

VERHOPUUSTON TIHEYDEN VAIKUTUS METSIKÖN MINIMILÄMPÖTILOIHIN HALLAÖINÄ

MATTI LEIKOLA JA PENTTI PYLKKÖ

SUMMARY:
ON THE INFLUENCE OF STAND DENSITY ON THE MINIMUM
TEMPERATURES DURING FROST NIGHTS

Saapunut toimitukselle 3. 10. 1968

Tutkimuksessa on selvitetty koivu-verhopuuston tiheyden vaikutusta metsikön lämpötiloihin hallaöinä. Aineistona on käytetty metsähallinnon Korkeakosken hoitoalueessa sijoit-sevan, kolmea eri tiheysastetta edustavan metsikön sarjaa. Ilman lämpötilat mitattiin kustakin metsiköstä sekä näiden viereiseltä aukealta alalta usealla korkeudella. Lisäksi mitattiin muutamien aukealla alalla kasvavien kuusen taimien latvakasvainten todelliset lämpötilat termoelementillä.

Osoittautui, että harvaa verhopuustoa edustavan koealan ja aukean alan minimilämpötilat olivat hallaöinä keskenään samaa suuruusluokkaa. Tiheä ja keskitiheä metsikkö olivat näitä 1—2° C lämpimämpiä. Kuusen kasvaimet olivat kirkkaina ja kylminä öinä lämpötilataan 1—2° C kylmemmät kuin ympäröivä ilma. Tutkimuksen mukaan vasta kohtalaisen tiheä (latvuspeittävyys 60—70 %) verhometsä antaa riittävän suojan hallanaroilla kuusen uudistusaloilla.

1. JOHDANTO

Metsänuudistusalalle jätetyn tai sillä etumetsänä kasvatetun puuston käyttö arvokkaamman taimiston suojaamiseen ilmastollisia yms. vaaroja vastaan on jo vanhastaan ollut tunnettua. Esimerkiksi kuusen viljelyssä on usein ollut pakko turvautua kestävien lehtipuiden muodostamaan verhometsään suojaksi varsinkin alavilla mailla esiintyviä halloja vastaan.

Keväthallojen tuhot ovat Keski-Euroopassa yleisempiä ja myös metsätaloudessa vakavammin otettavia kuin ilmastoltaan muutoin viileämmässä Poh-

jois-Euroopassa (esim. SCHNELLE 1963 ym.). Onkin ymmärrettävää, että hallan torjunta verhopuuston avulla on siellä saanut suurta mielenkiintoa osakseen. Erityisesti Saksassa on tehty lukuisia aihetta käsitteleviä erikoistutkimuksia. Vanhemmista julkaisuista on tässä yhteydessä syytä mainita vain AMANNIN (1930) ja KOCHIN (1934) työt. Viimeaikaista tutkimusta edustavat mm. GÖHREN (1953), HESMERIN (1953) ja BAUMGARTNERIN (1956) verhometsän ilmastollisia vaikutuksia käsittelevät julkaisut, sekä GÖHREN ja LÜZKEN (1956), MITSCHERLICHIN ym. (1965) ja KERNIN (1966) monipuoliset, erilaisten metsiköiden ekologisista oloista valottavat työt.

Muulla on verhopuuston vaikutusta hallan esiintymiseen tutkittu vähemmän. Suomalaisia, mittauksiin perustuvia mikroilmastollisia tutkimuksia ovat MULTAMÄEN (1939, 1942) ja myös LUKKALAN (1946) kuusen uudistamista hallanaroilla soilla käsittelevät työt. Muutamia muutkin tutkijat, kuten esim. SIRÉN (1955) ovat käsitelleet erilaisten metsiköiden vaikutusta kasvupaikan lämpötiloihin.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, miten verhopuustona käytetyn hieskoivikon (*Betula pubescens* Ehrl.) sisällä esiintyvät vuorokautiset minimilämpötilat vaihtelevat puuston tiheyden mukaan. Tämän ohessa kiinnitetään huomiota myös taimiston muodostavien kuusien (*Picea abies* (L.) Karst.) latvakasvainten todelliseen lämpötilaan kylminä ja kirkkaina öinä.

Tutkimus on syntynyt yhteistyönä siten, että Matti Leikola on kirjoittanut lopullisen käsikirjoituksen ja huolehtinut tutkimuksen saattamisesta painoasuun. Pentti Pylkkö on vastannut lämpötilanmittauksista kentällä sekä laatinut alustavan käsikirjoituksen. Tutkimussuunnitelma sekä tutkimuksen valmistelut ovat tekijöiden yhdessä suorittamat.

Professori Paavo Yli-Vakkuri on valvonut ja ohjannut työtä siltä osin kuin se on ollut jälkimmäisen tekijän opinnäytetyönä Helsingin yliopistossa. Professori Leo Heikurainen on ystävällisesti asettanut Loukaskorven vesitalouskoealansa allekirjoittaneiden käyttöön. Lausumme parhaat kiitoksemme molemmille suuriarvoisesta avusta.

2. TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄ

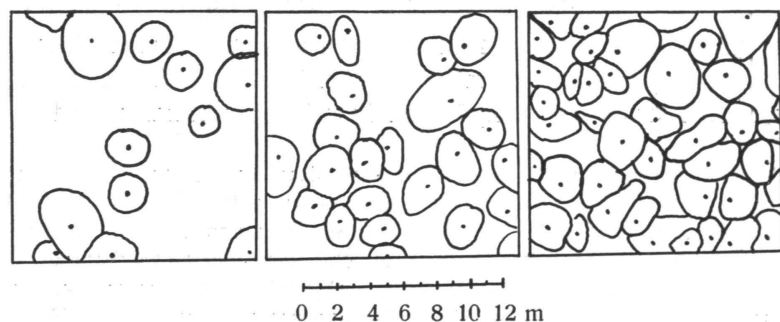
21. TUTKIMUSALUE JA KOEALAT

Tutkimusalue sijaitsee Keski-Suomessa, metsähallinnon Korkeakosken hoitoalueessa olevassa Loukaskorvessa (61°53' p.l. × 24°23' i.p., korkeus 142 m. mpy.). Tasaisen, ojitetun suon ympärillä kohoavat kangasmaat ovat enimmäkseen aukeita tai 1—2 m korkean taimiston vallassa. Vuonna 1961 oli silloin n. 40-vuotiasta koivikkoa kasvava tutkimusalue käsitelty hakkuin, jolloin muodostettiin mm. kolmea eri tiheysastetta edustavan metsikön sarjaa. Tutkimuksessa käytettäväksi koealoiksi valittiin n. 30×30 metrin suuruinen aukea ala, sen itäpuolelta noin 30 metrin päästä tiheän koivikon muodostama metsikkö sekä aukon koillispuolelta kaksi muuta koivuverhometsää, joista toisen puusto arvioitiin harvaksi ja toisen keskitiheäksi. Eri koealojen puuston tärkeimmät tun-

nukset on esitelty taulukossa no 1. Koealojen latvusprojektit käyvät ilmi kuvasta 1. Lisätietoja koealoista ja niillä suoritetuista toimenpiteistä on saatavissa HEIKURAISEN (1967) julkaisusta s. 7—13 sekä PYLKÖN (1968) julkaisemattomasta tutkielmasta.

Taulukko 1. Tietoja eri tiheysastetta edustavien koivikkojen puustosta. Mittaus 1967.
Table 1. Data on the birch stands of various densities used in the study. Measurement 1967.

Koeala no Stand no	Runkoluku, kpl/ha No of stems pro hectar	Keskipituus, m Mean height, m	Latvuksen alaraja, m Bottom of canopy, m	Latvuspeittävyys, % Crown closure, %
2	480	8.5	3.0	33
3	970	10.0	5.0	65
4	1 550	13.0	7.0	84



Kuva 1. Koealojen 2, 3 ja 4 latvuskartat. Koeala 1 on aukea ala.
Figure 1. Crown maps of experimental stands no 2, 3, and 4. Experimental stand no 1 is open area.

22. KOEALOILLA SUORITETUT MITTAUKSET

Ilman lämpötilan mittaamiseksi kullekin koealalle pystytettiin havaintotorni. Jotta metsikköihin tuotettaisiin mahdollisimman vähän häiriötä, pyrittiin koealoilla kasvavia puita käyttämään hyväksi niin paljon kuin suinkin. Tornit tuettiin liikkumattomiksi harusvaijerien avulla ja varustettiin poikkipuvin, joihin lämpömittarien säteilysuojukset kiinnitettiin. Aukealle alalle pystytettiin lisäksi puinen sääkoju 2 m korkeuteen. Kojuun asetettiin termohygrografi ja tarkistuslämpömittarit.

Lämpötilojen mittauskorkeudet olivat jokaisella neljällä koealalla samat 4 metrin rajaan saakka: 0.1 m, 0.5 m, 1.0 m, 2.0 m ja 4.0 m. Keskitiheää verhopuustoa edustavan metsikön sisällä oli lisäksi mittauspiste 6.0 m, ja tiheää verhopuustoa edustavan koealan sisällä 6.0 m, 8.0 m sekä 10.0 m korkeudessa.

Vuorokausikohtaisten minimilämpötilojen mittaamiseen käytettiin Minima-merkkisiä ääriarvomittareita, jotka kalibroitiin kerran ennen mittauskauden alkua ja toisen kerran kauden loputtua. Aukealle alalle sijoitettu termohygrografi kalibroitiin tämän lisäksi Assman-psykrometrin avulla 2 kertaa kuussa. Lämpömittarien lukematarkkuutena käytettiin 0.2° C:ta.

Mittarit luettiin aamuisin järjestyksessä alimmasta ylimpään alkaen aukealta alalta päättyen tiheään koivikkoon. Varsinainen mittauskausi kesti vuoden 1967 kesäkuun alusta heinäkuun alkuun, jona aikana minimilämpötilojen vaihtelua seurattiin vuorokausikohtaisesti. Heinäkuun alusta elokuun loppuun havaintoja tehtiin harvemmin. Huomiota kiinnitettiin tällöin vain tavallista kylmempään ja pilvettömiin öihin.

