuden viihtymistä metsikön latvuksien alla ja myös taimiston menestymistä emopuiden alla.

Verrattaessa sateen jakaantumista männikössä lumen vastaavaan jakaantu-miseen ero on hyvin selvä. Latvukset pidättävät tunnetusti lunta erittäin hyvin, ja niinpä lumipeitteen vahvuus on heikointa latvusten alla myös männiköissä (YLI-VAKKURI 1960). Tämä seikka tasaa jonkin verran sademääriä metsikössä, vaikka ei otettaisi huomioon pintavesien virtausta ja tämän tekijän maan vesi-oloja tasoittavaa vaikutusta.

6. KIRJALLISUUS

- CHEO, K. H. 1946. Ecological changes due to thinning red pine. *J. For.* 44:369—371.
- CZARNOWSKI, M. S. ja OLSZEWSKI, J. L. 1968. Rainfall interception by a forest canopy. *Oikos* 19:345—350.
- DELFS, J. 1958. Die Niederschlagzurückhaltung in den Beständen (Interception). Kirjassa: Delfs, J. ym. (toim.) Der Einfluss des Waldes und des Kahlschlages auf den Abflussvorgang, den Wasserhaushalt und den Bodenabtrag, ss. 76—107. Aus dem Walde 3, Hannover. 223 siv.
- GEIGER, R. 1965. The climate near the ground. (alkup. saksank. 1961). Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass. 611 siv.
- GODSKE, C. L. ja SHIELDERUP-PAULSEN, H. 1949. The forest precipitation. Investigations at the station on forest meteorology at Os II. Univ. Bergen Arbok 1949. Naturv. rekke 8.
- GOODELL, B. C. 1952. Watershed-management aspects of thinned young lodgepole pine stands. *J. For.* 50:374—378.
- GRAH, R. F. ja WILSON, C. C. 1944. Some components of rainfall interception. *J. For.* 42: 890—898.

- GRUNOW, J. 1965. Die Niederschlaghaltung in einem Fichtenbestand am Hohenpeissenberg und ihre messtechnische Erfassung. *Forstw. Cbl.* 84:212—229.
- HEIKINHEIMO, O. 1912. Metsämaitten kosteussuhteista. Suomen metsänh.yhd. julk. 29:443—461.
- HEIKURAINEN, L. 1963. On using ground water table fluctuations for measuring evapotranspiration. Seloste: Pohjavesipinnan vaihteluista haihdunnan mittaamisessa. *Acta For. Fenn.* 76.5.
- HOPPE, E. 1896. Regenmessung unter Baumkronen. *Mitt. forstl. Versuchsw. Österr.* 21.
- KERN, K. G. 1966. Wachstum und Umweltfaktoren im Schlag- und Plenterwald. *Schriftenr. Forstl. Abteil. Albert-Ludwigs-Univ., Freiburg i Br.* 5.
- KIENHOLZ, R. 1934. Leader, needle, cambial, and root growth of certain conifers and their relationships. *Bot. Gaz.* 96:73—92.
- KITTREDGE, J. 1948. Forest influences. Mc Graw-Hill Book Co, New York ym. 394 siv.
- KITTREDGE, J., LOUGHEAD, H. J. ja MAZURAK, A. 1941. Interception and stemflow in a pine plantation. *J. For.* 39:505—522.
- KLIER, G. 1969. Beitrag zu den Baumabstandsmethoden in der Forstwirtschaft. *Arch. Forstw.* 18:1257—1264.
- LEIKOLA, M. 1969. The influence of environmental factors on the diameter growth of forest trees. Auxanometric study. *Acta For. Fenn.* 92.
- LUKKALA, O. J. 1942. Sateen mittaamisesta erilaisissa metsiköissä. *Acta For. Fenn.* 50.23.
- MADGWICK, H. A. J. 1970. Biomass and productivity models of forest canopies. Kirjassa: Reichle, D. F. (toim.) Analysis of temperate forest ecosystems, ss. 47—54. Springer Verl., Berlin ym. 304 siv.
- MITSCHERLICH, G., MOLL, W., KUNSTLE, E. ja MAURER, P. 1966. Ertragskundlich-ökologische Untersuchungen im Rein- und Mischbestand. IV. Niederschlag, Stammablauf und Bodenfeuchtigkeit. *Allg. Forst- u. Jagtz.* 137:1—13.
- MORK, E. 1942. Om strøfallet i våre skoger. *Medd. Norske skogforsøksv.* 29 (7.3.).
- MÄKINEN, Y. 1968. Tilastotiedettä biologeille. Kurssimoniste. Turun yliopiston kasvitieteen laitos. 184 siv.
- NIEDERHOF, C. H. ja WILM, H. G. 1943. Effect of cutting mature lodgepole-pine stands on rainfall interception. *J. For.* 41:57—61.
- OVINGTON, J. D. 1954. A comparison of rainfall in different woodlands. *Forestry* 27:41—53.
- PLATT, R. B. ja GRIFFITHS, J. 1964. Environmental measurement and interpretation. Reinhold Publ.Co., New York, 235 siv.
- PÄIVÄNEN, J. 1964. Metsikön vesitaseen selvittämismahdollisuudet. Summary: Possibilities of the explanation of the water balance of a stand. *Metsät. aikakausi.* 81:447—450.
- »— 1966. Sateen jakaantuminen erilaisissa metsiköissä. Summary: The distribution of rainfall in different types of forest stands. *Silva Fenn.* 119.3.
- REYNOLDS, E. R. C. ja LEYTON, L. 1963. Measurement and significance of throughfall in forest stands. Kirjassa: Rutter, A. J. ja Whitehead, F. H. (toim.). The water relations of plants, ss. 127—141. Blackwell Sci. Publ., Oxford. 394 siv.
- RUTTER, A. J. 1963. Studies in the water relations of *Pinus sylvestris* in plantation conditions. *J. Ecol.* 51:191—203.
- SARVAS, R. 1968. Investigations on the flowering and seed crop of *Picea abies*. *Comm. Inst. For. Fenn.* 67.5.
- SEPPÄNEN, M. 1964. Vesisateen jakaantumisesta männiköissä. Summary: On the distribution of rainfall in the pine stands. *Acta For. Fenn.* 76.8.
- SIRÉN, G. 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland and its ecology. Lyhennelmä: Pohjois-Suomen paksusammalkankaiden kuusimetsien kehityksestä ja sen ekologiasta. *Acta For. Fenn.* 62.4.