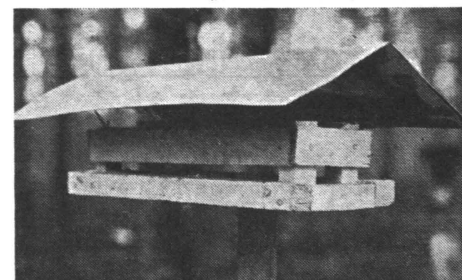
Kuusen taimien latvakasvainten ja ympäröivän ilman lämpötilat mitattiin termoelementin avulla. Koetaimien (4 kpl) edellisen vuoden latvakasvaimen yläosan kautta pistettiin reikä viistoon kasvutilassa olevan uuden kasvaimen sisään. Kupari-konstantaanianturi työnnettiin varovaisesti tätä kautta kasvaimen ja elementtijohdon vapaa pää sidottiin kasvaimen ympärille. Haavasta erittyvä pihka liimasi anturin tuota pikaa kasvaimen, ja kiinteä kosketus anturin ja kasvaimen välillä voitiin katsoa saavutetun.

Kasvainten lämpötilan mittaus suoritettiin tätä tarkoitusta varten suunnitellulla potentiometrillä (malli: Honeywell 2715-S). Lukematarkkuutena käytettiin 0.25° C:ta.

23. LÄMPÖMITTARIEN SÄTEILYVIRHE

Minimilämpömittareita varten tarvittavat säteilysuojukset valmistettiin itse 7/8" × 7/8" mäntyrimasta. Suojukset maalattiin valkoiseksi ja varustettiin 33 cm × 50 cm kokoisella valkeaksi maalatulla peltikatoksella (kuva 2).

Jotta saataisiin jonkinlainen kuva lämpötilan mittauksessa esiintyvistä säteilyvirheistä (esim. MULTAMÄKI 1942 s. 38—41, MAC HATTIE 1965) suoritettiin syyskuussa 1967 useita vertailevia koesarjoja. Aukealle alalle asetettiin yhteensä viidelle eri korkeudelle kolme lämpömittaria vierekkäin siten, että yksi oli suojattu tutkimuksessa käytetyllä säteilysuojuksella, toinen ns. Buding-su-



Kuva 2. Tutkimuksessa käytetty lämpömittarin säteilysuojus.
Figure 2. Radiation screen used in the study.

Taulukko 2. Tutkimuksessa käytettyjen säteilysuojusten vertailua. Lämpötilat °C.
Table 2. Comparison between radiation screens used in the study. Temperatures in °C.

Pvm. — Date	28. 8. Aug. 28.				6. 9. Sept. 6.				13. 9. Sept. 13.				18. 9. Sept. 18.			
	Sää- koju Weath. chamb.	Oma suoj. Own scr.	Bud. suoj. Bud. scr.	Avoin Open	Sää- koju Weath. chamb.	Oma suoj. Own scr.	Bud. suoj. Bud. scr.	Avoin Open	Sää- koju Weath. chamb.	Oma suoj. Own scr.	Bud. suoj. Bud. scr.	Avoin Open	Sää- koju Weath. chamb.	Oma suoj. Own scr.	Bud. suoj. Bud. scr.	Avoin Open
Korkeus, m Height, m																
0.1		4.2	3.2	3.4		2.8	2.0	2.2		-0.2	-1.0	-1.0		-2.2	-2.6	-2.6
0.5		3.8	3.4	3.0		2.4	2.2	1.8		-0.6	-0.5	-1.4		-2.4	-2.4	-2.8
1.0		4.0	3.6	3.4		2.2	2.0	1.8		-0.8	-0.8	-1.6		-2.4	-2.4	-2.8
2.0		4.2	3.8	3.6	4.6	2.2	2.0	1.8	-0.6	-1.0	-1.2	-1.4	-2.4	-2.6	-2.8	-3.0
4.0		4.4	4.2	4.2		2.2	2.0	1.8		-0.8	-1.2	-1.2		-2.6	-3.0	-3.0
Lämpötilan erot, keskim. Differences in temperatures, aver. Sääkoju — oma suoj. Weath.chamb. — own scr. Oma suoj. — Bud. suoj. Own scr. — Bud. scr. Oma suoj. — avoin Own scr. — open			0.4			0.2	0.2			0.4	0.3			0.2	0.2	0.4

juksella ja kolmas mittari oli ilman verhoa. Taulukossa 2 on vertailtu pilvettöminä ja tyyninä öinä tehtyjä havaintoja. Ero täysin suojaamattoman ja oma-tekoisella suojuksella varustetun mittarin välillä on ollut 0.4—0.7° C suuruusluokkaa. Sääkojussa ollut lämpömittari on osoittanut säännöllisesti arvoltaan korkeimpia lukemia. Se on ilmeisesti ollut vähiten altis yön aikana esiintyneelle voimakkaalle ulossäteilylle. Yksisivuisen Buding-suojausten käyttökelpoisuus tämän tyyppiin tutkimuksiin on jo selvästi heikompi. Lämpömittarien riittävän tehokasta suojaamista säteilyltä sekä ylhäältä että alhaalta päin onkin painotettu useassa eri yhteydessä (UTAAKER 1956, FRANSSILA 1961, MAC HATTIE 1965, BJÖR 1967 ym.).

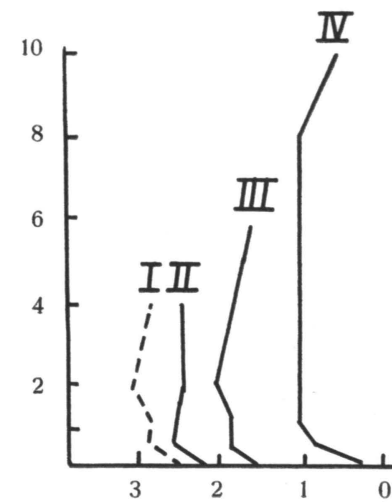
Jotta päästäisiin mahdollisimman lähelle ilman todellista lämpötilaa, korjattiin kaikkia aukean alan lämpötiloja jälkeinpäin 0.2° C:lla, minkä lämpötilarvon katsottiin kuvaavan keskimääräistä, pilvettömän ja tyynen kesäyön olosuhteissa ilmenevää säteilyvirhettä.

3. TUTKIMUSTULOKSET

31. ILMAN MINIMILÄMPÖTILAT

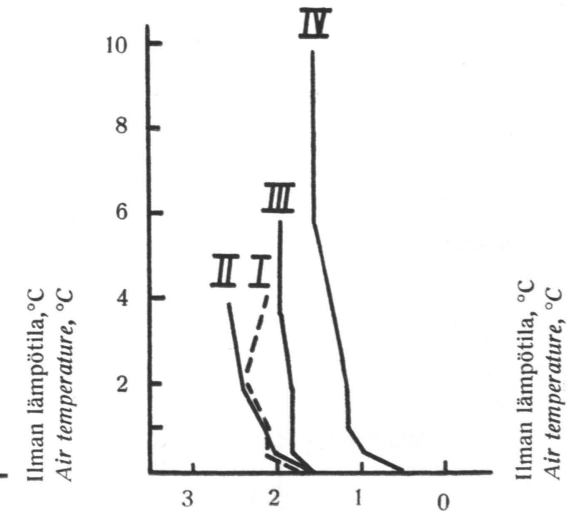
Verhopuuston käyttö hallaa vastaan perustuu sen ominaisuuteen pidättää itsensä osa maanpinnan öiseen aikaan lähettämää ulossäteilyä ja heijastaa

Korkeus, m
Height, m



Kuva 3. Eri koealojen minimilämpötilaprofiilit kirkkaana, tuulettomana yönä. 7. 7. 1967.
Figure 3. Minimum temperature profiles of the experimental stands during a clear, calm night. July 7, 1967.

Korkeus, m
Height, m

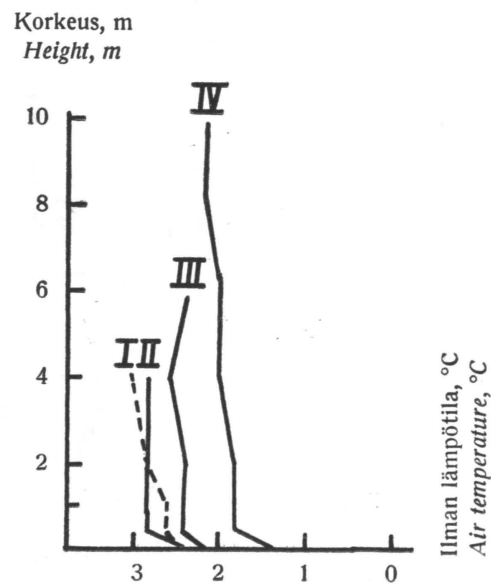


Kuva 4. Eri koealojen minimilämpötilaprofiilit hallayönä 10. 6. 1967.
Figure 4. Minimum temperature profiles of the experimental stands during the frost night, June 10, 1967.

siitä osa vastasäteilynä takaisin maahan. Mitä esteettömämpää maanpinnan ulossäteily on ja mitä heikompaa sitä kohtaan tuleva säteily, sitä suurempi on lämpötilan lasku (SCHNELLE 1963, GEIGER 1965). Hyvän esimerkin viileästä, tyynestä ja kirkkaasta kesäyöstä tarjoaa kuva 3, jossa on esitetty ilman minimilämpötilat koealoilla eräänä heinäkuun yönä. Kylmintä on ollut aukealla alalla, ja mitä tiheämpää koealan verhopuusto on ollut, sitä lämpimämpänä on myös ilman lämpötila pysynyt. Vertikaalisuunnassa koealojen lämpötilaprofiilit eivät ole noudattaneet ns. tyypillistä ulossäteilytyyppiä (esim. GEIGER 1965 s. 77), vaan ilman alin lämpötila on asettunut yleensä 0.5—1.0 m korkeudelle maan pinnasta. Tämä on todennäköisesti johtunut kasvillisuuden ja sen haihdutustoiminnan aiheuttamasta ilman suuremmasta kosteuspitoisuudesta, jolloin ns. toimiva pinta on kohonnut jonkin verran maan pinnasta ylöspäin (vrt. GEIGER 1965 s. 93—102).