- SNEDECOR, G. W. 1966. Statistical methods applied to experiments in agriculture and biology. 5. lait. Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa. 534 siv.
- STÄLFELT, M. G. 1944. Granens vattenförbrukning och dess inverkan på vattenomsättningen i marken. Kungl. Lantbruksakad. Tidskr. 83:425—505.
- WEIHE, E. J. ja CARLISLE, A. 1968. The interception of rainfall by mixed deciduous woodlands. Quart. Journ. For. 62:310—320.
- WILM, H. G. 1943. Determining net rainfall under a conifer forest. J. Agric. Res. 67:501—512.
- VIRO, P. J. 1955. Investigations on forest litter. Selostus: Metsäkariketutkimuksia. Comm. Inst. For. Fenn. 45.6.
- VOIGT, G. K. 1960. Distribution of rainfall under forest stands. For. Sci. 6:2—10.
- YLI-VAKKURI, P. 1960. Metsiköiden routa- ja lumisuhteista. Summary: Snow and frozen soil conditions in the forest. Acta For. Fenn. 71.5.

SUMMARY:

*The purpose of the study was to measure the throughfall in a managed Scots pine (*Pinus silvestris* L.) stand in southern Finland (61°47'; 24°18'). Totally 20 summer rain gauges (collecting area 100 cm²) were placed randomly in form of a lattice of 100 squares, each 2×2 m. Six rain troughs, 15 cm × 150 cm, were also placed in the experimental stand (Fig. 1, Table 1). Auxiliary precipitation measurements were done in an opening, situated about 150 m. from the stand, by using four summer rain gauges, two rain troughs, and one recording rain gauge. The measurement period lasted one summer (May—September) in 1967.*

In comparison with summer rain gauges, the rain troughs gave too low values when the precipitation was below 3 mm/rainstorm (Fig. 3). Accordingly, all the measurements and conclusions were made from data collected with summer rain gauges only.

The rate of throughfall was determined by the amount of precipitation and the rate of heaviness of the rain shower (Fig. 4, 5). When trying to describe the relative amount of throughfall by using various characteristics of the stand, the equation, proposed by SEPPÄNEN in 1964, was the best. When the rate of throughfall was depicted with the distance between the summer rain gauge and the nearest tree (Fig. 7), there was a negative correlation between these. The correlation was negative under heavy rains, but under small rains the correlation proved to be positive (Fig. 8).

Various factors of uncertainty are discussed. The fact that, during long periods, the areas under pine canopies reach more rain water than those between the canopies may be of importance when analyzing the spatial distribution of ground vegetation, mosses etc.