Tiheän verhopuuston alla on vallinnut suunnilleen sama lämpötila 1.0—8.0 m korkeuden välillä, eikä 0.6°C :n ero äärimmäisten lämpötilojen välillä ole sekään suuri. Eri tiheysasteita edustavien koealojen väliset lämpötilan erot pysyvät kaikilla korkeuksilla jokseenkin saman suuruisina. Näyttää siltä, että kirkkaina, tyyninä öinä kylmät ilmassat ovat muodostaneet alueelle laajoja horisontaalisia kerrostumia, joiden lämpötilat muuttuvat systemaattisesti siirryttäessä aukealta alalta yhä tiheämpään metsään.

Tutkimuskauden aikana sattui vain kaksi tyypillistä hallayötä. Näistä ensimmäinen, joka osui 10. 6., oli jonkin verran ankarampi kuin jälkimmäinen, 3. 7. tapahtunut. Seuraavassa tarkastellaan erikseen kumpaakin.



Kuva 5. Eri koealojen minimilämpötilaprofiilit hallayönä 3. 7. 1967.
Figure 5. Minimum temperature profiles of the experimental stands during the first night, July 3, 1967.

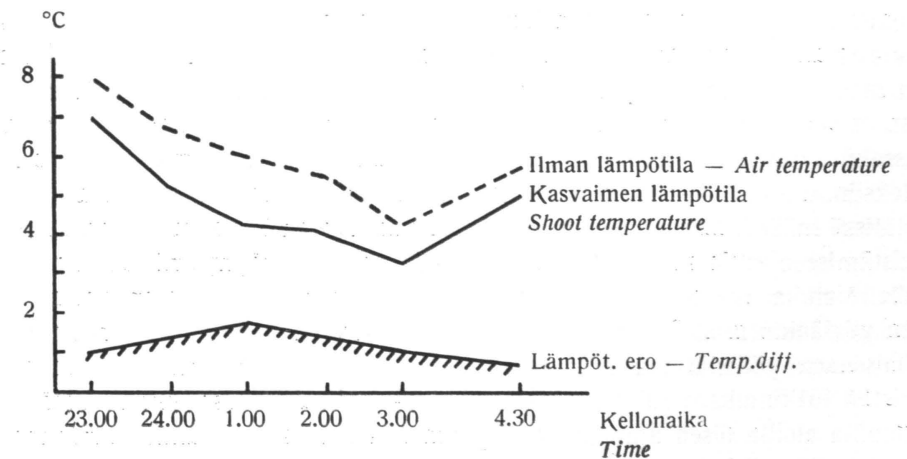
Ensimmäisenä hallayönä eri koealojen väliset lämpötilojen erot olivat vähäisemmät kuin edellä kuvatussa esimerkkitapauksessa (kuva 4). Harvaa verhopuustoa edustavassa metsikössä on 1—2 metrin korkeudella jopa ollut hivenen kylmempää kuin aukealla alalla. Osasyynä tähän saattaa olla harvan verhopuuston viereinen toinen aukea ala, joka vuorostaan päättyy loivaan rinteseen. Kylmää ilmaa on saattanut valua harvan rungoston lomitse koealalle. Vertikaalisuunnassa äärimmäisten lämpötilojen ero on aukealla alalla ollut vain 0.6°C , harvassa ja keskitiheässä metsikössä n. 0.4°C ja tiheässä metsikössä 0.8°C .

Toisena hallayönä lämpötilat muodostuivat eri koealoilla hyvin samantapaisiksi kuin ensimmäisenäkin (kuva 5). Eri metsiköiden väliset lämpötilan erot olivat vain suhteellisesti suurempia. Alimmat lämpötilat esiintyivät jälleen melko korkealla maan pinnasta, joka oli säilynyt lämpimänä.

Pilvisellä ja tuulisella säällä tutkimusalueen lämpötilat muuttuivat toislaiseksi kuin kirkkaina ja tyyninä öinä. Tuuli sekoitti ilmassoja sekä horisontaali- että vertikaalisuunnassa, joten lämpötilan vaihtelut jäivät kummassakin suunnassa erittäin vähäisiksi. Kuitenkin havaittiin tällöinkin, että tiheässä ja keskitiheässä metsikössä ilman lämpötila säilyi korkeampana kuin harvassa metsikössä tai aukealla alalla.

32. KUUSEN TAIMIEN LATVAKASVAINTEN LÄMPÖTILAT

Kuusen taimien latvakasvainten lämpötilan riippuvuutta ilman lämpötilasta tutkittiin yksityiskohtaisesti mm. 19. 6. sattuneena kirkkaana ja tyynenä yönä. Koetaimiksi valittiin aukealta alalta neljä kuusta, joiden pituus vaihteli 0.5



Kuva 6. Kuusen latvakasvaimen ja sitä ympäröivän ilman lämpötilat aukealla alalla yöllä 19. 6. 1967.
Figure 6. Temperatures of the leading shoot of spruce and the air surrounding it on the open area. Night June 19, 1967.

metristä 1.0 metriin. Latvakasvaimen ja sitä ympäröivän ilman lämpötila mitattiin termoelementin avulla, kuten edellä (siv. 23) on kerrottu. Havainnot tehtiin tunnin väliajoin alkaen klo 23.00 ja päättäen mittaukset klo 5.00, jolloin auringon vaikutus tuntui jo selvänä koealan lämpöoloissa.

Mittauksen tulokset on esitetty keskiarvoina kuvassa 6. Kasvainten lämpötila on koko ajan ollut alhaisempi kuin ilman, erotuksen ollessa n. 1.0° C suuruusluokkaa. Lämpötilan ero on ollut suurin keskiyöllä, minkä jälkeen se on alkanut tasaisesti pienentyä. Osasyynä tähän on todennäköisesti ollut ilman suhteellisen kosteuden lisääntyminen, mikä vuorostaan on pienentänyt kasvaimien haihdutusta. Haihdunnalle vastakkaista ilmiötä, kasteen muodostumista huomattiin kasvaimissa klo 3.00 mittauksen yhteydessä. Klo 4.30 sekä kasvaimet että ilma olivat jo ehtineet lämmitä tuntuvasti taivaan hajasäteilyn ansiosta, ja klo 5 aikaan auringon suoran säteilyn lämmittämien kasvainten lämpötila nousi korkeammaksi kuin ympäröivän ilman lämpötila.

Klo 1.00—2.00 välisenä aikana esiintyneet pienet epäsäännöllisyydet johtuvat taivaalle tällöin nousseista pilvistä. Taivas selkeni kuitenkin jälleen ennen klo 3.00 suoritettua mittausta.

4. TULOSTEN TARKASTELUA

Pyrittäessä tilanteeseen, jossa verhopuusto suojaisi sen alle syntyntä taimistoa tehokkaasti hallaa vastaan, mutta samalla estäisi tämän kehitystä mahdollisimman vähän, on tarjolla houkutus kasvattaa verhometsä jokseenkin harvana ja poistaa se vähitellen uuden puusukupolven tieltä. Kun tarkastellaan tämän tutkimuksen koealojen minimilämpötiloja kylminä, tuulettomina öinä, huomio kiintyy eri metsiköiden lämpötilojen samankaltaisuuteen. Siirryttäessä aukealta alalta harvaan koivikkoon ei eroa ole ollut juuri lainkaan, ja tiheässäkin metsikössä ilman lämpötila on ollut aukealla alalla mitattua vain muutama asteen verran korkeampi. Vaikka harvan verhopuuston koealalla voidaan joissakin tapauksissa epäillä sivulta advektoituneen kylmän ilman vaikuttaneen tuloksiin, näin ei ole ollut asian laita keskitiheällä ja tiheällä koealalla.

Missä määrin aukean alan suhteellisen vaatimaton koko vaikuttaa tulosten yleistämiseen myös suurempia aukkoja koskevaksi, ei käynyt riittävän selvästi esille. Vaikka aukean alan läpimitan suhde ympäröivän puuston valtapituuteen ylittääkin mm. GEIGERIN (1941) antaman minimiarvon 1.8, tämä ei päde sellaisenaan yöllisiin minimilämpötiloihin. Haitatta voisi kuitenkin uskaltaa yleistää tutkimuksen tulokset koskemaan 1—2 ha uudistusaukkoja. Tätä suuremmilla aloilla öisen ajan ulossäteily ilmeisesti nousee vieläkin suuremmaksi ja minimilämpötilojen erot sitä mukaa kasvavat.

Näyttää kuitenkin siltä, että yleisesti ottaen verhopuuston olisi oltava varsin tiheän voidakseen suojella taimistoa riittävän tehokkaasti. Keskitiheä verhopuusto (latvuspeittävyys 60—70 %) pitää jo maanpinnan läheiset ilmakerrok-

set jonkin verran aukeata alaa lämpimämpinä, mutta jos alueella tiedetään sattuvan kovia halleja, tämäkin on todennäköisesti riittämätön suoja. Harvaa ja aukkoista verhopuustoa tuskin kannattaa jättää lainkaan, sillä sen minimilämpötiloja kohottava vaikutus on lähes olematon. Kuten jo AMANN (1930) aikanaan osoitti, aukkoiseen verhometsään muodostuu erittäin helposti vertikaalisia kanavia, joita myöten kylmää ilmaa pääsee valumaan metsikön sisään, vaikkapa ulossäteily vähenisikin jossakin määrin. Myös mm. MULTAMÄKI (1942) ja GÖHRE (1953) ovat päätyneet samaan tulokseen.

Täsmällisiä tietoja metsänuudistusalalle tarvittavan verhopuuston määrästä on vaikeata antaa. Saksalainen HESMER (1953) ilmoittaa, että valtapituudeltaan 3—4 metrin pituisen hieskoivikon tulisi käsittää vähintään 2 000 kpl/ha vaikuttaakseen kuusen taimistoa suojaavasti hallanaroilla mailla. Verhopuuston viljelytiheydeksi hän suosittelee 2×2 m keskietäisyyttä usein käytetyn 5×5 m sijasta. Tämän tutkimuksen tulokset tukevat edellä esitettyjä ohjemääriä. Vasta n. 1 500 kpl/ha on täysin riittävä verhopuuston tiheys ankaria halleja vastaan.

Talvehtiessaan kuusen silmut ovat hyvin kestäviä koviakin pakkasia vastaan, mutta kun uudet kasvaimet ovat juuri aloittaneet kasvunsa, seuraa vaihe, jossa jo melko vähäinenkin lämpötilan aleneminen alle veden jäätymispisteen voi aiheuttaa vaurioita. Laboratoriokokeissa on kuusen silmujen hallankestävyysraja määritetty niiden herkimässä vaiheessa n. -3° — -4° C:ksi (VAAR-TAJA 1955, SCHNELLE 1963 ym.). Koska tämän tutkimuksen mukaan kuusen kasvaimet ovat säännöllisesti 1°—2° C kylmempiä kuin niitä ympäröivä ilma, on syytä katsoa kaikki sellaiset maat, joilla esiintyy pakkasasteita kasvukauden aikana, kuusen viljelylle hallanvaarallisiksi.

Kylmän ilman ulottuminen korkealle maanpinnan yläpuolelle vaikeuttaa verhopuuston oikean poistamisajankohdan määrittämistä. Kuusen taimisto tulee vapauttaa niin aikaisin kuin suinkin, mutta toisaalta on todettava, että kasvainten paleltumisen uhka säilyy alavilla mailla aina 4—5 m korkeuteen saakka. Tarvittaessa tehokasta suojaa olisi verhometsä siten kaikesta huolimatta kasvatettava tiheänä melko kookkaankin taimiston päällä.

Erittäin vaikean ja monitahoisien ongelman muodostaa vertailu verhopuuston taimiston kasvulle aiheuttaman haitan (vrt. esim. CAJANDER (Kalela) 1934) ja mahdollisten hallatuhojen välillä. Vaikka tiedämme, että jo harvakin verhopuusto vaikuttaa toisaalta epäedullisesti taimiston kasvuun ja kehitykseen, luotettavia selvityksiä haitan todellisesta määrästä ei maassamme ole suoritettu. Tässä suhteessa on jätettävä kysymys optimaalisesta verhopuuston tiheydestä olennaiselta osaltaan ratkaisematta riittävän vertailumateriaalin puuttumisen vuoksi.

KIRJALLISUUS

- AMANN, H. 1930. Birkenvorwald als Schutz gegen Spätfröste. Forstw. Cbl. 52: 493—502, 581—592.
- BAUMGARTNER, A. 1956. Über die Unterschiede in den klimatischen Wuchsbedingungen einer freien und einer birkenüberstellten Wiederaufforstungsfläche. Forstw. Cbl. 75: 223—242.
- BJØR, K. 1967. Radiation shelters made of foam plastic for air temperature measurement. Medd. Norske Skogsforsøksv. 85: 223—232.
- CAJANDER (Kalela), E. K. 1934. Kuusen taimistojen vapauttamisen jälkeisestä pituuskasvusta. Refer.: Über den Höhenzuwachs der Fichtenpflanzenbestände nach der Befreiung. Comm. Inst. For. Fenn. 19.5.
- FRANSSILA, M. 1961. Radiation shield for micrometeorological measuring of temperature. Geophysica 8: 85—88.
- GEIGER, R. 1941. Das Standortsklima in Altholznahe. Mitt. H. Göring-Akad. d. Deutschen Forstwiss. 1: 148—172.
- 1965. The climate near the ground; käänn. 4. saksank. lait. v. 1961. Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass.
- GÖHRE, K. 1953. Kleinklimatische Untersuchungen auf einer Kiefernkultur unter Birkenvorwald. Arch. f. Forstw. 3: 441—474.
- ja R. LÜTZKE. 1956. Der Einfluss von Bestandesdichte und -struktur auf das Kleinklima im Walde. Arch. f. Forstw. 5: 487—572.
- HEIKURAINEN, L. 1967. Hakkuun vaikutus ojitettujen soiden vesitalouteen. Summary: On the influence of cutting on the water economy of drained peat lands. Acta For. Fenn. 82.2.
- HESMER, H. 1953. Minderung von Spätfrostschäden an Douglasienkulturen. Allgem. Forstz. 8: 350—353.
- KERN, K. G. 1966. Wachstum und Umweltfaktoren im Schlag- und Plenterwald. Schriftenr. d. Forstl. Abt. d. Albert-Ludwigs-Univ., Freiburg i. Br. 5: 1—232.
- KOCH, H. G. 1934. Temperaturverhältnisse und Windsystem eines geschlossenen Waldgebietes. Veröff. Geoph. Inst. d. Univ. Leipzig 4.3.
- LUKKALA, O. J. 1946. Korpimetsien luontainen uudistaminen. Refer.: Die natürliche Verjüngung der Bruchwälder. Comm. Inst. For. Fenn. 34.3.
- MAC HATTIE, L. B. 1965. Radiation screens for air temperature measurement. Ecology 46: 533—538.
- MITSCHERLICH, G., W. MOLL, E. KUNSTLE ja P. MAURER. 1965. Ertragskundlich-ökologische Untersuchungen in Rein- und Mischbestand. III Temperaturverhältnisse. Allg. Forst- u. Jagtztg. 136: 274—283.
- MULTAMÄKI, S. E. 1939. Kuusen kylvöstä ja istutuksesta metsitettävillä soilla. Refer.: Über Fichtensaat und -pflanzung auf zu bewaldenten Moore. Acta For. Fenn. 47.3.
- 1942. Kuusen taimien paleltuminen ja sen vaikutus ojitettujen soiden metsittymiseen. Refer.: Das Erfrieren der Fichtenpflanzen in seiner Wirkung auf die Bewaldung der entwässerten Moore. Acta For. Fenn. 51.1.
- PYLKKÖ, P. 1968. Verhopuuston tiheyden vaikutus metsikön minimilämpötiloihin. Konekirjoite Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksessa (Unpublished manuscript at the Dep. of Silviculture, Univ. of Helsinki).
- SCHNELLE, F. 1963. Frostschutz in Pflanzenbau. I Die meteorologischen und biologischen Grundlagen der Frostschadensverhütung. BLV Verlag, München - Basel - Wien.
- SIRÉN, G. 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland and its ecology. Acta For. Fenn. 62.4.

- UTAAKER, K. 1956. Studies in local and micro-meteorology at Kleppe. I Investigations on the air temperature observed in various types of thermometer screens. Univ. Bergen årbok 1956, naturv. rekke 4.
- VAARTAJA, O. 1955. Factors causing mortality of tree seeds and succulent seedlings. Acta For. Fenn. 62.3.

SUMMARY:

ON THE INFLUENCE OF STAND DENSITY ON THE MINIMUM TEMPERATURES DURING FROST NIGHTS

The object of the present study is to throw further light on the influence of stand density of white birch (*Betula pubescens* Ehrl.) on the minimum temperatures in the stand during the growing season. Attention will be also called on the actual minimum temperatures of the leading shoot of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seedlings growing in the open.

The experimental area is situated in the southern part of Finland (lat. 61°53', long. 24°53'). The elevation of the areas is 142 m above sea level. In 1961, the 40-year-old uniform white birch stand was treated with thinnings and a series of stands representing three different densities (figure 1, table 1) were established. Detailed information on the area is obtainable from HEIKURAINEN (1967). The study was carried through in May-September 1967.

Air temperature was recorded in the four experimental plots at the following heights: .1 m, .5 m, 1.0 m, 2.0 m, and 4.0 m. In addition, there were measuring instruments in the stand of moderate density at 6.0 m, and in the stand of full density at 6.0 m, 8.0 m, and 10.0 m. The daily minimum temperatures were recorded with alcohol-thermometers, model Minima. The spruce leading shoot temperatures were measured with cu-kö thermocouples. Recording was done with a portable temperature calibrated potentiometer, model Honeywell 2715-S.

The radiation screens used in this study were of own design (fig. 2). A special comparison between various kinds of radiation shelters gave as a result that the radiation error due to our own screen was of magnitude 0.2° C which data was used as a correcting factor in the study.

In figures 3, 4, and 5 are shown three characteristic examples of temperature profiles in the stands during frost nights. The temperature differences between the stands of various densities proved to be rather small. Especially the thinnest stand did not differ from the open area scarcely at all. The soil surface (.1 m) has in all cases been warm compared with the more upper air layers indicating »meadow-fog-type» by GEIGER (1965). On cloudy or windy weather all the temperature profiles in the various stands resembled very much each other.

A typical example of the spruce shoot temperature during a clear and cold night is shown in figure 6. The difference between the air and the shoot tem-

perature has been greatest at midnight and it has decreased steadily thereafter. At 5 a'clock the temperature of the shoot finally exceeded that of the surrounding air.

The discussion of the results deals with two main aspects: the validity of the data from the point of view of practical applications, and the optimum shelter stand density for spruce regeneration areas in Finland. The main difficulty lies in the fact that already a thin shelter stand causes various kinds of drawbacks to the young seedlings, but, in order to be effective enough against early frosts, the shelter stand should be comparatively thick. So far, the basic information is lacking for detailed comparisons.